

ANEXO DE MINA VI
MODELAJE DE LA CALIDAD DE AIRE

INDICE

	PAGINA
VI. MODELAJE DE CALIDAD DE AIRE.....	VI-1
VI.1 Metodología	VI-1
VI.1.1 Resumen	VI-1
VI.1.2 Condiciones Meteorológicas	VI-1
VI.1.3 Descripción del Modelo.....	VI-2
VI.2 Estimados de las Emisiones	VI-3
VI.2.1 Partículas - PM ₁₀	VI-3
VI.2.2 Mitigación.....	VI-9
VI.3 Emisiones de Metales Pesados y Gases	VI-9
VI.3.1 NO _x	VI-9
VI.3.2 Cálculos Detallados de Emisiones.....	VI-11
VI.3.3 Resultados del Modelaje.....	VI-17
VI.3.4 Metales (Arsénico y Plomo)	VI-17

TABLAS

Tabla VI-1 Fuentes del Proceso y Estimado de las Emisiones de PM ₁₀ del Proyecto Antamina	VI-5
Tabla VI-2 Resumen sobre Emisiones de PM ₁₀ durante la Vida de la Mina.....	VI-6
Tabla VI-3 Resumen sobre Emisiones de PM ₁₀ durante la Vida de la Mina.....	VI-6
Tabla VI-4 Inventario de las Emisiones de PM ₁₀ relacionadas con la Mina y un Estimado (sobre el peor caso) para el año 2006.....	VI-7
Tabla VI-5 Distribución del PM ₁₀ 2006.....	VI-8
Tabla VI-6 Tasa de Emisión de NO _x	VI-10
Tabla VI-7 Tasas de Emisión de SO ₂	VI-10
Tabla VI-8 Resultados del Modelaje y Comparación con Estándares	VI-19

MAPAS

Map VI-1 Cocentración de PM ₁₀ Promedio Anual.....	VI-22
Map VI-2 Concentración Máxima de PM ₁₀ de 24 horas	VI-23
Map VI-3 Fuentes de Emisión de Aire	VI-24

VI. MODELAJE DE CALIDAD DE AIRE

VI.1 Metodología

VI.1.1 Resumen

Se pronosticaron los impactos en la calidad de aire del ambiente producidos por las partículas (como PM_{10}), óxidos de nitrógeno (NO_x) y el dióxido de azufre (SO_2) de las fuentes de la mina Antamina, empleando el modelo por computadora denominado Complejo de Fuente Industrial (ISC3) junto con los datos de fuentes y la meteorología específica del lugar. El modelo ISC3 fue desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) para pronosticar los impactos ambientales de las emisiones relacionadas con la mina y la industria en una variedad de condiciones meteorológicas y medios topográficos.

Se estimó las tasas de emisión de fuentes específicas del lugar, empleando información disponible sobre los equipos y el plan de minado, la apreciación de los ingenieros y los factores de emisión publicados y empleados rutinariamente. Posteriormente se compararon los resultados del modelaje con los estándares y lineamientos peruanos e internacionales. Estos análisis demuestran que los impactos fuera del lugar se mantendrán bajo los criterios/estándares más estrictos sobre la calidad de aire del ambiente. A continuación se presentan los detalles sobre la información meteorológica, los estimados de las emisiones, el modelaje y los resultados del mismo.

VI.1.2 Condiciones Meteorológicas

En 1997, se recopiló la información meteorológica de todo un año en el valle de Antamina. Una segunda estación, en Tucush, recopiló información por un período de seis meses durante el mismo año. Debido a que la mayoría de las fuentes mineras se ubican en el valle de Antamina y la estación Antamina tiene un período de registro más prolongado, se empleó la información meteorológica de Antamina para todos los análisis de modelaje. La disponibilidad de información de todo un año de los lugares remotos, como la estación Antamina, es bastante escasa y su disponibilidad para este proyecto incrementa significativamente la exactitud de los pronósticos resultantes de la calidad de aire en el ambiente.

En resumen, la velocidad del viento promedio para Antamina en 1997 fue de 2.4 metros/segundo (m/s) con aproximadamente 20 por ciento (%) de vientos débiles (calmas). La dirección reinante del viento era proveniente del sudoeste con un 25.6 % de ocurrencia, con dos máximas secundarias provenientes del noreste (19.63%) y del sud-sudoeste (16.71%). Este patrón del viento muestra un flujo típico de aire a lo largo del valle, inducido por diferencia de densidad de aire, con vientos ascendentes durante el día y vientos descendentes o de drenaje por la noche. Para los propósitos de modelaje, se determinaron las clases de estabilidad atmosférica por hora basados en la

desviación estándar de la dirección horizontal y la velocidad del viento. En lugar de la información de altura a la cual se produce el fenómeno de mezcla en el aire de un lugar específico y considerando que los tipos de fuentes que deben modelarse son de bajo nivel, las alturas donde se produce la mezcla de aire se establecieron a 5000 m para cada hora durante de todo el año.

La variación de la temperatura anual de este lugar es bastante ligera, aproximadamente de 10°C y la temperatura promedio del año fue de 5.0°C. La precipitación fue frecuente a lo largo del año concentrándose principalmente entre setiembre y abril. El total de precipitación en forma de lluvia en 1997 se estimó en 1.55 metros con aproximadamente 250 días por año con precipitaciones en forma de lluvia de 0.04 milímetros diarios como mínimo. Este número de días de lluvia es un mitigador natural de polvo y se toma en cuenta para la estimación de emisiones de las fuentes de partículas fugitivas. Ver sección M.II.2.

Un análisis detallado de la información meteorológica de este lugar así como también de otros lugares regionales se presentan en el Apéndice M-I.2.

VI.1.3 Descripción del Modelo

El modelo ISC3 es un modelo de pluma de contaminación de tipo Gausiano de estado estacionario. Este modelo se clasifica en dos tipos: de largo plazo (ISCLT3) para promedios anuales, y de corto plazo (ISCST3) empleado para períodos menores a un año así como para periodos promedio. La diferencia entre los dos modelos es principalmente el grupo de información meteorológica. El ISCTL3 emplea una distribución conjunta de la frecuencia de velocidad del viento, la dirección del viento y la clase de estabilidad como la información meteorológica y por eso las concentraciones resultantes son promedios del sector. EL ISCST3 emplea información meteorológica secuencial por horas y las concentraciones en el ambiente se basan en la información actual de un periodo de tiempo de una o varias horas y por lo tanto son más exactas. Debido a que en este proyecto se buscan los resultados a corto plazo y a que se dispone de información por hora, se empleó el ISCST3 en este análisis.

Para los propósitos de modelaje, las fuentes de emisión se clasifican en tres tipos básicos: puntuales (ej. chimenea o tubos de ventilación vertical), de volumen (ej. construcciones o tubos de ventilación horizontal) y de área (ej. pilas de almacenamiento, tajo entre otros) El ISC3 no puede simular emisiones directamente de las fuentes lineales (ej. carreteras). Sin embargo, las carreteras se pueden representar en ISC3 como fuentes de áreas largas y estrechas. La información sobre las fuentes de descarga puntual incluyen ubicación, tasa de emisión, altura de la chimenea, diámetro de la chimenea y velocidad y temperatura de salida del efluente. Los datos sobre las fuentes de volumen y área incluyen ubicación, tasa de emisión, dimensiones y altura promedio de emisión. Los valores de estos parámetros para cada

fuentes se basaron en la información disponible, los factores de emisión publicados, o en su defecto, las mejores apreciaciones de los ingenieros basadas en análisis de proyectos similares.

El modelo ISCST3 se llevó a cabo por defecto, (es decir, el modo requerido por el U.S. EPA para aplicaciones reglamentarias). El modo por defecto implica las siguientes opciones: efecto de dispersión descendente de la chimenea, dispersión inducida por buoyancia, no hay ascensión gradual de la pluma, rutina de procesamiento de calmas, perfil predefinido de variación vertical de la velocidad del viento y gradientes de temperatura potencial predefinidos. Además, no se empleó la opción de retención de partículas en el tajo para asegurar un estimado más conservador de los impactos de partículas. El modelo también se empleó en el modo rural y la opción de terreno plano.

La opción de terreno plano se empleó aunque el lugar se hallaba en un terreno complejo porque la mayoría de las fuentes son fuentes de área y de volumen con alturas de liberación cercanas al nivel de la superficie, (es decir, 10 metros sobre el terreno). Cuando se emplea la opción del terreno complejo, ésta no permite que las líneas centrales de las plumas se aproximen al terreno a menos de 10 metros, y en vista que las emisiones de estas fuentes se encuentren a esta distancia mínima, el modelo pronostica concentraciones muy similares en cualquiera de los modos.

Aunque este modelo tiene la capacidad de simular los efectos de retención en el tajo de las concentraciones en el ambiente (esto se debe a que las emisiones son liberadas muy por debajo del nivel local, una parte significativa de las emisiones permanecen en el tajo), la característica de retención del tajo no se utilizó en este estudio. Por lo tanto, este estudio es de naturaleza conservadora, puesto que el modelo sobrepronostica las verdaderas concentraciones.

Se superpuso un engrillado con puntos receptores en toda el área para el análisis del modelaje con una resolución de 250 m en las direcciones "x" e "y". Dicho engrillado se extendió más allá de las fuentes del lugar, aproximadamente un kilómetro. Además se agregó un engrillado de 1,000 m de resolución en el lugar, la cual se extendió 10 km más allá de los límites del proyecto. El número total de receptores modelados fue de aproximadamente 5000.

VI.2 Estimados de las Emisiones

VI.2.1 Partículas - PM₁₀

Las fuentes de PM₁₀ (partículas de diámetros aerodinámicos menores que 10 µm) en la mina comprenderán la excavación, voladura, manejo del material y acarreo, puntos de transferencia (es decir, transferencia de material), secador, horno, y gases de escape. Las emisiones de estas actividades se determinaron empleando los parámetros

de equipo específicos y los factores de emisión publicados en la recopilación de la EPA sobre los Factores de Emisión de Contaminantes (AP-42), Volumen I, otros factores de emisión usados en forma rutinaria para propósitos regulatorios, o de las descargas de las emisiones de masa según los estándares industriales en el caso de dispositivos de control de partículas (es decir, depuradores de gases y equipo de filtración de aire tipo bolsa).

Las fuentes de emisión PM_{10} en la mina Antamina se dividieron en dos amplias categorías, fuentes de procesos y fuentes mineras. Las fuentes de proceso incluirán el transporte en fajas, transferencia y almacenamiento de materiales, secado y manejo de los concentrados. Las fuentes mineras incluyen perforación, voladura, acarreo, descarga, pilas de almacenamiento y pilas de rocas de desmonte.

El Tabla VI.I proporciona las emisiones estimadas de PM_{10} para las fuentes del proceso (ver Mapa -VI-1 para la ubicación de las fuentes). La Tabla muestra el factor de emisión empleado para cada fuente así como la información sobre el grado de rendimiento y flujo volumétrico empleado junto con el factor de emisión para generar una proporción final de gramo/segundo (g/s) empleada en el modelo. Nótese que el grado de rendimiento se encuentran en toneladas netas inglesas. En la sección M-II.2.4. se muestra un resumen con la explicación y un ejemplo de cálculo para el estimado de cada tipo de emisión.

Para las fuentes mineras, se realizó un análisis de las emisiones año por año de la vida de la mina (VDM, desde el año 1998 hasta el año 2021) en el cual se analizó el nivel de actividades por año en base al plan detallado de la mina y las emisiones estimadas para cada actividad. Se determinó el año de máxima emisión (2006) y se empleó en el modelaje (Tabla VI-2). De manera similar a las fuentes del proceso, los estimados de emisión se basaron en la información de la actividad/operaciones proporcionadas y los factores de las emisiones publicados en AP-42 y en otros. Las eficiencias de control se basaron en los estándares de industrias generalmente aceptados y los valores previamente aceptados para proyectos similares.

Del análisis del inventario de emisiones para VDM, el año de máxima emisión para Antamina fue el año 2006. El Tabla VI-3 presenta estimados detallados de las emisiones de actividades relacionadas con la mina en ese año. Nótese que las medidas del proceso se expresan en toneladas métricas y las medidas de las tasas de emisión se expresan en toneladas netas inglesas. En la sección M-II.2.3. se presenta una explicación y los cálculos detallados de las emisiones para el año 2006. Las actividades se dividieron en cinco fuentes de áreas y las emisiones de los caminos de acarreo se dividieron en 16 fuentes de áreas adicionales (ver Tabla VI-4 y Mapa M-II.2-3 para las ubicaciones del área).

Tabla VI-1 Fuentes del Proceso y Estimado de las Emisiones de PM₁₀ del Proyecto Antamina

Fuente ID	Tipo de Fuente Modelada	Descripción	Factor de Emisión	Rendimiento o Ratio de Flujo Volumétrico	Ratio de Emisión Modelada	Nivel de Emisión	Emisiones Anuales (T/año)
PROC2	Volumen	Punto de transferencia del Alimentador de banda a la faja transportadora	0.02 gr/dscf	10,182 ft ³ /min	0.220 g/s	Método 1	7.6
PROC3	Area	Faja que Transporta Mineral Grueso por un Túnel hacia la Faja Transportadora del Mineral más Fino	0.00047 lb/ton	70,000 T/día	0.052 g/s	Método 3	1.8
PROC4	Area	Transferencia de Mineral Grueso a la Pila de Almacenamiento	0.00047 lb/ton	70,000 T/día	0.052 g/s	Método 3	1.8
PROC5	Area	6 Alimentadores de Banda de Recuperación de Mineral Grueso hacia las 2 Fajas Transportadoras del Molino Tipo SAG	0.00281 lb/ton	70 T/día	0.180 g/s	Método 3	6.2
PROC6	Volumen	Carga de Concentrado de Cobre en la Planta	0.02 gr/dscf	5,533 ft ³ /min	0.120 g/s	Método 1	4.2
PROC7	Volumen	Carga de Concentrado de Zinc en la Planta	0.02 gr/dscf	5,533 ft ³ /min	0.120 g/s	Método 1	4.2
PROC14	Volumen	Tolva de Almacenamiento de Cal apagada	0.02 gr/dscf	2,354 ft ³ /min	0.051 g/s	Método 1	1.8
PROC16	Punto	Preparación del Alimentador de Caliza	0.02 gr/dscf	6,004 ft ³ /min	0.130 g/s	Método 1	4.5
PROC17	Punto	Area de Manipulación de Alimentación de Caliza	0.02 gr/dscf	6,004 ft ³ /min	0.130 g/s	Método 1	4.5
PROC18	Punto	Horno Vertical	--	--	0.370 g/s	Método 4	12.9
PROC19	Punto	Manipulación de Cal	0.02 gr/dscf	8,005 ft ³ /min	0.173 g/s	Método 1	6.0
PROC20	Volumen	Secador de Molibdeno	0.03 gr/dscf	1,766 ft ³ /min	0.057 g/s	Método 2	2.0
PROC21	Volumen	Tolva de Almacenamiento de Molibdeno	0.02 gr/dscf	2,354 ft ³ /min	0.051 g/s	Método 1	1.8
PROC22	Volumen	Tolva de Carga de Concentrado de Molibdeno	0.02 gr/dscf	2,060 ft ³ /min	0.044 g/s	Método 1	1.5
PROC23	Volumen	Tolva de Carga de Concentrado de Molibdeno	0.02 gr/dscf	989 ft ³ /min	0.021 g/s	Método 1	0.7
Total de Emisiones del Proceso							61.5

Método 1. Límite de emisión de NSPS, U.S. EPA, aplicado al nivel de flujo volumétrico del equipo de filtración de aire tipo bolsa.

Método 2. Estándar industrial de 0.03 gr/dscf en la salida del lavador

Método 3. Descarga de Material, AP-42 p. 13.2.4-3, Ecuación 1

Método 4. Información del Informe de Bechtel

Tabla VI-2 Resumen sobre Emisiones de PM10 durante la Vida de la Mina

Mina Año	Movimiento Total del Material (1,000 T)	Emisiones (Fugitivas) de PM ₁₀ en la Mina (T/año)	Emisiones de PM ₁₀ del Proceso (T/año)	Total de Emisiones de PM ₁₀ (T/año)
1998	10,292	18.1	61.5	79.6
1999	31,595	57.0	61.5	118.5
2000	51,808	124.2	61.5	185.7
2001	140,819	295.1	61.5	356.6
2002	140,819	321.8	61.5	383.3
2003	140,819	366.3	61.5	427.8
2004	150,260	344.9	61.5	406.4
2005	143,983	426.7	61.5	488.2
2006	136,032	477.8	61.5	539.3
2007	117,288	466.9	61.5	528.4
2008	121,481	460.4	61.5	521.9
2009	124,610	400.6	61.5	462.1
2010	126,765	347.6	61.5	409.1
2011	126,765	318.5	61.5	380.0
2012	124,230	335.3	61.5	396.8
2013	115,742	363.5	61.5	425.0
2014	87,743	310.3	61.5	371.8
2015	57,711	190.4	61.5	251.9
2016	54,215	189.8	61.5	251.3

Tabla VI-3 Resumen sobre Emisiones de PM₁₀ durante la Vida de la Mina

Mina Año	Movimiento Total del Material (1,000 T)	Emisiones (Fugitivas) de PM ₁₀ en la Mina (T/año)	Emisiones de PM ₁₀ del Proceso (T/año)	Total de Emisiones de PM ₁₀ (T/año)
2017	39,859	159.9	61.5	221.4
2018	30,110	102.9	61.5	164.4
2019	28,164	87.9	61.5	149.4
2020	28,164	88.0	61.5	149.5
2021	908	2.6	61.5	64.1

Tabla VI-4 Inventario de las Emisiones de PM₁₀ relacionadas con la Mina y un Estimado (sobre el peor caso) para el año 2006

Descripción de la Fuente	Tasa de Proceso		Factor de Emisión		Tasa de Emisión (tpa)
Traslado de Mineral a la Chancadora	25,550	1000 T/año	0.000469 x 2	lb/T	13.21
Traslado de Mineral a la Pila de Almacenamiento	5,173	1000 T/año	0.000469 x 2	lb/T	2.67
Movimiento de Desechos	92,685	1000 T/año	0.000469 x 2	lb/T	47.92
Vkt ¹ para Chancadora ²	457,827	Km	0.56	Lb/VMT	39.89
Botaderos del Mineral para Chancadora ²	25,550	1000 T/año	0.000469	lb/T	3.30
Vkt ¹ para el Almacenamiento ²	129,728	Km	0.56	Lb/VMT	11.30
Botadero de Mineral para Almacenamiento ²	5,173	1000 T/año	0.000469	lb/T	1.34
Vkt ¹ para Botaderos ²	3,156,474	Km	0.56	Lb/VMT	275.03
Descarga en Botadero de Desechos ²	92,685	1000 T/año	0.000469	lb/T	23.96
Emisiones por Actividades					
425 kW Tractor con orugas	44,180	Horas	0.86	Lb/hr	19.03
Tractor con llanta de caucho de 324 kW	12,000	Horas	0.86	Lb/hr	5.17
Motoniveladora de 200 kW	12,000	Horas	0.86	Lb/hr	5.17
Emisiones de tubo de escape					
Perforador Rotatorio de 251 mm	9,053	Horas	0.139	Lb/hr	0.63
Tanque de Perforación de 152 mm	870	Horas	0.139	Lb/hr	0.06
Cargador de 25 m ³	13,686	Horas	0.172	Lb/hr	1.18
Cargador de 10.7 m ³	1,780	Horas	0.172	Lb/hr	0.15
Camión de Acarreo de 220 Ton.	334,473	Horas	0.128	Lb/hr	21.40
Camión de Acarreo de 90 Ton.	6,360	Horas	0.128	Lb/hr	0.41
425 kW Tractor de orugas	44,180	Horas	0.112	Lb/hr	2.47
Tractor con llanta de caucho de 324 kW	12,000	Horas	0.112	Lb/hr	0.67
Motoniveladora de 200 kW	12,000	Horas	0.4	Lb/hr	0.37
Empleo de Emulsión y ANFO (voladura)	104	Voladuras	37.5	Lb/voladura	1.96
Total Relacionado a Mina					477.78
Proceso Total					64.1
Total General					541.88

1. Kilómetros viajados en vehículos
2. Eficiencia del Control de 50% (agua)

Tabla VI-5 Distribución del PM₁₀ 2006

VI.2.2 Mitigación

Para minimizar las emisiones del proceso y de las actividades mineras, se emplearán equipos de control según estándares industriales y/o un control intensivo mediante riego. Las fuentes del proceso y los puntos de transferencia serán controlados con rociadores de agua o equipo de filtración de aire tipo bolsa. El secador de molibdeno se controlará con un depurador de gases.

Las emisiones de las actividades mineras serán controladas mediante un intensivo programa de aplicación de agua y una estricta adherencia a las mejores prácticas. Para los caminos de acarreo, camiones especiales rociarán agua, según sea necesario, para mitigar las emisiones. Como siempre, para el riego de los caminos de acarreo, se necesitará un balance entre demasiada agua (precauciones por seguridad debido a las condiciones de deslizamiento) y muy poca agua (control ineficaz del polvo). Para las canchas de desechos y las pilas de mineral, el agua se aplicará según sea necesario, con camiones cisternas. Además, el tajo por sí mismo debe tener humedad natural en la medida que se puedan desarrollar las actividades de desaguado. El agua del tajo será bombeada hacia los tanques de almacenamiento para su futuro uso en las cisternas. Asimismo, el contenido de humedad de los minerales y de los desechos extraído del tajo debe mitigar en forma natural las emisiones durante su manejo.

Las actividades de mitigación en los caminos de acarreo también incluirán la minimización de la acumulación del limo y los límites de velocidades de los vehículos. Las pilas de desechos, las pilas de almacenamiento a largo plazo y otras áreas al aire libre, serán sembradas nuevamente y recuperadas lo más pronto posible después de la exposición. Durante condiciones de viento fuerte, (aunque raramente se ve en el lugar), las actividades que generan polvo deben ser reducidas según sea necesario. Además, si se observa excesiva generación de polvo, deberán iniciarse programas de control más intensivos para mitigar el transporte de las emisiones fuera del lugar.

VI.3 Emisiones de Metales Pesados y Gases

VI.3.1 NO_x

Las fuentes principales de emisión de NO_x asociadas al Proyecto Antamina serán el horno de cal, emisiones de tubos de escape de los vehículos, generación de corriente eléctrica de emergencia y voladura. Las emisiones de estas fuentes (excepto la de generación de energía que será empleada de manera poco frecuente y no tendrá efecto significativo en las emisiones o calidad de aire) también se estimaron empleando los factores de emisión aceptados de AP-42 de los volúmenes I y II, junto con la información disponible del equipo del lugar específico. Las emisiones se presentan para cada fuente en la Tabla VI-6. En la sección M-II.2.4. se muestran descripciones

detalladas de las emisiones de las fuentes. Estas fuentes se dividieron según las mismas áreas de fuentes seleccionadas para PM₁₀.

Tabla VI-6 Tasa de Emisión de NO_x

Descripción de la Fuente	Tasa de Proceso		Factor de Emisión		Tasa de Emisión (tpa)
Perforaciones	9,923	Horas	1.691	Lb/hr	8.4
Cargadores	15,446	Horas	1.890	Lb/hr	14.6
Camiones de Transporte	340,833	Horas	2.083	Lb/hr	355.0
Tractores con Orugas	56,180	Horas	1.260	Lb/hr	35.4
Motoniveladora	12,000	Horas	0.713	Lb/hr	4.3
ANFO	40,471,548	Lb	17.0	Lb/T	172.0
Total					589.7

SO₂

Las fuentes principales de emisión de SO₂ asociadas al Proyecto de Antamina son el horno de cal, emisiones de vehículos, generación de corriente eléctrica de emergencia y voladura. Las emisiones de estas fuentes (excepto la generación de energía anteriormente descrita) se estimaron también mediante el uso de factores de emisión aceptados de AP-42 de los volúmenes I y II junto con la información disponible del equipo específico. Las emisiones se presentan para cada fuente en la Tabla VI-7. En la sección M-II.2.1. se muestran descripciones detalladas de las emisiones de las fuentes. Dichas fuentes se distribuyeron en las mismas áreas de fuentes que el PM₁₀.

Tabla VI-7 Tasas de Emisión de SO₂

Descripción de la Fuente	Tasa de Proceso		Factor de Emisión		Tasa de Emisión (tpa)
Perforaciones	9,923	Horas	0.143	Lb/hr	0.7
Cargadores	15,446	Horas	0.182	Lb/hr	1.4
Camiones de Transporte	340,833	Horas	0.227	Lb/hr	38.7
Tractores con Orugas	56,180	Horas	0.137	Lb/hr	3.8
Motoniveladora	12,000	Horas	0.086	Lb/hr	0.5
ANFO	40,471,548	Lb	1.0	Lb/T	10.0
Total					55.1

CO

El monóxido de carbono (CO) es emitido por los tubos de escape de los vehículos, las fuentes de combustión y las operaciones de voladura, en cantidades similares a las de las emisiones de NO_x. Sin embargo, se espera que los impactos de CO sean muy inferiores a los estándares peruanos y otros sobre calidad de aire, puesto que dichos estándares son aproximadamente tres órdenes de magnitud mayores que las de NO_x. Por lo tanto, no se desarrolló un inventario detallado de CO.

Metales (Arsénico y Plomo)

En Antamina, tanto el plomo como el arsénico se encuentran presentes en el mineral y la roca circundante. El minado y el proceso del material liberará estos metales como parte del PM10 emitido de este lugar. Sin embargo, no se estimaron las emisiones para estos metales ya que se espera que la verdadera cantidad sea muy pequeña. De esta forma, los impactos en el ambiente se estiman en la sección M-II-3.4. mediante la ponderación de las concentraciones de estos metales en la roca, en las concentraciones pronosticadas de PM10.

VI.3.2 Cálculos Detallados de Emisiones

Para estimar las emisiones de las fuentes con equipos de filtración de aire tipo bolsa, se empleó una descarga granular según los estándares industriales de 0.02 granos por pie cúbico seco estándar (gr/pcse) como factor de emisión para las emisiones de PM₁₀. Las fuentes que usan equipos de filtración de aire tipo bolsa son las fuentes identificadas como PROC2, PROC6, PROC7, PROC14, PROC16, PROC17 y PROC 19. La ecuación empleada es la siguiente:

$$Q = (0.02 \text{ gr/pcse}) * V * (\text{lb}/7000 \text{ gr}) * (453.6 \text{ g/lb}) * (\text{min}/60 \text{ seg})$$

Donde:

Q = emisiones en g/s

V = tasa de flujo volumétrico en pcse/min

Se asume que todas las tasas de flujos especificados para los equipos fueron pie cúbico seco estándar. Entonces, para PROC, por ejemplo:

$$Q = (0.02 \text{ gr/pcse}) * 10,182 \text{ ft}^3/\text{min} * (\text{lb}/7000 \text{ gr}) * (453.6 \text{ g/lb}) * (\text{min}/60 \text{ seg})$$
$$Q = 0.22 \text{ g/s.}$$

De manera similar, las emisiones de la fuente ID PROC20, con un depurador de gases, se estimaron mediante un estándar típico industrial de 0.03 granos por pie cúbico seco estándar (gr/pcse). Las emisiones se calculan de la siguiente manera:

$$Q = (0.03 \text{ gr/pcse}) * V * (\text{lb}/7000 \text{ gr}) * (453.6 \text{ g/lb}) * (\text{min}/60 \text{ seg})$$

Donde:

Q = emisiones en g/s

V = tasa de flujo volumétrico en pcse/min

También se asumió que las tasas de flujo especificadas para el equipo fueron pie cúbico seco estándar.

Se estimaron las emisiones puntuales de transferencia de material empleando la ecuación mencionada en AP-42, pag 13.2.4-3, Ecuación 1. Dicha ecuación se empleó para las fuentes identificadas como PROC3, PROC4, PROC5 y PROC16. La ecuación es la siguiente:

$$E=k(0.0032)(U/5)^{1.3}/(M/2)^{1.4}$$

y:

$$Q=E*C*(1-CE)*(453.6 \text{ g/lb})*(dia/24hr)*(hr/60 \text{ min})*(min/60 \text{ seg})$$

Donde:

E = factor de emisión en lb/ton

k = multiplicador de dimensión de partículas (0.35)(sin dimensión)

U = valor de velocidad del viento (5.4 mph)

M = contenido de humedad (4%)

C = capacidad del equipo (t/h)

CE = eficiencia de control del rociador (70%)

Entonces para el PROC3, por ejemplo

$$E=k(0.0032)(5.4/5)^{1.3}/(4/2)^{1.4}$$

Y

$$Q=E*(70,000 \text{ tpd})(1-0.7)*(453.6 \text{ g/lb})*(día /24 \text{ hr})*(hr/60 \text{ min})*(min/60 \text{ seg})$$

$$Q=0.0517 \text{ g/s}$$

Nótese que para propósitos de modelaje, las fuentes 6 y 7 se combinaron en una sola fuente y también las emisiones. Lo mismo ocurrió con las fuentes de proceso 16 a la 19, empleándose con la más baja velocidad de salida de la chimenea.

Para las fuentes relacionadas a la mina, a continuación se señalan las ecuaciones para el estimado de emisiones:

1. Retiro de mineral y desecho - Camión y cargador frontal¹

$$EF = \frac{K (0.0032)(U/5)^{1.3}}{(M/2)^{1.4}}$$

donde:

K = Multiplicador de dimensión de particulado = 0.35 para PM-10

U = Velocidad media del viento 5.4 mph

M = Contenido de humedad del material = 4%

$$EF = \frac{(0.35)(0.0032)(5.4/5)^{1.3}}{(4/2)^{1.4}}$$

$$= 0.000469 \text{ lb/ton (tonelada corta)}$$

Mineral a chancado:

$$(25.550 \times 10^6 \text{ toneladas/año})(1.1023 \text{ tonelada corta/tonelada métrica}) \\ \times 0.000469 \text{ lb/ton/(2000lb/ton)}=6.6 \text{ ton/año}$$

Mineral a pila de almacenamiento

$$(5.173 \times 10^6 \text{ toneladas/año})(1.1023 \text{ tonelada corta/tonelada métrica}) \\ \times 0.000469 \text{ lb/ton/(2000lb/ton)}=1.3 \text{ ton/año}$$

Desecho

$$(92.685 \times 10^6 \text{ toneladas/año})(1.1023 \text{ tonelada corta/tonelada métrica}) \\ \times 0.000469 \text{ lb/ton/(2000lb/ton)}=24.0 \text{ ton/año}$$

2. Vaciado del camión al chancador y a las áreas de desecho

Factor de emisión = 0.000469 lb/ton (de 1 anterior)

El mineral vaciado en el chancador tiene un control del 50% debido a la aplicación de rociadores de agua. El desecho y el vaciado del mineral en las pilas de almacenamiento no tiene factor de control.

Mineral a chancador:

$$(25.550 \times 10^6 \text{ toneladas/año})(1.1023 \text{ tonelada corta/tonelada métrica}) \\ \times 0.000469 \text{ lb/ton/(2000lb/ton)} \times 0.5(\text{control})=3.3 \text{ ton/año}$$

Mineral a pilas de almacenamiento

$$(5.173 \times 10^6 \text{ toneladas/año})(1.1023 \text{ tonelada corta/tonelada métrica})$$

¹ NOTA: Las emisiones enumeradas anteriormente se duplicaron para estimar en forma conservadora tanto el retiro como el vaciado de la roca de mineral/desecho en el tajo. El total de las emisiones PM-10 debido al retiro del mineral/desecho fue entonces (6.6 TPY + 1.3 TPY + 24.0 TPY) = 31.9 TPY*2 = 63.8 TPY.

$$x 0.000469 \text{ lb/ton}/(2000\text{lb/ton})=1.3 \text{ ton/año}$$

Desecho

$$(92.685 \times 10^6 \text{ toneladas/año})(1.1023 \text{ tonelada corta/tonelada métrica}) \\ x 0.000469 \text{ lb/ton}/(2000\text{lb/ton})=24.0 \text{ ton/año}$$

3. Emisiones del camino de acarreo

$$\text{Factor de Emisión} = EF = 0.81s(S/30)^2 [(365-W)/365] *0.62 \text{ lb/VTM}$$

donde

s = contenido de limo del material de superficie del camino (se asume 4%)

S = velocidad de vehículo en mph (se asume 24 kph, 14.9 mph)

W = número de días con 0.01 pulgadas de precipitación o
más = 200 (estimado conservador)

T = factor de corrección de llantas (se asume 2.5)

lb/VTM=libras por milla recorrida por vehículo

$$EF = 0.81 (4) (14.9/30)^2 [(365-200)/365][(0.62 * 2.5) = 0.56$$

Se asume que el riego de los caminos de acarreo es necesario (control de 50%).

Mineral a chancador (457,827 vkt):

$$(284,477 \text{ vmt})*0.56(EF)*.5(\text{control})/2000 \text{ lb/T} = 39.8 \text{ T}$$

Mineral a pilas de almacenamiento (129,728 vkt):

$$(80,608 \text{ vmt})*0.56(EF)*.5(\text{control})/2000 \text{ lb/T} = 11.3 \text{ T}$$

Roca de desmonte (3,156,474 vkt):

$$(1,961,318 \text{ vmt})*0.56(EF)*.5(\text{control})/2000 \text{ lb/T} = 274.6 \text{ T}$$

4. Actividad de la Topadora y la Explanadora

$$\text{Factor de Emisión} = EF = 1.0 (S^{1.5}/M^{1.4})0.75 \text{ donde;}$$

S = Contenido de limo en el material (se asume 4%)

M = Contenido de humedad en el material = 4%

$$EF = 1.0 (4^{1.5}/4^{1.4}) 0.75 = 0.86 \text{ lb/hora}$$

Total de horas de topadora y explanadora para el año 2,006 (acumulativo) se proyecta a 68,180 horas. Entonces,

$$\frac{68,180 \text{ horas/año} \times 0.86 \text{ lb/hr}}{2000 \text{ lb/ton}} = 29.3 \text{ toneladas/año}$$

5. Voladura

Un total de 18,357,585 Kg (20,193 toneladas) de ANFO y emulsión serán empleados para la voladura en el año 2006. El número de voladuras que se proyecta es de 104.

Los factores de emisión para voladura son los siguientes:

$$\text{NO}_x = 17 \text{ lb/ton ANFO}$$

$$\text{SO}_x = 1 \text{ lb/ton ANFO}$$

$$\text{PM}_{10} = 50 \text{ lb/voladura} \times 0.75 = 37.5 \text{ lb/voladura}$$

Entonces, las emisiones de voladura son:

$$\text{NO}_x = (17 \text{ lb/ton})(20193 \text{ ton/año})(1 \text{ ton}/2000 \text{ lb}) = 172 \text{ toneladas/año}$$

$$\text{SO}_x = (1 \text{ lb/ton})(20193 \text{ ton/año})(1 \text{ ton}/2000 \text{ lb}) = 10 \text{ toneladas/año}$$

$$\text{PM}_{10} = (37.5 \text{ lb/voladura})(104 \text{ voladuras/año})(1 \text{ ton}/2000 \text{ lb}) = 2 \text{ toneladas / año}$$

6. Inventario de Emisiones de los Tubos de Escape

Se usaron los siguientes factores de emisión de AP-42, Volumen 2, 4ta Edición. Todos los factores se expresan en libras de emisiones por hora de operación.

	NO _x	SO _x	PM ₁₀
Camiones fuera del camino	2.083	0.227	0.128
Cargadores de ruedas	1.890	0.182	0.172
Bulldozers	1.260	0.137	0.112
Perforadoras	1.691	0.143	0.139
Explanadora con motor	0.713	0.086	0.061

NOTA: El factor del camión fuera del camino es el 50% del factor encontrado en AP-42. Esta reducción se toma en cuenta para tiempo no operativo del camión y viaje sin carga.

6a. Camiones Fuera del Camino (Camiones de Acarreo)

El total de las horas de operación de camión de acarreo para el año 2006 será de 340,833 horas. Las emisiones son las siguientes:

$$\text{NO}_x = 340,833 \text{ hrs} \times 2.083 \text{ lb/hr} = 709,955 \text{ lb/año} = 355.0 \text{ t/año}$$

$$\text{SO}_x = 340,833 \text{ hrs} \times 0.227 \text{ lb/hr} = 77,369 \text{ lb/año} = 38.7 \text{ t/año}$$

$$\text{PM}_{10} = 340,833 \text{ hrs} \times 2.083 \text{ lb/hr} = 43,627 \text{ lb/año} = 21.8 \text{ t/año}$$

6b. Cargadores con ruedas

El total de las horas de operación de cargadores con ruedas para el año 2006 será de 340,833 horas. Las emisiones son las siguientes:

$$\text{NO}_x = 15,466 \text{ hrs} \times 1.890 \text{ lb/hr} = 29,231 \text{ lb/año} = 14.6 \text{ t/año}$$

$$\text{SO}_x = 15,466 \text{ hrs} \times 0.182 \text{ lb/hr} = 2,815 \text{ lb/año} = 1.4 \text{ t/año}$$

$$\text{PM}_{10} = 15,466 \text{ hrs} \times 0.172 \text{ lb/hr} = 2,660 \text{ lb/año} = 1.3 \text{ t/año}$$

6c. Bulldozers

El total de las horas de operación de bulldozers para el año 2006 será de 56,180 horas. Las emisiones son las siguientes:

$$\text{NO}_x = 56,180 \text{ hrs} \times 1.260 \text{ lb/hr} = 70,787 \text{ lb/año} = 35.4 \text{ t/año}$$

$$\text{SO}_x = 56,180 \text{ hrs} \times 0.137 \text{ lb/hr} = 7,697 \text{ lb/año} = 3.8 \text{ t/año}$$

$$\text{PM}_{10} = 56,180 \text{ hrs} \times 0.112 \text{ lb/hr} = 6,292 \text{ lb/año} = 3.1 \text{ t/año}$$

6d. Cisternas

El total de las horas de operación de cisternas para el año 2006 será de 8,000 horas. Se asume que las cisternas emiten a la misma proporción que los camiones de acarreo. Las emisiones son las siguientes:

$$\text{NO}_x = 8,000 \text{ hrs} \times 2.083 \text{ lb/hr} = 16,664 \text{ lb/año} = 8.3 \text{ t/año}$$

$$\text{SO}_x = 8,000 \text{ hrs} \times 0.227 \text{ lb/hr} = 1,816 \text{ lb/año} = 0.9 \text{ t/año}$$

$$\text{PM}_{10} = 8,000 \text{ hrs} \times 0.128 \text{ lb/hr} = 1,024 \text{ lb/año} = 0.5 \text{ t/año}$$

6e. Perforadoras

El total de las horas de operación de las perforadoras para el año 2006 será de 9,923 horas. Las emisiones son las siguientes:

$$\text{NO}_x = 9,923 \text{ hrs} \times 1.691 \text{ lb/hr} = 16,780 \text{ lb/año} = 8.4 \text{ t/año}$$

$$\text{SO}_x = 9,923 \text{ hrs} \times 0.143 \text{ lb/hr} = 1,419 \text{ lb/año} = 0.7 \text{ t/año}$$

$$\text{PM}_{10} = 9,923 \text{ hrs} \times 0.139 \text{ lb/hr} = 1,379 \text{ lb/año} = 0.7 \text{ t/año}$$

6f. Explanadoras a Motor

El total de las horas de operación del explanador para el año 2006 será de 12,000 horas. Las emisiones son las siguientes:

$$\text{NO}_x = 12,000 \text{ hrs} \times 0.713 \text{ lb/hr} = 8,556 \text{ lb/año} = 4.3 \text{ t/año}$$

$$\text{SO}_x = 12,000 \text{ hrs} \times 0.182 \text{ lb/hr} = 1,032 \text{ lb/año} = 0.5 \text{ t/año}$$

$$\text{PM}_{10} = 12,000 \text{ hrs} \times 0.172 \text{ lb/hr} = 732 \text{ lb/año} = 0.4 \text{ t/año}$$

VI.3.3 Resultados del Modelaje

PM₁₀

Las fuentes de área de PM₁₀, las fuentes del proceso descritas anteriormente, la información meteorológica horaria y el engrillado receptor del lugar específico se ingresaron al modelo ISC3. El modelo generó los estimados de la concentración anual y de 24 horas cuyos resultados se muestran en el Tabla M-II.3.1. El pronóstico máximo de las concentraciones de PM₁₀ fuera del lugar para un periodo promedio de 24 horas y anual es de 78.2 y 23.6 µg/m³, respectivamente.

Además, se generaron dos mapas con isopletras. El Mapa M-II-1 y el Mapa M-II-2 presentan las isopletras de impacto en 24 horas y el promedio anual respectivamente. Estos mapas muestran que las concentraciones en exceso de cualquier estándar potencialmente aplicable de Perú, del Banco Mundial o de E.E.U.U. no existirá más allá de la propiedad controlada por Antamina. Las concentraciones elevadas se presentarán sólo en el tajo y en las proximidades de los caminos activos de acarreo, las canchas de rocas de desmonte y las instalaciones del proceso. Las concentraciones de PM₁₀ del ambiente disminuirán rápidamente con la distancia a la actividad minera y las fuentes de manejo del material.

NO_x

El NO_x se modeló de la misma manera que el PM₁₀ y los resultados se muestran en el Tabla M-II.3-1. Las concentraciones máximas de NO_x se han pronosticado en el tajo y en otras áreas de alta actividad vehicular. Las máximas concentraciones pronosticadas fuera del lugar en cualquier receptor son de 98.2 µg/m³ para 24 horas y 22.9 para un periodo promedio anual. Estos valores se encuentran muy por debajo de los estándares de 24 horas de Perú de 200 µg/m³ y de los estándares anuales de E.E.U.U., de 100 µg/m³ respectivamente.

SO₂

El SO₂ se modeló de la misma manera que PM₁₀ y NO_x y los resultados se presentan en la Tabla VI-8. Así como en el caso de NO_x, los máximos impactos pronosticados de concentraciones se encuentran en el tajo y en los alrededores de las áreas de intensa actividad. Las concentraciones máximas pronosticadas fuera del lugar fueron de 8.7 µg/m³ para un período promedio de 24 horas y 2.4 µg/m³ para un período promedio anual. Estos valores son muy inferiores a los estándares de 24 horas en el Perú de 350 µg/m³, los estándares de US EPA de 365 µg/m³ y los estándares de US EPA anuales de 80 µg/m³.

VI.3.4 Metales (Arsénico y Plomo)

Arsénico

Para estimar los impactos ambientales del arsénico, las concentraciones de PM₁₀ pronosticadas en diversos receptores fueron ponderadas mediante la cantidad de

arsénico encontrado en la roca y el mineral. Los análisis de roca y mineral indicaron que el contenido de arsénico variaba entre > 1 g/t a 1730 g/t, con una media máxima (en cualquier roca), de 123 g/t para sobrecarga. La concentración media en el sobrecarga se empleó en el cálculo ya que el polvo generado provenía de diversas áreas en la mina y en la roca circundante.

La concentración más alta de PM_{10} de 24 horas fue multiplicada por 0.000135, la fracción de masa equivalente a la concentración media de arsénico encontrada en la sobrecarga, para obtener la concentración calculada de arsénico en el ambiente de $0.01 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Esta concentración máxima se encuentra muy por debajo del estándar peruano de 24 horas para el arsénico de $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Plomo

Similar al arsénico, para obtener un estimado de las concentraciones de plomo, las concentraciones de PM_{10} pronosticadas en diversos receptores se ponderaron mediante el contenido de plomo encontrado en la roca y en el mineral. Los análisis de roca y mineral indicaron que el contenido de plomo variaba entre >1 g/t a 2380 g/t, con una media máxima de 445 g/t en sobrecarga. La concentración media se empleó en el cálculo ya que el polvo generado proviene de diversas áreas dentro de la mina y de la roca circundante.

La concentración más alta de PM_{10} anual fue multiplicada por 0.00049, la fracción de masa equivalente a la concentración media encontrada en la roca, para obtener la concentración calculada de plomo en el ambiente de $0.01 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Esta concentración máxima se encuentra por debajo del estándar peruano para el promedio anual de plomo a $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Resumen

Un modelaje riguroso de calidad de aire se realizó mediante el uso de emisiones específicas del lugar y la información meteorológica. Como conclusión, el modelaje demuestra que el proyecto Antamina no causará mayores impactos fuera del lugar con respecto a la mayoría de estándares peruanos o internacionales sobre la calidad de aire en el ambiente.

Tabla VI-8 Resultados del Modelaje y Comparación con Estándares

Parámetro	Periodo Promedio	Comparación de la Concentración Máxima Prevista Fuera del Lugar ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Concentraciones Máximas Previstas Relacionadas con el Proyecto en Ayash; Chavin, de Huántar y San Marcos ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Reglamentos Peruanos Potencialmente Aplicables para el Sector Minero en Areas no habitadas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Criterios/Estándares de Aire Ambiental/Lineamientos Industriales del Banco Mundial ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Criterios/Estándares de Aire Ambiental-U.S. EPA ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
PM ₁₀	24-horas	78.2	12.9; 8.3; 6.9	350	500	150
	Anual	23.6	2.0; 0.8; 0.3	150	100	50
NO ₂	24-horas	98.2	19.5; 10.9; 9.4	200	200	N/A
	Anual	22.9	2.4; 0.9; 0.3	N/A	100	100
SO ₂	24-horas	8.7	1.7; 1.0; 0.9	572	500	365
	Anual	2.4	0.2; 0.1; 0.03	172	100	80
Plomo	Anual	0.01	0.001; 0.0004; 0.0001	0.5	N/A	1.5 ¹
Arsénico	24-horas	0.01	0.002; 0.001; 0.0009	6	N/A	N/A

1. Promedio Trimestral

Figures M-II-1 & 2 here (CAD drawings)

Referencias

Bechtel, 1997; Letter from Bechtel Corporation to H.A. Simons; October 10, 1997.

EPA 1988-1995; United States Environmental Protection Agency; Compilation of Air Pollutant Emission Factors; PB95-196028.

EPA 1992; United States Environmental Protection Agency; Screening Procedures for Estimating the Air Quality Impact of Stationary Sources, Revised. EPA-454/R-92-019.

EPA, 1995; User's Guide for the Industrial Source Complex (ISC3) Dispersion Models, Volumes 1 and 2. EPA Publication Nos. EPA-454/B-95-003a & b. U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC. (NTIS Nos. PB 95-222741 and PB 95-222758, respectively)

Charles A. Collins Memorandum, Wyoming Department of Environmental Quality, January 24, 1979.

Map VI-1 Cocentración de PM10 Promedio Anual

Map VI-2 Concentración Máxima de PM10 de 24 horas

Map VI-3 Fuentes de Emisión de Aire