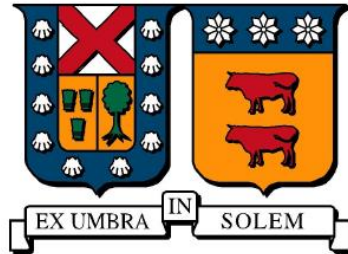


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
SANTIAGO - CHILE



“EMISIONES DE CONTAMINANTES
PROVENIENTES DE MAQUINARIA PESADA EN
FAENAS MINERAS UBICADAS EN LA
CORDILLERA DE LOS ANDES”

NATALIA ALEJANDRA SALDAÑA TRONCOSO

MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE: INGENIERO CIVIL
MECANICO, MENCIÓN ENERGÍA

PROFESOR GUÍA: MAURICIO OSSES

PROFESOR CORREFERENTE: FELIPE CHACANA

–Noviembre 2017 –

*“Al amor de mi vida,
porque siempre lo
logramos”*

Agradecimientos

Agradezco a mis padres todo el esfuerzo y amor que me han entregado toda mi vida, y por inculcarme que la mejor herencia es la educación.

Al profesor Mauricio Osses que me dio la oportunidad de desarrollar este trabajo de tesis, y por la buena onda que siempre lo ha caracterizado. Al profesor Felipe Chacana por ser mi co-referente y su valioso aporte a este trabajo.

Al proyecto FONDAP 15110009, cuyo objetivo apunta mejorar la comprensión científica del sistema climático, su variabilidad y los impactos a lo largo de Chile, por su preciado aporte a este trabajo.

A mis compañeros Camila, Jorge, Diego, Daniel, Álvaro y Ricardo por todas esas largas e improductivas noches de estudio.

A mis hermanos Sofia y Vicente por aguantarme y quererme incondicionalmente.

A mis amigas, Isabel, Javiera, Claudia y en especial a Catalina por ayudarme con la redacción de este trabajo.

A Rodrigo por ser el principal motivo de mi vida.

Resumen

Las emisiones de contaminantes atmosféricos generadas por faenas mineras ocurren durante todas las etapas de su ciclo de vida: explotación, desarrollo, construcción y operación, esta tesis estudia solo aquellas producidas por las fuentes móviles con motores de combustión interna, específicamente de motores diesel. El objetivo de la presente memoria de título es estimar nivel de emisiones contaminantes producidas por la maquinaria pesada en la minería en Chile, esto con el objetivo de luego dar pie a una regulación de las emisiones producidas en la cordillera y así proteger los glaciares de nuestro país.

Lo anterior se lleva a cabo por medio de la metodología que brinda la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA por sus siglas en inglés), cuyo objetivo es entregar una pauta para el cálculo de emisiones, además de fijar los valores límites permitidos de factores de emisión (mediante las normas Tier para CO, NOx y MP, y BSFC para CO₂) de los motores fuera de ruta al momento de ser comercializados. Fue necesario ampliar los factores de emisión para lograr analizar de mejor manera la flota de equipos que están sobre los 750 hp, los cuales representan al 65% del total, este método fue denominado “Tier+Extrapolación”.

Los resultados obtenidos fueron sensibilizados realizando variaciones de los parámetros más influyentes en el cálculo de emisiones. Estas variaciones se aplicaron a la flota de equipos que poseen potencias superiores a 750 hp, ya que estos son los que presentan una mayor representatividad. Luego, los resultados en [Ton/año] son los siguientes; CO: 9.252, NOx: 48.555, MP: 1.096, CO₂: 4.790.809.

Se produjo un importante aumento de emisiones al sensibilizar algunos factores, lo cual denota que los términos seleccionados presentan una alta variabilidad, por esta razón puede afirmarse que estas se encuentran íntimamente ligadas al número de máquinas y el nivel de actividad con se utilicen. Por otro lado, con los resultados finales es posible decir que el nivel de producción de una faena minera condiciona directamente en sus niveles de contaminación producida por la maquinaria pesada, siendo los Off-Highway o camiones fuera de ruta los que poseen mayor impacto en la cantidad de estas emisiones. Finalmente, se puede mencionar que el método Tier es válido para realizar estimaciones de emisiones, sin embargo, el método “Tier+Extrapolación” es el más adecuado para hallar factores de emisión cuando la flota de máquinas a estudiar posee mayoritariamente potencias superiores a 750 hp.

Abstract

Emissions from air pollutants generated by mining operations occur during all stages of its life cycle: exploration, development, construction and operation, this thesis studies only those produced by mobile sources with internal combustion engines, specifically diesel engines. The objective of this thesis is to estimate the level of pollutant emissions produced by heavy machinery in Chilean high-altitude mining, with the aim of later initiating a regulation of the emissions produced in the mountain range and thus protect the glaciers of our country.

This is done through the methodology provided by the United States Environmental Protection Agency (EPA), which aims to provide a standard for the calculation of emissions, in addition to setting the permitted limits of emission factors (by Tier standards for CO, NO_x and MP, and BSFC for CO₂) of nonroad engines when they are sold. It was necessary to increase emission factors to analyze better the fleet of equipment that is above 750 hp, which represent 65% of the total, this method was called "Tier + Extrapolation".

The results obtained were sensitized by making variations of the most influential parameters in the calculation of emissions. These variations were applied to the fleet of equipment that have powers higher than 750 hp, since these are the ones that present a greater representativity. Then, the results in [Ton / year] are as follows; CO: 9.252, NO_x: 48.555, MP: 1.096, CO₂: 4.790.809.

There was a significant increase in emissions when sensitizing some factors, which indicates that the terms selected have a high variability, for this reason can be affirmed that these are closely linked to the number of machines and the level of activity with which they are used. On the other hand, with the final results it is possible to say that the level of production of a mining operation directly affects its pollution levels produced by heavy machinery, with nonroad trucks having the greatest impact on the amount of these emissions. Finally, it can be mentioned that the Tier method is valid to make emission estimates, however, the "Tier + Extrapolation" method is the most adequate to find emission factors when the fleet of machines to be studied has, in most cases, power above 750 hp.

Glosario

BC: Black Carbon

BSFC: Brake specific fuel consumption / Consumo específico de combustible de freno

CFC: Clorofluorocarbono

CMDIC: Compañía minera Doña Inés de Collahuasi

CO: Monóxido de carbono

CO₂: Dióxido de carbono

EEUU: Estados Unidos de América

EPA: Enviromental Protection Agency (Agencia de protección ambiental de los Estados Unidos)

EW: Electro-obtención

FE: Factor de emisión

GLP: Gas licuado de petróleo

H₂SO₄: Ácido sulfúrico

HNO₃: Ácido nítrico

HP: Horse Power

Kw: Kilo Watt

Ley de cobre: Es el porcentaje de cobre que encierra una determinada muestra

M.S.N.M: Metros sobre el nivel del mar

MFR: Maquinaria fuera de ruta

N₂O: Óxido nitroso

NA: Nivel de actividad

NO: Monóxido de nitrógeno

NO₂: Dióxido de nitrógeno

NO₃: Nitrato

NONROAD/Off-Highway: Maquinaria fuera de ruta

NOx: Óxidos de nitrógeno

O₂: Oxígeno

OMHCE: Organic material hydrocarbon equivalent

OMS: Organización Mundial de la Salud

P: Potencia

PNAS: Proceedings of the National Academy of Science

SO₂: Dióxido de azufre

SX: Extracción por solventes

Tier: Normativa federal de estándares para emisiones vehiculares en USA

TM: Toneladas métricas

UE: Unión Europea

Índice de Contenidos

Agradecimientos	II
Resumen.....	III
Abstract	IV
Glosario.....	V
Índice de Contenidos.....	VII
Índice de Figuras	IX
Índice de Tablas	XI
Introducción	12
Capítulo 1: Estado del Arte	13
1.1 Actividad Minera en Chile	13
1.1.1 Faenas mineras	15
1.1.2 Maquinaria minera pesada.....	29
1.2 Emisiones generadas por faenas mineras	40
1.2.1 Antecedentes generales	40
1.2.2 Normativa vigente en Chile.....	44
1.2.3 Estimaciones de emisiones producidas por maquinarias en minería.....	47
1.3 Impacto de las emisiones en glaciares.....	50
1.3.1 Glaciares cercanos a zonas mineras	51
1.3.2 Retroceso de glaciares en Los Alpes	53
2 Capítulo 2: Metodología.....	55
2.1 Metodología para el cálculo de emisiones	55
2.2 Faenas mineras y maquinaria a estudiar.....	56
2.3 Consumo combustible y factores de emisión	60
2.4 Factor de carga y nivel de actividad.....	62
3 Capítulo 3: Resultados	63
3.1 Maquinaria estudiada	63
3.2 Distribución Tier	67
3.3 Factores de emisión.....	70
3.4 Análisis sensibilidad.....	76
3.5 Emisiones por faenas y totales	80
4 Capítulo 4: Conclusiones y recomendaciones.....	82
4.1 Conclusiones generales	82
4.2 Conclusiones específicas.....	84
4.2.1 Conclusiones estado del arte	84
4.2.2 Conclusiones metodología	85

4.2.3	Conclusiones de resultados	85
4.3	Recomendaciones.....	86
REFERENCIAS.....		88
ANEXOS.....		90

Índice de Figuras

Figura 1: Exportaciones de la minería metálica en Chile año 2014 medidas en Millones de US\$, fuente (Cochilco, 2014).....	13
Figura 2: Consumos totales de energía de la minería del cobre vs producción de cobre fino. Fuente Cochilco.	14
Figura 3: Consumo de combustibles por proceso minero, nivel nacional 2001-2015. Fuente Cochilco.	15
Figura 4: Vista satelital Mina Quebrada Blanca.	16
Figura 5: Vista aérea faena minera Cerro Colorado.....	17
Figura 6: Vista satelital Mina Collahuasi.....	17
Figura 7: Vista satelital mina Gabriela Mistral.....	18
Figura 8: Vista satelital Mina Chuquicamata.....	19
Figura 9: Vista satelital Mina Ministro Hales.....	20
Figura 10: Vista satelital Radomiro Tomic.....	21
Figura 11: Vista satelital Mina Escondida.....	21
Figura 12: Vista satelital Mina El Abra.....	22
Figura 13: Vista satelital mina Zaldívar.....	23
Figura 14: Vista satélite mina El Salvador.....	24
Figura 15: Vista satelital Mina Los Pelambres.....	24
Figura 16: Foto tomada desde las alturas en Mina Los Pelambres.....	25
Figura 17: Vista satelital Mina Los Bronces.....	25
Figura 18: Foto tomada desde las alturas en Mina Los Bronces.....	26
Figura 19: Vista satelital Mina El Teniente.....	27
Figura 20: Foto tomada desde las alturas en Mina Andina.....	27
Figura 21: Participación de faenas mineras de cobre ubicadas en la Cordillera de los Andes, según su producción. Fuente (Cochilco, Producción de cobre de mina por empresa anual, 2014).....	28
Figura 22: Dumper marca Komatsu modelo 930E.....	30
Figura 23: Dumper marca Caterpillar modelo 797B.....	30
Figura 24: Dumper marca Liebherr T282-C.....	31
Figura 25: Pala Komatsu 5500.....	32
Figura 26: Pala Caterpillar 325B.....	32
Figura 27: Cargador frontal Caterpillar 966H.....	33
Figura 28: Cargador frontal Le Tourneau L1850.....	33
Figura 29: Bulldozer D10N.....	34
Figura 30: Wheeldozer Cat 824H.....	35
Figura 31: Wheeldozer Cat 854G.....	36
Figura 32: Motoniveladora Caterpillar 16 H.....	37
Figura 33: Motoniveladora Komatsu GD825A.....	37
Figura 34: Ford Louisville.....	38
Figura 35: Rodillo compactador CSC-583.....	39
Figura 36: Retroexcavadora Caterpillar 420D.....	40
Figura 37: Carbono Negro depositado en el glaciar Athabasca en Canadá.....	42
Figura 38: Imagen satelital VI Región, se muestra la Faena El Teniente y los Glaciares Cipreses y Universidad.....	51
Figura 39: Imagen satelital Regiones V y RM, se muestran Faenas Andina, Los Bronces y el Glaciar Juncal Norte.....	51
Figura 40: Imagen satelital Regiones II a IV, se muestran Faenas Escondida, Zaldívar y los Glaciares Tres Cruces.....	52

Figura 41: Imagen satelital Región II, se muestran faenas mineras cercanas al Glaciar Tres Cruces.	52
Figura 42: Cambios en el largo del glaciar a partir del primer año de medición para 5 Glaciares Alpinos.	53
Figura 43: Concentración de BC en Fiescherhorn y Colle Gnifetti (montañas de Los Alpes), y las emisiones estimadas de BC en Europa.	54
Figura 44: Cantidad de maquinaria estudiada clasificada según marca (Elaboración propia).	65
Figura 45: Cantidad de maquinaria estudiada clasificada según potencia [hp] (Elaboración propia).	66
Figura 46: Distribución máquinas con potencias superiores a 750 hp.	66
Figura 47: Participación de equipos para potencias sobre los 2000 hp (Elaboración propia).	67
Figura 48: Distribución Tier para potencias entre los 75 y 100 hp.	68
Figura 49: Distribución Tier para potencias entre los 100 y 175 hp.	68
Figura 50: Distribución Tier para potencias entre los 175 y 300 hp.	68
Figura 51: Distribución Tier para potencias entre los 300 y 600 hp.	68
Figura 52: Distribución Tier para potencias entre los 600 y 750 hp.	69
Figura 53: Distribución Tier para potencias entre los 750 y 1000 hp.	69
Figura 54: Distribución Tier para potencias entre los 1000 a 2000 hp.	69
Figura 55: Distribución Tier para potencias superiores a 2000 hp.	70
Figura 56: Comportamiento factores de emisión Tier 1 con línea de tendencia para CO, NOx y MP.	71
Figura 57: Comportamiento factores de emisión Tier 2 con línea de tendencia para CO, NOx y MP.	72
Figura 58: Comportamiento factores de emisión Tier 4 con línea de tendencia para CO, NOx y MP.	72
Figura 59: Comportamiento factores de emisión Tier 4N con línea de tendencia para CO, NOx y MP.	72
Figura 60: Comparación método Tier con método Tier+Extrapolación para CO, NOx y MP (Elaboración propia).	75
Figura 61: Análisis de sensibilidad. Elaboración propia.	78
Figura 62: Emisión total de contaminantes año 2014, con su respectiva variación (Elaboración propia).	81
Figura 63: Proporción porcentual de los casos desfavorables y favorables de NA, N° máquinas y antigüedad. Elaboración propia.	79

Índice de Tablas

Tabla 1: Producción minería metálica año 2014, fuente (Cochilco, Anuario de estadísticas de cobre y otros minerales 1995-2014, 2014).	13
Tabla 2: Faenas mineras de cobre ubicadas en la Cordillera de los Andes, año 2014.	28
Tabla 3: Variación normativa EPA según tamaño del motor. Fuente (Geasur, 2014).	44
Tabla 4: Factor de emisión para MFR nueva entregada. Fuente (EPA, 2004).	45
Tabla 5: Variación normativa impartida por la UE, según tamaño del motor. Fuente (Geasur, 2014).	46
Tabla 6: Factores de emisión MFR nueva dados por la UE. Fuente (CORINAIR, 2013).	46
Tabla 7: Cantidad de máquinas estimadas en el sector de minería (Geasur, 2014).	48
Tabla 8: Potencias de las máquinas estimadas (Geasur, 2014).	49
Tabla 9: Resultado emisiones estimadas estudio Geasur.	50
Tabla 10: Extracto del documento “Catastro de Equipamiento Minero”, se muestran las faenas Andina y Chuquicamata de Codelco.	56
Tabla 11: Maquinaria minera descrita en el Catastro de Equipamiento Minero (MCh, 2013/2014).	58
Tabla 12: Faenas mineras, servicios y cantidad de maquinaria existente en la minería chilena, año 2014.	59
Tabla 13: Consumo combustible (EPA, 2004).	60
Tabla 14: Extracto del documento “NONROAD-EPA”, donde se muestran algunos equipos Caterpillar.	61
Tabla 15: Factor de carga. Fuente (Geasur, 2014).	62
Tabla 16: Nivel de actividad utilizada para maquinaria pesada minera (Barrales, 2008).	62
Tabla 17: Nivel de actividad utilizada para Wheel Dozer y On-Highway Trucks (Elaboración propia).	63
Tabla 18: Maquinaria estudiada (Elaboración propia).	64
Tabla 19: Cantidad de maquinaria estudiada clasificada según marca (Elaboración propia).	64
Tabla 20: Cantidad de maquinaria estudiada clasificada según potencia [hp] (Elaboración propia).	65
Tabla 21: Emisiones totales métodos EPA y Tier (Elaboración propia).	71
Tabla 22: Factores de emisión finales utilizados y tendencia.	74
Tabla 23: Resultados preliminares de emisión de contaminantes en la minería de cobre en altura (Elaboración propia).	75
Tabla 24: Diferencia porcentual entre Tier y Tier+Extrapolación en los niveles 1000-2000 hp y >2000 hp con respecto al nivel original >750hp (Elaboración propia).	76
Tabla 25: Análisis de sensibilidad individual para nivel de actividad, N° de equipos y antigüedad. Elaboración propia.	77
Tabla 26: Análisis de sensibilidad (Elaboración propia).	79
Tabla 27: Emisiones de CO, NOx, MP y CO ₂ por faenas y totales año 2014, con su respectiva variación (Elaboración propia).	80
Tabla 28: Emisión total de contaminantes año 2014, con su respectiva variación (Elaboración propia).	81
Tabla 29: Factor de emisión utilizado en el método EPA (NONROAD-EPA).	90
Tabla 30: Maquinaria utilizada en las faenas mineras estudiadas, fuente (MCh, 2013/2014).	95

Introducción

La industria minera es uno de los pilares fundamentales en la economía chilena, sin embargo, es una gran fuente de contaminación atmosférica.

Dada la importancia del sector minero en la actividad productiva nacional, surge la necesidad de realizar un catastro real de emisiones que se producen en las mineras, la cual emite de variadas maneras: fundiciones, perforaciones, tronaduras y transporte, acopio de material y gases de escape provenientes de maquinaria pesada. Esta última es un área que carece de estudios relacionados con el tema y además no existe una regulación vigente de límite de emisión hasta el momento.

La maquinaria móvil fuera de ruta, en especial aquella utilizada en el rubro de la minería, utiliza mayoritariamente diésel como combustible, por lo que genera emisiones de contaminantes atmosféricos como por ejemplo óxidos nitrosos y material particulado en sus modalidades fino y ultrafino, los cuales generan efectos adversos en salud que impactan en forma directa a los habitantes de los centros urbanos con mayor densidad de población.

El objetivo de estimar las emisiones que surgen en la cordillera es entender que cantidad de contaminantes, principalmente material particulado, se está depositando en la nieve lo que contribuye al cambio climático aumentando la temperatura de los hielos (IGSD, 2008).

Objetivos

Principal

Determinar la emisión de contaminantes producidos por maquinaria pesada en faenas mineras ubicadas en la Cordillera de los Andes.

Específicos

- Realizar una revisión bibliográfica
 - Investigar acerca del material particulado y emisiones gaseosas: Si existen estudios previos y por qué es importante.
 - Estudios previos sobre emisiones en faenas mineras, ya sean nacionales e internacionales.
 - Actividad minera en Chile: Quién es el ente que provee la información.
- Realizar un levantamiento de información sobre las faenas mineras ubicadas en la cordillera y la maquinaria pesada utilizada en ellas.
- Determinar factores de emisión de contaminantes para distintos tipos de maquinaria pesada utilizada en faenas mineras en Chile.
- Estimar las emisiones totales asociadas a la actividad minera ubicada en el cordón de Los Andes.

Capítulo 1: Estado del Arte

1.1 Actividad Minera en Chile

La minería ha sido protagonista en el crecimiento de la economía chilena en las últimas décadas. Los principales minerales metálicos extraídos en Chile son el cobre, molibdeno, oro, plata, plomo, zinc, hierro y manganeso, aunque cabe señalar que este último no posee una producción desde el año 2010. A continuación, se muestra la producción de cada uno de estos metales:

Tabla 1: Producción minería metálica año 2014, fuente (Cochilco, Anuario de estadísticas de cobre y otros minerales 1995-2014, 2014).

Mineral	Producción
Cobre (Miles de TM de fino)	57.450
Molibdeno (Miles de TM de fino)	48.770
Hierro (Miles de TM de fino)	18.866
Zinc (Miles de TM de fino)	45
Plomo (Miles de TM de fino)	3
Plata (Kg de fino)	1.571.788
Oro (Kg de fino)	46

La Tabla 1 muestra la producción de cada metal, sin embargo, resulta complicado comparar cada uno, ya que algunos se encuentran medidos en TM de fino y otros en Kg de fino. Por lo que, para saber la participación que poseen, se analizan según las exportaciones que poseen.

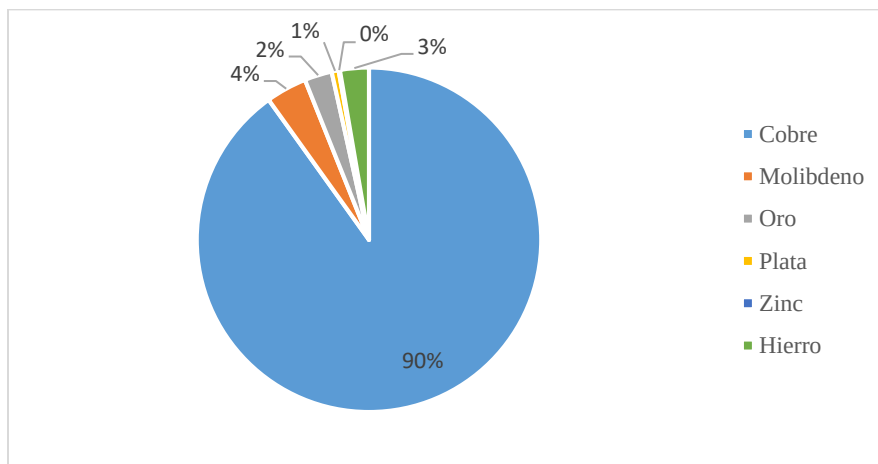


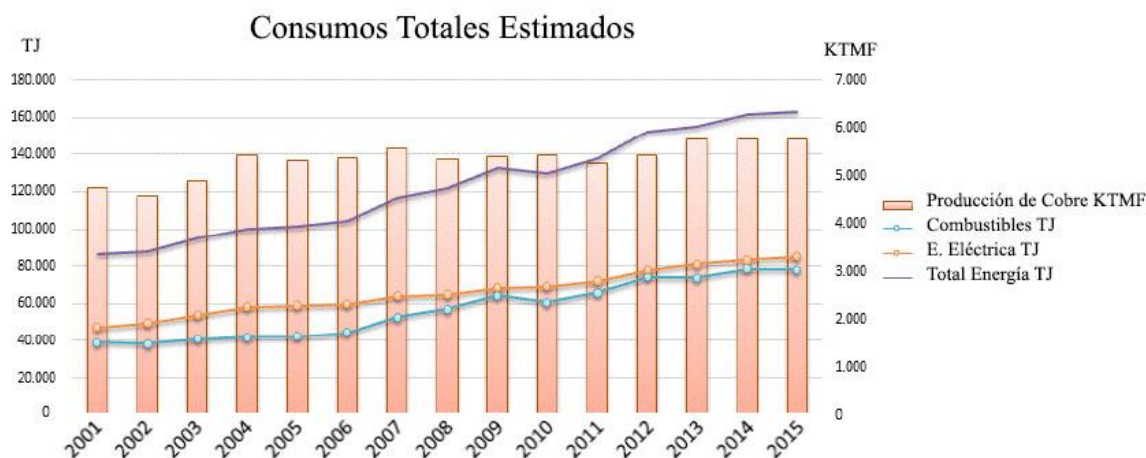
Figura 1: Exportaciones de la minería metálica en Chile año 2014 medidas en Millones de US\$, fuente (Cochilco, 2014).

Como se muestra en la Figura 1, el cobre es el protagonista ya que abarca el 90% de las exportaciones. Muy por debajo le sigue el molibdeno y el hierro.

Antes de los años '80, la producción de cobre estuvo estancada en torno a 1,4 millones de toneladas. Posterior a eso, se observó un aumento significativo en la producción alcanzando más de 4 millones de toneladas. Luego, el crecimiento continuó, aunque a menor ritmo, y en los últimos años la producción de cobre se encuentra cerca de los 6 millones de toneladas. Esto ha permitido que Chile pase a representar desde un 16% de la producción mundial antes de los '90, a un 30% en la actualidad (Consejo Minero, 2016).

Por otro lado, resulta interesante analizar el comportamiento del consumo de combustible a lo largo de los años con respecto a la producción nacional de cobre, esto se muestra en la siguiente figura:

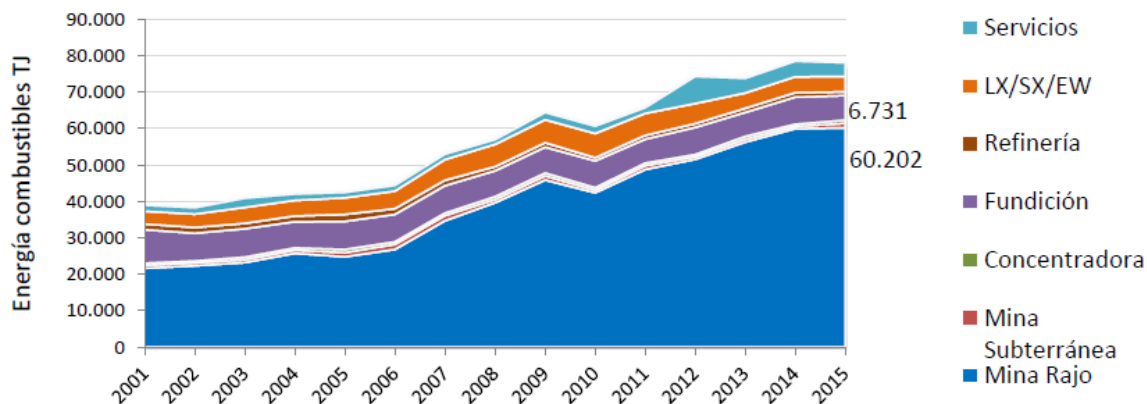
Figura 2: Consumos totales de energía de la minería del cobre vs producción de cobre fino. Fuente Cochilco.



De la Figura 2 se puede observar el aumento que ha experimentado el uso de energía por parte de la minería en los últimos años, esto se debe principalmente a la disminución de la ley y aumento de la dureza de los materiales, aumento en las distancias de acarreo y cambios tecnológicos. Esto quiere decir que hoy se necesita más energía para producir la misma cantidad de cobre fino que hace 15 años (Cochilco, 2016).

Finalmente se muestra el consumo de combustible por proceso minero:

Figura 3: Consumo de combustibles por proceso minero, nivel nacional 2001-2015. Fuente Cochilco.



De la figura anterior se observa que el proceso que utiliza mayores cantidades de combustibles es la explotación mina a rajo abierto. Es así como en el año 2015, el consumo fue 60202 TJ, casi 3 veces más que el año 2001. También se puede mencionar el mínimo consumo que posee la minería subterránea, con respecto a los demás procesos.

1.1.1 **Faenas mineras**

La actividad de una mina puede empezar cuando una empresa ha construido los caminos de acceso y ha preparado el lugar de trabajo. Todos los tipos de explotación minera comparten un aspecto en común: la extracción y concentración del metal de la corteza terrestre. En casi todos los casos los minerales se encuentran debajo de una capa de suelo o roca común (denominado “excedente” o “desecho de roca”) que debe ser removido o excavado para acceder al depósito de mineral metálico.

La mayoría de los datos entregados en el presente sub capítulo son extraídos de la fuente (Lo Castillo SA, 2016).

Los métodos más comunes son los que se describen a continuación:

a) *Minas a rajo abierto*

Es un tipo de minería superficial en la cual el mineral metálico se extiende muy profundamente en el suelo, lo que demanda la remoción de capas de excedente de mineral.

En muchos casos, antes de remover el excedente, se requiere la tala de árboles y desbroce o quema de vegetación que se encuentra sobre el yacimiento. El uso de maquinaria pesada, usualmente excavadoras y camiones de carga es la forma más frecuente de retirar el excedente.

La minería a tajo abierto es uno de los tipos de minería más destructivos ambientalmente, debido a que frecuentemente comprende la remoción de áreas con vegetación nativa (ELAW, 2010).

A continuación, se muestran las faenas ubicadas en la Cordillera de los Andes (a una altura sobre los 2500 con respecto al nivel del mar) que emplean este tipo de extracción de material:

Quebrada Blanca:

Quebrada Blanca es una mina a cielo abierto ubicada en la región de Tarapacá, a una altura de 4.400 metros sobre el nivel de mar (m.s.n.m) y aproximadamente 240 kilómetros al sureste de la ciudad de Iquique.

Esta faena es operada por Teck, quien tiene un 76,5% de la participación. El interés restante es de propiedad de Inversiones Mineras S.A. (13,5%) y Empresa Nacional de Minería (10%)



Figura 4: Vista satelital Mina Quebrada Blanca.

Cerro Colorado

La faena minera Cerro Colorado pertenece a la empresa chilena Compañía Minera Cerro Colorado Ltda. (CMCC) y forma parte del grupo internacional BHP-Billiton. Se encuentra en operaciones desde 1992 y se ubica en la I Región de Chile, aproximadamente a 9 km al poniente de la localidad de Mamiña. Basa su producción en la explotación a cielo abierto de su yacimiento de cobre, y el posterior procesamiento del mineral mediante chancado en tres etapas, lixiviación en pilas, extracción por solventes y electro obtención.

La faena minera de Cerro Colorado explota su yacimiento mediante el método convencional a tajo abierto, con tronaduras en bancos y carguío del material estéril y mineral en camiones.



Figura 5: Vista aérea faena minera Cerro Colorado.

Collahuasi

Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi (CMDIC) pertenece a Glencore (44%), a Anglo American (44%) y a JCR, un consorcio japonés liderado por Mitsui Co Ltd. (12%). En la actualidad, ocupa el sexto lugar en reservas a nivel mundial y es el cuarto productor de cobre del país.

La compañía inauguró su operación comercial de cobre con la explotación del tajo Ujin, el 7 de abril de 1999. La mina se ubica a 185 kilómetros al sureste de Iquique en la zona altiplánica de la I Región (Tarapacá), cercana a la frontera con Bolivia. Sus actividades productivas se desarrollan a una altitud promedio de 440 m.s.n.m.

En 2014 Collahuasi produjo 470.383 toneladas de cobre fino, un 6% superior al año anterior.

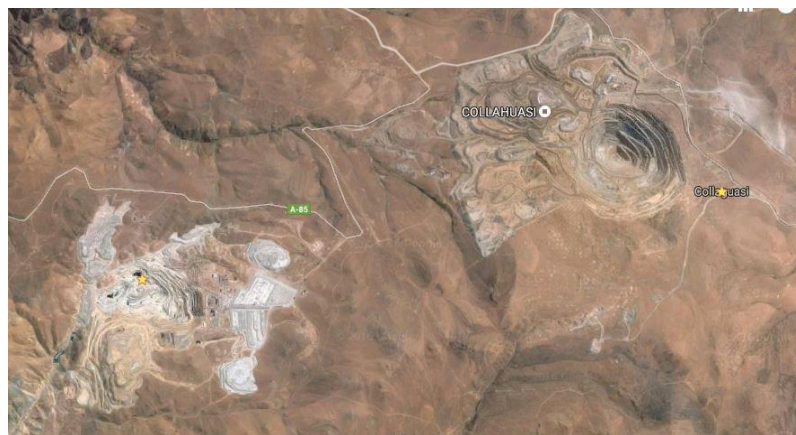


Figura 6: Vista satelital Mina Collahuasi.

Gabriela Mistral (Gaby)

El yacimiento Gabriela Mistral está ubicado en la Región de Antofagasta, comuna de Sierra Gorda, a 120 kilómetros al suroeste de Calama y una altura de 2.660 m.s.n.m. Contiene 620 millones de toneladas de mineral oxidado.

El yacimiento entró en producción el año 2008 y fue operado por Minera Gaby S.A, una filial 100% propiedad de Codelco hasta diciembre de 2012, cuando la empresa se transformó en la nueva División Gabriela Mistral.

La explotación se efectúa a rajo abierto, con camiones que operan en forma autónoma. El proceso productivo está conformado por las etapas de chancado (primario, secundario y terciario), curado en tambores acidificadores, lixiviación en pilas dinámicas, disposición de rípios, extracción por solventes (SX), electro-obtención (EW), y su producción de cátodos es transportada al puerto de Mejillones.

División Gabriela Mistral es la primera operación minera del mundo que utiliza el 100% de sus camiones de extracción en la modalidad autónomo, lo que significa que los camiones están equipados con un sistema inalámbrico de navegación que permite una comunicación a distancia y, por lo tanto, puedan ser operados desde una central.



Figura 7: Vista satelital mina Gabriela Mistral.

Chuquicamata

La división Chuquicamata de Codelco es una de las más antiguas y tradicionales unidades productivas de la empresa estatal. El complejo minero se ubica a 1.650 kilómetros al norte de Santiago de Chile, a 2.870 metros sobre el nivel del mar. Chuquicamata entró en operaciones en 1915, aunque sus propiedades mineras también eran conocidas desde hace siglos por culturas prehispánicas. Esta División cuenta hoy con dos minas, donde la explotación es a rajo abierto, “Chuquicamata” y “Mina Sur”.

En octubre de 2009 se autorizó la fase de factibilidad del proyecto Mina Chuquicamata Subterránea, que explotará parte de los recursos que se encuentran bajo el actual rajo abierto, que, tras haber entregado riqueza a Chile por casi 100 años, dejará de ser rentable en las próximas décadas.

Chuquicamata Subterránea se constituirá en uno de los principales referentes de la industria extractiva subterránea mundial, dada la magnitud de la operación involucrada, que representa 250 hectáreas, por lejos -junto con el Nuevo Nivel Mina El Teniente- la más grande del mundo. Este proyecto permite dar la viabilidad técnica y económica al menos para 50 o 60 años más.

Esta mina estipula dentro de sus planes de negocio su cierre para el año 2020 y la parte subterránea iniciaría sus operaciones el año 2018.

En 2014, la mina Chuquicamata alcanzó una producción de 340.363 toneladas métricas de cobre fino.



Figura 8: Vista satelital Mina Chuquicamata.

Ministro Hales

La División Ministro Hales (también llamada Alejandro Hales) es la más joven de Codelco y fue creada por el directorio el 1 de septiembre de 2010. Cuenta con una mina explotada a rajo abierto, que se ubica a 5 kilómetros de Calama. Está ubicada a 2.600 metros de altura, a casi 10 kilómetros al norte de Calama por el camino que une a esta ciudad con Chuquibambilla.

Este rico yacimiento fue bautizado en un principio como "Mansa Mina", en referencia a la gran cantidad de mineral que poseía; sin embargo, no pudo ser explotado sino hasta 20 años después, puesto que en los años ochenta no se contaba con la tecnología necesaria para realizar las labores previas a la explotación, en especial por tratarse de un mineral con alto grado de impurezas.

Su producción de cobre en el año 2014 alcanzó las 141 mil TM.



Figura 9: Vista satelital Mina Ministro Hales.

Radomiro Tomic

Esta División de Codelco explota el yacimiento de cobre Radomiro Tomic, descubierto en la década de 1950, aunque sus operaciones comenzaron en 1995, después de que Codelco actualizó los estudios de factibilidad de su explotación y contó con la tecnología necesaria para explotarlo de manera económicamente rentable, para luego comenzar su operación el año 1998.

La mina Radomiro Tomic está ubicada a 1670 kilómetros de Santiago, a 3000 m.s.n.m en la Cordillera de Los Andes y tuvo una producción de 327 mil TM de cobre en el año 2014.



Figura 10: Vista satelital Radomiro Tomic.

Escondida

Minera Escondida es operada por BHP Billiton (el cual cuenta con el 57,5% de las inversiones), Rio Tinto (30%), JECO (2,5%). Esta faena minera es la mina de mayor producción de cobre del mundo, ubicada en la Segunda Región del país, a 170 km al sureste de Antofagasta y a una altitud de 3100 metros.

La mina fue inaugurada en 1991, con capacidad de producir 320.000 toneladas anuales de cobre fino. Para el año 2014 la producción alcanzó los 1,16 millones de toneladas.



Figura 11: Vista satelital Mina Escondida.

El Abra

Es una mina a rajo abierto que emplea un sistema de cintas transportadoras de 15 kilómetros, uno de los más largos del mundo, para enviar minerales desde la mina hasta las instalaciones de procesamiento. Se encuentra ubicada en la región de Antofagasta, a unos 75 kilómetros al noreste de Calama y a 1280 kilómetros al norte de Santiago, a una altura de 3900 msnm.

En 2014 la producción de El Abra fue de 166.417 toneladas de cobre fino.



Figura 12: Vista satelital Mina El Abra.

Zaldívar

Ubicada en la precordillera de Los Andes, el norte de Chile (Segunda Región), aproximadamente a 1.400 km de Santiago y a 175 km al sudeste de Antofagasta. La mina queda ubicada a una altura de 3.000 m.s.n.m.

Zaldívar es una mina de cobre a rajo abierto propiedad de Barrick Gold Corp (en junio del 2015) y su producción de cobre al año 2014 alcanzó 100 mil TM.



Figura 13: Vista satelital mina Zaldívar.

Salvador

División Salvador se ubica en la comuna de Diego de Almagro, Región de Atacama, a 2.600 metros sobre el nivel del mar, a una distancia de 1.100 kilómetros de Santiago.

Sus operaciones consideran la explotación minera subterránea y a rajo abierto, un concentrador, procesos de lixiviación, una fundición y refinería en Potrerillos, y el Puerto Barquito ubicado en la ciudad de Chañaral.

Comenzó a explotar sus minerales en el año 1959 y actualmente opera los yacimientos Inca (explotado de forma subterránea) y las minas Campamento Antiguo, Quebrada M y otros cuerpos satélites de menor envergadura (explotadas a rajo abierto) y su producción para el año 2014 fue de 54 mil TM de cobre.

El Salvador cuenta con la particular característica de ser la última ciudad-campamento existente en Chile, la cual se puede observar en la Figura 14 en la esquina superior izquierda (Codelco).



Figura 14: Vista satélite mina El Salvador.

Los Pelambres

El yacimiento Los Pelambres opera a rajo abierto, ubicada en la Cordillera de los Andes cercano al límite con Argentina en la comuna de Salamanca (IV Región de Coquimbo) a una altura aproximada de 3200 metros sobre el nivel del mar.

El grupo Luksic adquirió la mina en 1986 a la antigua compañía Anaconda (EEUU), contrayéndose el proyecto Los Pelambres en 23 meses, entre 1997 y 1999.

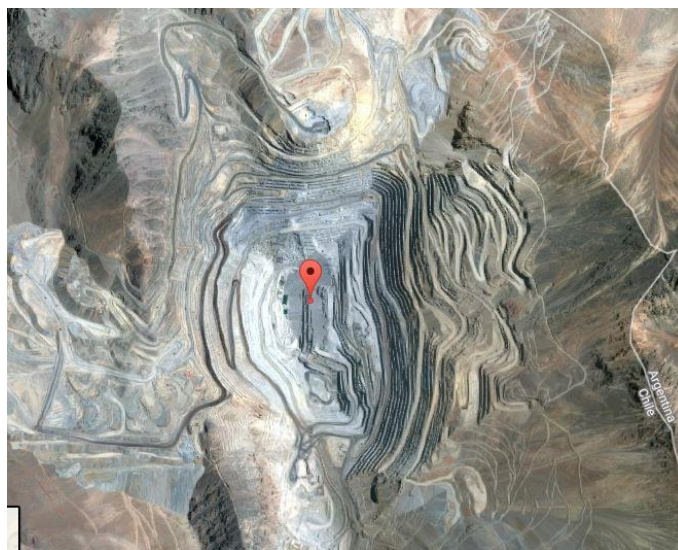


Figura 15: Vista satelital Mina Los Pelambres.



Figura 16: Foto tomada desde las alturas en Mina Los Pelambres.

Los Bronces

Los Bronces se encuentra ubicada en la Región Metropolitana, a 65 kilómetros de Santiago y a 3.500 metros sobre el nivel del mar.

Los Bronces es una mina de cobre y molibdeno que se explota a rajo abierto, la cual tuvo una producción de cobre de 404 mil TM para el año 2014.



Figura 17: Vista satelital Mina Los Bronces.



Figura 18: Foto tomada desde las alturas en Mina Los Bronces.

b) *Minas subterráneas*

Son aquellos yacimientos donde los minerales deben explotarse bajo la tierra. En este tipo de yacimientos, se retira una cantidad mínima de material sobre capa o excedente para tener acceso al yacimiento de mineral. El acceso al depósito de mineral se logra mediante un túnel. Los conductos, o socavones verticales conducen a una red horizontal de túneles que tienen acceso directo al mineral. Por el método minero de excavación de galerías, secciones o bloques de roca son retirados en pilas verticales que crean una cavidad subterránea la que, por lo general, se llena con un agregado de cemento y roca de desecho.

Si bien la minería subterránea es un medio menos destructivo de acceder al yacimiento de mineral, por lo general es más costosa y conlleva riesgos a la seguridad mucho más grandes que la minería superficial, incluyendo la minería a tajo abierto. Si bien la mayoría de proyectos mineros a gran escala comprenden la minería a cielo abierto, muchas minas subterráneas se encuentran en producción en el mundo (ELAW, 2010).

A continuación, se muestran las faenas mineras subterráneas de cobre ubicadas en la Cordillera de los Andes:

El Teniente

División El Teniente está ubicada a 80 kilómetros al sur de Santiago y a 2500 m.s.n.m., centra sus operaciones en la explotación de la mina subterránea de cobre más grande del mundo. Esta mina

comenzó a ser explotada en 1905 y se han perforado 3000 kilómetros de túneles. Además, en 2014 El Teniente produjo 455.000 toneladas métricas de cobre fino.



Figura 19: Vista satelital Mina El Teniente.

Andina

Andina es una de las siete divisiones de Codelco. Opera el yacimiento Rio Blanco, cuya riqueza era conocida desde 1920, sin embargo, los intentos por iniciar su explotación no se concretaron hasta el año 1970.

Está ubicada a 70 kilómetros de la ciudad de Los Andes, Región de Valparaíso, entre 3500 y 4000 metros sobre el nivel del mar. En la actualidad esta división realiza la explotación en la mina subterránea Tercer Panel de la mina Rio Claro y en la mina a rajo abierto Don Luis.



Figura 20: Foto tomada desde las alturas en Mina Andina.

A continuación, se resumen las faenas mineras anteriormente mencionadas, destacando la región, altura y producción, ordenadas por orden alfabético y por región a la que pertenecen:

Tabla 2: Faenas mineras de cobre ubicadas en la Cordillera de los Andes, año 2014.

Faena	Región	Altura [m.s.n.m]	Producción en miles [TM]	Relevancia producción
Cerro Colorado	I	2.600	80	1,4%
Collahuasi	I	4.500	470	8,2%
Quebrada Blanca	I	4.200	48	0,8%
Chuquicamata	II	2.870	340	6%
El Abra	II	3.900	166	3%
Escondida	II	3.050	1165	20%
Gabriela Mistral	II	2.660	121	2%
Ministro Hales	II	2.600	141	2%
Radomiro Tomic	II	3.000	327	6%
Zaldívar	II	3.000	100	2%
Salvador	III	2.600	54	1%
Los Pelambres	IV	3.200	404	7%
Los Bronces	RM	3.200	416	7%
Andina	V	3.100	232	4%
El Teniente	VI	2.500	455	8%
Total	-	-	4.519	78,4%

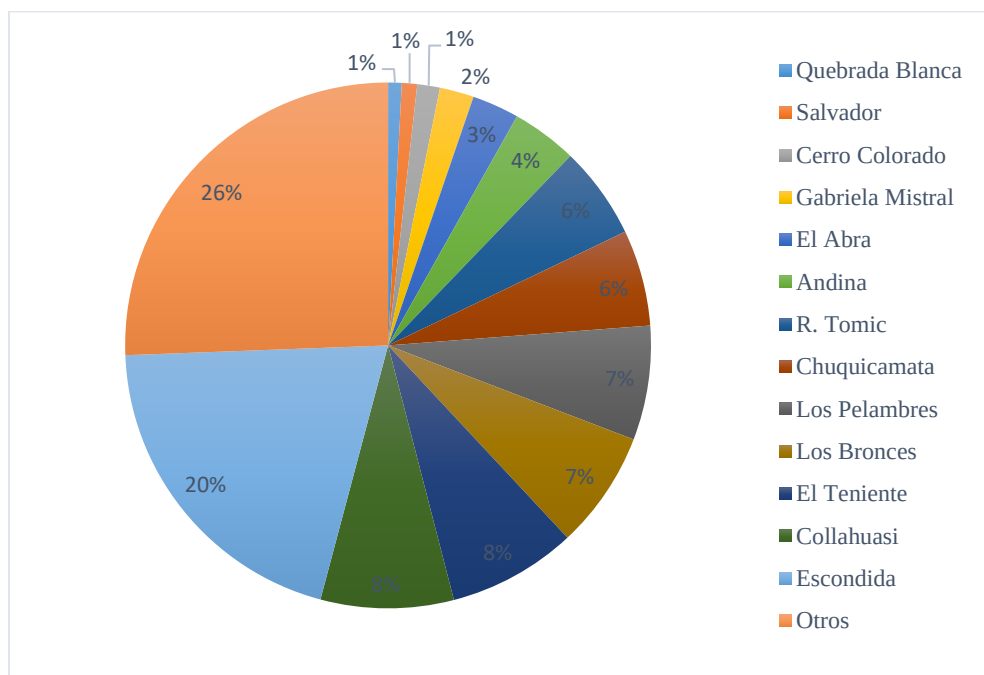


Figura 21: Participación de faenas mineras de cobre ubicadas en la Cordillera de los Andes, según su producción.

Fuente (Cochilco, Producción de cobre de mina por empresa anual, 2014).

De la Figura 21 se extrae que la mina con mayor producción a nivel nacional es la faena Escondida con un 20% de relevancia, siguiéndole muy por debajo Collahuasi y El Teniente con un 8% cada una.

1.1.2 Maquinaria minera pesada

Las maquinarias representativas para este TT son aquellas que representan fuentes móviles, por lo que no son parte del estudio acuñadores, filtros, martillos, perforadoras, molinos, ventiladores, agitadores, apiladores, bombas y cualquier tipo de equipo que no utilice combustibles fósiles para su operación (eléctricos).

Los equipos móviles que son mayormente utilizados en la minería son maquinaria pesada (potencias superiores a 300 hp), la que requiere grandes cantidades de combustible diesel para su funcionamiento, con motores de combustión interna de encendido por compresión, la cual es utilizada para el levantamiento de objetos pesados, demolición o transporte de material.

Las máquinas estudiadas en este informe son aquellas que pertenecen a las faenas ubicadas en la Cordillera de Los Andes anteriormente mencionadas, lo cuales son de variados tipos, potencias y tamaños del motor. La información referida a estos equipos fue extraída de la fuente (Ritchiespecs, 2007-2017).

A continuación, se describen los tipos de maquinaria utilizadas en las faenas mineras estudiadas, las que se encuentran a una altura por sobre los 2.600 m.s.n.m.:

Off-Highway Trucks

Son equipos que poseen gran tamaño, peso y dimensión, por lo que no pueden transitar por la vía pública.

También llamados Dump (o Dumper en español), tienen como función el traslado de grandes cantidades de material hacia el siguiente paso en la cadena de procesos del cobre.

A continuación, se muestran los camiones Dumper más utilizados:

ESPECIFICACIONES DUMPER KOMATSU 930E:

- Potencia Neta:	2700 hp
- Displacement / Cilindrada:	60 L
- Modelo Motor:	SSDA16V160



Figura 22: Dumper marca Komatsu modelo 930E.

El camión Komatsu 930E es capaz de cargar 300 toneladas, mide 7,4 metros de altura y cuando eleva la tolva alcanza los 14 metros, como un edificio de tres pisos. Los neumáticos del 930E, en tanto, tienen una altura de casi 4 metros de diámetro, es decir, duplican la estatura de una persona adulta.

ESPECIFICACIONES DUMPER CATERPILLAR 797B:

- Potencia Neta:	3550 hp
- Displacement / Cilindrada:	117,1 L
- Modelo Motor:	3524B HD EUI



Figura 23: Dumper marca Caterpillar modelo 797B.

Es un camión de arrastre mecánico de dos ejes, mide 7,59 m y llega a medir 15 m con el cuerpo levantado. Es la segunda generación de la serie 797 y se presentó al público en el año 2002. El 797B permaneció en producción hasta diciembre de 2009, en ese tiempo fue el camión con capacidad de carga mas grande de Caterpillar.

ESPECIFICACIONES DUMPER LIEBHERR T282-B:

- Potencia Neta:	3654 hp
- Displacement / Cilindrada:	90 L
- Modelo Motor:	20V4000



Figura 24: Dumper marca Liebherr T282-C.

Este es hasta la fecha el camión más grande del mundo, con alrededor de 15 metros de largo y 9 de ancho. Presentado el 2004, puede transportar cargas útiles de hasta 363 toneladas con una velocidad de 64 km/h. Con un motor de 20 cilindros en “V” de 90 L de cilindrada y 10.400 kg de peso.

Pala

Las palas se utilizan tanto en faenas de explotaciones mineras como en obras civiles. Es una máquina autopropulsada, sobre orugas, con una estructura capaz de girar al menos 360° que excava terrenos, carga, eleva, gira y descarga materiales por la acción de la cuchara, fijada a un conjunto formada por pluma y brazo o balancín, sin que el chasis se desplace.

ESPECIFICACIONES PALA KOMATSU 5500:

- Potencia Neta:	1260 hp
- Displacement / Cilindrada:	38 L
- Modelo:	2x SSA12V159



Figura 25: Pala Komatsu 5500.

ESPECIFICACIONES PALA CAT 325B:

- Potencia Neta:	168 hp
- Displacement / Cilindrada:	6,6 L
- Modelo:	3116TA



Figura 26: Pala Caterpillar 325B.

Wheel Loader / Cargador frontal

Son tractores montados sobre neumáticos los cuales llevan en su parte delantera un cucharón accionado por mandos hidráulicos. Sirven para manipular materiales sueltos, sobre todo para elevar tomándolos del suelo y cargar sobre camiones u otros medios de transporte.

Las marcas más utilizadas son Caterpillar y Komatsu.

ESPECIFICACIONES CARGADOR FRONTAL CAT 966H:

- Potencia Neta:	262 hp
- Displacement / Cilindrada:	11,1 L
- Modelo Motor:	C11 ACERT



Figura 27: Cargador frontal Caterpillar 966H.

ESPECIFICACIONES CARGADOR FRONTAL LE TOURNEAU L-1850:

- Potencia Neta:	2.000 hp
- Displacement / Cilindrada:	45 L
- Modelo Motor:	QSK 60



Figura 28: Cargador frontal Le Tourneau L1850.

Bulldozer:

Es una máquina de excavación y empuje compuesto de un tractor sobre orugas y chasis articulado, y una hoja perpendicular al eje longitudinal del tractor situado en la parte delantera del mismo.

La operación del movimiento de material es un conjunto de movimientos rectos de avance y retroceso. Al moverse hacia adelante, su hoja frontal se encaja en el terreno cortándolo, para obtener su carga.

La oruga proporciona una baja presión de tierra, excelente estabilidad y fuerte tracción para el equipo, por lo tanto, puede cumplir operaciones precisas horizontales e inclinadas.

La marca más representativa es Caterpillar, donde se destaca el siguiente modelo:

ESPECIFICACIONES BULLDOZER CAT D10:

- Potencia Neta:	700 hp
- Displacement / Cilindrada:	29,3 L
- Modelo:	D348
- Norma Emisión	Tier 2



Figura 29: Bulldozer D10N

Este modelo posee variaciones como el de la Figura 29, el Bulldozer D10N, este se diferencia del modelo D10 en la potencia neta (520 Hp) y la cilindrada que es un poco menor (27 L). Otros modelos son D10T, D10R, D10T WH.

Wheeldozer

Son tractores sobre ruedas que están equipados con palas excavadoras y son utilizados para la limpieza y clasificación de tierras. Se emplean en minería para el empuje de material y aplicaciones de recuperación de puestos de trabajos como caminos, lugares de perforación, entre otros.

La principal marca proveedora es Caterpillar, de donde destacan los siguientes modelos:

ESPECIFICACIONES WHEELDOZER CAT 824H:

- Potencia Neta:	354 hp
- Displacement / Cilindrada:	15,2 L
- Modelo Motor:	Cat C18 ACERT



Figura 30: Wheeldozer Cat 824H.

ESPECIFICACIONES WHEELDOZER CAT 854G:

- Potencia Neta:	800,6 hp
- Displacement / Cilindrada:	34,5 L
- Modelo Motor:	3508 EUI diesel



Figura 31: Wheeldozer Cat 854G.

Motoniveladora

La motoniveladora es una máquina muy versátil usada para mover tierra u otro material. Su función principal es nivelar, modelar o dar pendiente necesaria al material en que se trabaja. Se considera como una máquina de terminación superficial.

Puede imitar todos los tipos de tractores, pero su diferencia radica en que la motoniveladora es más frágil, ya que no es capaz de aplicar la potencia de movimientos ni la de corte de un tractor.

Estas máquinas poseen una hoja que se utiliza para desplazar el material, es larga de poca altura y curva, puede girar sobre su eje en 360° para conseguir cualquier ángulo con la trayectoria de la máquina.

Las ruedas delanteras son direccionales, estas se pueden inclinar para compensar el esfuerzo de la hoja.

Las marcas más utilizadas en la minería chilena son Komatsu y Caterpillar, siendo esta última la más representativa. A continuación, se muestran algunos ejemplos:

ESPECIFICACIONES MOTONIVELADORA CAT 16H:

- Potencia Neta:	285 hp
- Displacement / Cilindrada:	11,9 L
- Modelo:	3196 ETA
- Norma Emisión	Tier 2



Figura 32: Motoniveladora Caterpillar 16 H.

La serie 16 posee 3 variaciones, aparte del 16H representado en la figura, está el modelo 16M el que posee un poco más de potencia rodeando los 312 Hp y una cilindrada de 12,5 L, y por otro lado está el modelo 16G el cual posee menor potencia (250 Hp) pero mayor cilindrada (14,6 L).

ESPECIFICACIONES MOTONIVELADORA KOMATSU GD825A:

- Potencia Neta:	280 hp
- Displacement / Cilindrada:	5,9 L
- Modelo:	S6D140E



Figura 33: Motoniveladora Komatsu GD825A.

On-Highway Trucks

Son camiones pequeños ocupados principalmente para acarreo de materiales y personal, poseen potencias bajas inferiores a 500 Hp. No son considerados maquinaria fuera de ruta sin embargo se aceptarán en el presente estudio principalmente por que poseen motores diesel y emiten los mismos contaminantes, aunque en menor medida, que los motores fuera de ruta.

A continuación, se muestra uno de estos camiones más utilizados en las mineras de Chile:

ESPECIFICACIONES FORD LOUISVILLE

- Potencia Neta:	294 hp
- Displacement / Cilindrada:	10 L



Figura 34: Ford Louisville.

Rodillo compactador

Son rodillos vibratorios de trabajos pesados que son ampliamente utilizados para compactar la grava, mezcla de arena-asfalto, piedra triturada, arena del suelo, rocas y otros materiales de relleno no cohesivos en la capa de base y el sustrato de carreteras. En minería son utilizados para nivelar los caminos y compactar la tierra.

ESPECIFICACIONES RODILLO COMPACTADOR CATERPILLAR CSC-583

- Potencia Neta:	153 hp
- Displacement / Cilindrada:	6,6 L



Figura 35: Rodillo compactador CSC-583.

Retroexcavadora

Es una máquina que se utiliza para excavaciones en terrenos. Consiste en un balde de excavación en el extremo de un brazo, el cual es articulado en dos partes.

El chasis puede estar montado sobre cadenas o ruedas. En este último caso están provistas de gatos hidráulicos para fijar la maquina al suelo para darle estabilidad.

La diferencia que tiene con la excavadora es que índice sobre el terreno excavando de arriba hacia abajo. Es utilizada para trabajar el movimiento de tierras a nivel inferior al plano de apoyo, o un poco superior a éste.

ESPECIFICACIONES RETROEXCAVADORA CAT 420D

- Potencia Neta:	85 hp
- Displacement / Cilindrada:	4 L
- Modelo:	3054T
- Norma Emisión	Tier 2



Figura 36: Retroexcavadora Caterpillar 420D.

1.2 Emisiones generadas por faenas mineras

Las emisiones de contaminantes atmosféricos generadas por faenas mineras ocurren durante todas las etapas de su ciclo de vida: explotación, desarrollo, construcción y operación.

Las operaciones mineras movilizan gran cantidad de material mediante maquinaria pesada y equipos industriales para procesar el mineral. Las mayores fuentes de contaminación del aire en operaciones mineras son: material particulado transportado por el viento como resultado de excavaciones, voladuras, transporte de material, erosión eólica, polvo fugitivo proveniente de los depósitos de relaves, depósitos, pilas de desechos, caminos. Además de las emisiones de gases de escape de fuentes móviles provenientes de una combustión incompleta.

Cuando una fuente emite contaminantes en la atmósfera, estos son transportados en el aire, se diluyen y son sujetos a cambios (físicos y químicos) en la atmósfera. Estos contaminantes pueden causar serios efectos negativos en la salud de las personas y en el ambiente (ELAW, 2010).

1.2.1 Antecedentes generales

Las emisiones pueden ser producidas por fuentes móviles o fuentes estacionarias, ambas emiten contaminación atmosférica, ruido, vibraciones, etc. Para efectos de este trabajo se estudiarán solo aquellas emisiones atmosféricas provenientes de fuentes móviles en las faenas mineras.

Cabe destacar que existe una diferencia en los contaminantes atmosféricos dependiendo si son primarios o secundarios:

- Contaminantes primarios: Aquellos procedentes directamente de las fuentes de emisión.
- Contaminantes secundarios: Aquellos originados en el aire por interacción entre dos o más contaminantes primarios, o por sus reacciones con los constituyentes normales de la atmósfera.

Las fuentes móviles que operan en la minería incluyen vehículos pesados utilizados en las operaciones de excavación, vehículos de transporte de personal en sitios mineros y camiones de transporte de material principalmente. Las emisiones de estas fuentes dependen del combustible y las condiciones del equipo, y aun cuando estas pueden ser relativamente pequeñas, la cantidad de emisiones en conjunto constituyen una gran preocupación.

La maquinaria que está bajo análisis en este trabajo utiliza en su mayoría diesel como su combustible, por lo que los contaminantes que se mencionarán a partir de ahora serán solo para este tipo de combustible:

Material particulado (MP):

Representa una mezcla de partículas líquidas y sólidas, de sustancias orgánicas e inorgánicas, que se encuentran en suspensión en el aire. Este contaminante se divide en 4 categorías dependiendo del tamaño de las partículas.

1. MP_{10} , partículas tienen un diámetro aerodinámico menor que 10 [mm].
2. $MP_{2,5}$ partículas finas que tienen un diámetro menor que 2,5 [mm], representan alrededor de 97% del MP_{10} .
3. Partículas ultra finas que tengan un diámetro menor que 0,1 [mm] o 100 [nm].
4. Nano partículas, las cuales son caracterizadas por diámetros menores que 50 [nm].

El principal contribuyente de las emisiones de material particulado, expresado como MP_{10} , es el parque automotor diesel. En este tipo de motores, las partículas se forman debido a la creación de zonas de baja temperatura o de baja disponibilidad de oxígeno en el frente de llama durante la combustión. La calidad de la combustión depende, principalmente, de las características de la inyección del combustible, de las características de mezclado combustible-aire, y de la presencia de combustible y aceite lubricante en las paredes de la cámara de combustión y en los asientos de las válvulas de aire.

Hoy en día, la tecnología ha logrado disminuir los factores de emisión en más de un 80% con respecto a los niveles en 1990. Los principales cambios introducidos han sido el mejoramiento de la inyección de combustible hacia mayores presiones, el rediseño de la cámara de combustión para mayor turbulencia, el turbo cargador con enfriamiento para aire, tiempos de inyección flexibles, introducción de dos válvulas, entre otros. Un vehículo diesel puede incluso emitir menores concentraciones en números de partículas que uno de gasolina o GLP, si este está equipado con una trampa o filtro de partículas (Andersson, 1998-2001).

El material particulado plantea graves amenazas para la salud. Los expertos han encontrado una relación entre la exposición de partículas finas y la disminución de las funciones vascular y respiratoria, que incluye trombosis, sistemas respiratorios agudos, agravamiento de los síntomas del asma e inflamación pulmonar. Por otra parte, la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha determinado que la exposición a la contaminación del aire exterior, los escapes de diesel y el MP causa cáncer (OMS, 2012).

Cuando se habla del cambio climático y de sus causas, lo más frecuente es dirigir nuestra atención hacia los gases de efecto invernadero (CO_2 , CFC 's, CH_4 , N_2O). A menudo se olvida que, además de estas emisiones, existen otros fenómenos de origen antropogénico que juegan un factor decisivo. Entre ellos, destacamos los llamados Contaminantes Climáticos de Vida Corta, esto significa que su permanencia en la atmósfera es relativamente corta, entre los que se encuentra el Black Carbon.

El Black Carbon representa el 80% de las $MP_{2.5}$ y se compone principalmente de partículas sólidas generadas por la combustión incompleta de combustibles fósiles, principalmente diésel. Estas partículas se depositan en la nieve (tal como se muestra en la Figura 37), y absorben radiación solar, para luego volver a emitirla en forma de calor a la atmósfera y acelera el proceso de derretimiento (Earth Institute, 2016).



Figura 37: Carbono Negro depositado en el glaciar Athabasca en Canadá.

NO_x

Los óxidos de nitrógeno (NO_x), los cuales son un conjunto de óxido nítrico (NO) y dióxido de nitrógeno (NO₂), son contaminantes primarios de mucha trascendencia en los problemas de contaminación.

El emitido en más cantidad es el NO, pero sufre una rápida oxidación a NO₂, siendo este el que predomina en la atmósfera.

NO_x tiene una vida corta y se oxida rápidamente a NO₃ en forma de aerosol o a HNO₃.

Tiene una gran trascendencia en la formación de smog fotoquímico, del nitrato de peroxiacetilo (PAN) e influye en las reacciones de formación y destrucción de ozono, tanto troposférico como estratosférico, así como en el fenómeno de la lluvia ácida.

En grandes concentraciones produce daños a la salud y a las plantas, además corroe tejidos y materiales diversos.

Lluvia acida:

Los contaminantes SO_2 y NO_x al reaccionar con el vapor de agua presente en la atmosfera, forma ácido nítrico (H_2NO_3) y sulfúrico (H_2SO_4) que, al precipitar, provocan la acidificación del suelo y las aguas. Así el pH del agua de lluvia, que en circunstancias normales esta entre 5,5 y 5,7, en condiciones de lluvia acida se sitúa por debajo de 5,0.

La lluvia ácida obstruye los poros de las hojas que capturan el CO_2 , altera los componentes del suelo (lo que hace que los árboles crezcan debilitados) y destruye la biodiversidad de los medios acuáticos. Dado el carácter corrosivo de los ácidos, el patrimonio arquitectónico también puede quedar afectado y, en concentraciones muy altas, se pueden producir afecciones respiratorias en las personas.

CO

El Monóxido de Carbono es el contaminante del aire más abundante en la capa inferior de la atmósfera sobre todo en el entorno de las grandes ciudades. Es un gas incoloro, inodoro e insípido, muy ligero insoluble en agua. Es inflamable y se caracteriza por su gran capacidad de dispersión.

La formación del CO es generalmente el resultado de la combustión incompleta del carbono en el interior del motor, y es el contaminante emitido en mayor cantidad a la atmosfera (después de CO_2) por causas no naturales debido a que la actividad humana lo genera en grandes cantidades.

Los efectos que se relacionan a la presencia de CO a nivel local se producen, debido a que, es un gas tóxico y la exposición del ser humano en grandes concentraciones puede producirle la muerte. Estos efectos son debido a que al combinarse con la hemoglobina de la sangre disminuye su capacidad de ejercer su función normal de transporte de oxígeno.

CO_2

El dióxido de carbono (también llamado anhídrido carbónico) es un gas cuyas moléculas están compuestas por dos átomos de oxígeno y uno de carbono. Es un gas de efecto invernadero, provocado principalmente por la actividad industrial, el cual actúa de manera similar a un techo de vidrio de un invernadero, atrapando el calor y recalentando el planeta.

Si escasea el oxígeno y hay un excedente de dióxido de carbono, primero se destruyen las neuronas, que son las células más sensibles de nuestro organismo; con un 20% de O₂ y un 0,07% de CO₂ ya aparecen síntomas de fatiga, pérdida de rendimiento, dolor de cabeza y aumento del ritmo respiratorio; a medida que se agrava la situación, se producen dificultades respiratorias y finalmente, con un 15% de O₂ y un 5,4% de CO₂, la asfixia.

1.2.2 Normativa vigente en Chile

Al hablar de emisiones contaminantes en motores es importante remarcar el continuo avance que se ha producido en los últimos años, tanto en reducir los gases producidos en la combustión como en el tratamiento posterior de los mismos.

Gracias a la evolución en los motores y a la mejora en los combustibles como, por ejemplo, la reducción del azufre y la eliminación del plomo de los mismos, hoy en día las emisiones contaminantes de cada motor se han reducido enormemente respecto a hace pocas décadas.

Tanto la EPA como la Unión Europea tienen sus propias normas de emisión, que, si bien en general se homologan en los rangos de potencias, poseen algunas diferencias en los distintos límites de emisión. A continuación, se muestran las normativas de ambas legislaciones internacionales:

EPA

La Agencia de Protección Ambiental de EEUU (EPA) ha fijado los valores límites máximos permitidos de los motores fuera de ruta al momento de ser comercializados, es decir cuando están nuevos. Esta normativa se denomina Tier y ha sido desarrollada en fases: Tier 1, Tier 2, Tier 3, Tier 4 y Tier 4N. En la Tabla 3 se muestra cómo se distribuye la normativa según la potencia nominal del motor y el año en que fue fabricada la máquina:

Tabla 3: Variación normativa EPA según tamaño del motor. Fuente (Geasur, 2014).

Potencia Neta	Hp < 11	11 ≤ Hp < 25	25 ≤ Hp < 50	50 ≤ Hp < 75	75 ≤ Hp < 100	100 ≤ Hp < 175	175 ≤ Hp < 300	300 ≤ Hp < 600	600 ≤ Hp < 750	750 ≤ Hp < 1207	1207 ≤ Hp
Año	Kw < 8	8 ≤ Kw < 19	19 ≤ Kw < 37	37 ≤ Kw < 56	56 ≤ Kw < 75	75 ≤ Kw < 130	130 ≤ Kw < 225	225 ≤ Kw < 450	450 ≤ Kw < 560	560 ≤ Kw < 900	900 ≤ Kw
2000	Tier 1	Tier 1	Tier 1	Tier 1	Tier 1	Tier 1	Tier 1	Tier 1	Tier 1	Tier 1	Tier 1
2001	Tier 1	Tier 1	Tier 1	Tier 1	Tier 1	Tier 1	Tier 1	Tier 2	Tier 1	Tier 1	Tier 1
2002	Tier 1	Tier 1	Tier 1	Tier 1	Tier 1	Tier 1	Tier 1	Tier 2	Tier 2	Tier 1	Tier 1
2003	Tier 1	Tier 1	Tier 1	Tier 1	Tier 1	Tier 2	Tier 2	Tier 2	Tier 2	Tier 1	Tier 1
2004	Tier 1	Tier 1	Tier 2	Tier 2	Tier 2	Tier 2	Tier 2	Tier 2	Tier 2	Tier 1	Tier 1
2005	Tier 2	Tier 2	Tier 2	Tier 2	Tier 2	Tier 2	Tier 2	Tier 2	Tier 2	Tier 1	Tier 1
2006	Tier 2	Tier 2	Tier 2	Tier 2	Tier 2	Tier 2	Tier 3	Tier 3	Tier 3	Tier 2	Tier 2
2007	Tier 2	Tier 2	Tier 2	Tier 2	Tier 2	Tier 3	Tier 3	Tier 3	Tier 3	Tier 2	Tier 2
2008	Tier 4	Tier 4	Tier 4	Tier 4	Tier 3	Tier 3	Tier 3	Tier 3	Tier 3	Tier 2	Tier 2
2009	Tier 4	Tier 4	Tier 4	Tier 4	Tier 3	Tier 3	Tier 3	Tier 3	Tier 3	Tier 2	Tier 2
2010	Tier 4	Tier 4	Tier 4	Tier 4	Tier 3	Tier 3	Tier 3	Tier 3	Tier 3	Tier 2	Tier 2
2011	Tier 4	Tier 4	Tier 4	Tier 4	Tier 3	Tier 3	Tier 4	Tier 4	Tier 4	Tier 4	Tier 4
2012	Tier 4	Tier 4	Tier 4	Tier 4	Tier 4	Tier 4	Tier 4	Tier 4	Tier 4	Tier 4	Tier 4
2013	Tier 4	Tier 4	Tier 4	Tier 4	Tier 4	Tier 4	Tier 4	Tier 4	Tier 4	Tier 4	Tier 4
2014	Tier 4	Tier 4	Tier 4	Tier 4	Tier 4	Tier 4	Tier 4	Tier 4	Tier 4	Tier 4	Tier 4

Donde los valores límites de emisión, en g/Kw-h, son las siguientes:

Tabla 4: Factor de emisión para MFR nueva entregada. Fuente (EPA, 2004).

Potencia hp	Norma	CO	NOx	MP
>75 - 100	Tier 0	4,75	9,38	0,98
	Tier 1	3,22	7,61	0,64
	Tier 2	3,22	6,39	0,33
	Tier 3	3,22	4,08	0,41
	Tier 4	0,32	4,08	0,01
	Tier 4N	0,32	0,38	0,01
>100 - 175	Tier 0	3,67	11,39	0,55
	Tier 1	1,18	7,68	0,38
	Tier 2	1,18	5,57	0,24
	Tier 3	1,18	3,40	0,30
	Tier 4	0,12	3,40	0,01
	Tier 4N	0,12	0,38	0,01
>175 - 300	Tier 0	3,67	11,39	0,55
	Tier 1	1,02	7,58	0,34
	Tier 2	1,02	5,44	0,18
	Tier 3	1,02	3,40	0,20
	Tier 4	0,10	3,40	0,01
	Tier 4N	0,10	0,38	0,01

Potencia hp	Norma	CO	NOx	MP
>300 - 600	Tier 0	3,67	11,39	0,55
	Tier 1	1,78	8,18	0,27
	Tier 2	1,15	5,89	0,18
	Tier 3	1,15	3,40	0,20
	Tier 4	0,11	3,40	0,01
	Tier 4N	0,11	0,38	0,01
>600 - 750	Tier 0	3,67	11,39	0,55
	Tier 1	1,80	7,92	0,30
	Tier 2	1,80	5,57	0,18
	Tier 3	1,80	3,40	0,20
	Tier 4	0,18	3,40	0,01
	Tier 4N	0,18	0,38	0,01
>750	Tier 0	3,67	11,39	0,55
	Tier 1	1,04	8,37	0,26
	Tier 2	1,04	5,57	0,18
	Tier 4	0,10	3,25	0,09
	Tier 4N	0,10	3,25	0,04

EURO

Los límites de emisión son producto de la Directiva 97/68/CE (Parlamento Europeo y del Consejo, 1997), la que corresponde a la normativa base para vehículos fuera de ruta de los estados miembros de la Comunidad Europea y tienen como principio: “Que todas las personas deben estar protegidas contra los riesgos reconocidos que la contaminación tiene contra la salud; enfocándose principalmente en controlar las emisiones de NO₂, MP, CO y O₃ y sus consiguientes repercusiones sobre la salud y el medio ambiente. Reduciendo, a su vez, las emisiones de los precursores de ozono, como son el NOx y HC. Con el fin de evitar daños causados al medio ambiente producto de la acidificación del medio.”

Esta normativa se denomina EURO y ha sido desarrollada en fases: Stage I, Stage II, Stage IIIA, Stage IIIB y Stage IV. En la Tabla 5 se muestra cómo se distribuye la normativa según la potencia nominal del motor y el año en que fue fabricada la máquina

Tabla 5: Variación normativa impartida por la UE, según tamaño del motor. Fuente (Geasur, 2014).

Potencia Neta	19 ≤ Kw < 37	37 ≤ Kw < 56	56 ≤ Kw < 75	75 ≤ Kw < 130	130 ≤ Kw < 560
1999		Stage I	Stage I	Stage I	Stage I
2000		Stage I	Stage I	Stage I	Stage I
2001		Stage I	Stage I	Stage I	Stage I
2002	Stage II	Stage I	Stage I	Stage I	Stage II
2003	Stage II	Stage I	Stage I	Stage II	Stage II
2004	Stage II	Stage II	Stage II	Stage II	Stage II
2005	Stage II	Stage II	Stage II	Stage II	Stage II
2006	Stage II	Stage II	Stage II	Stage II	Stage IIIA
2007	Stage IIIA	Stage II	Stage II	Stage IIIA	Stage IIIA
2008	Stage IIIA	Stage IIIA	Stage IIIA	Stage IIIA	Stage IIIA
2009	Stage IIIA	Stage IIIA	Stage IIIA	Stage IIIA	Stage IIIA
2010	Stage IIIA	Stage IIIA	Stage IIIA	Stage IIIA	Stage IIIA
2011	Stage IIIA	Stage IIIA	Stage IIIA	Stage IIIA	Stage IIIB
2012	Stage IIIA	Stage IIIA	Stage IIIB	Stage IIIB	Stage IIIB
2013	Stage IIIA	Stage IIIB	Stage IIIB	Stage IIIB	Stage IIIB
2014	Stage IIIA	Stage IIIB	Stage IIIB	Stage IIIB	Stage IV
2015	Stage IIIA	Stage IIIB	Stage IV	Stage IV	Stage IV

Los factores de emisión para motores diésel regulados están en g/kWh y se definen principalmente como el límite de emisión aplicable al rango de potencia y estándar de emisiones del motor, a diferencia de EPA que utiliza los valores de certificación medidos.

Tabla 6: Factores de emisión MFR nueva dados por la UE. Fuente (CORINAIR, 2013).

Potencia hp	Norma	CO	NOx	MP
>25-50	Sin norma	6,43	14,4	1,81
	Stage I	6,43	14,4	1,81
	Stage II	5,5	8	0,8
	Stage IIIA	5,5	7,5	0,6
>50-75	Sin norma	5,06	14,4	1,51
	Stage I	5,06	9,2	0,85
	Stage II	5	7	0,4
	Stage IIIA	5	4,7	0,4
	Stage IIIB	5	4,7	0,025
>75-100	Sin norma	5,06	14,4	1,51
	Stage I	5,06	9,2	0,85
	Stage II	5	7	0,4
	Stage IIIA	5	4,7	0,4

Potencia hp	Norma	CO	NOx	MP
	Stage IIIB	5	3,3	0,025
	Stage IV	5	0,4	0,025
>100-175	Sin norma	3,76	14,4	1,23
	Stage I	3,76	9,2	0,7
	Stage II	3,76	6	0,3
	Stage IIIA	3,76	4	0,3
	Stage IIIB	5	3,3	0,025
	Stage IV	5	0,4	0,025
>175-750	Sin norma	3	14,4	1,1
	Stage I	3	9,2	0,54
	Stage II	3	6	0,2
	Stage IIIA	3	4	0,2
	Stage IIIB	3	2	0,025
	Stage IV	3	0,4	0,025

Ambos estándares son similares en cuanto a los rangos normados de potencias y factores de emisión, siendo los factores de Europa superiores. Una diferencia clave entre las normas de EEUU y UE es que las estadounidenses tienen una mayor cobertura, incluyendo motores más pequeños y motores

grandes (>750 hp). Las normas europeas generalmente solo son aplicables a instalaciones móviles con motores de más de 25 hp y menos de 750 hp.

1.2.3 Estimaciones de emisiones producidas por maquinarias en minería

La cantidad de contaminantes que emiten las maquinarias utilizadas en la minería en Chile es un tema que en la actualidad no se ha estudiado a fondo, sin embargo existen estudios que analizan las emisiones de maquinaria pesada por sectores como es el caso de una memoria realizada en la Universidad de Chile la cual se titula “Análisis y cuantificación de material particulado diesel: caracterización físico-química de partículas ultrafinas y modelación de emisiones producidas por vehículos fuera de ruta” (Barrales, 2008), tal estudio está centrado solo en la región metropolitana y abarca maquinaria utilizada en construcción, agrícola y minería. A nivel nacional está el caso de un estudio realizado por Geasur llamado: “Análisis técnico-económico de la aplicación de una nueva norma de emisión para motores de maquinaria fuera de ruta a nivel país” (Geasur, 2014)

Geasur es una organización de derecho privado constituida en el año 2009, dedicada al diseño, implementación de soluciones y medidas tecnológicas para el control de emisiones atmosféricas provenientes del sector público y privado.

Dentro de este estudio se realiza una estimación de emisiones de NO_x, HC, PM, CO, CO₂ para motores fuera de ruta en Chile, el cual abarca el sector Agrícola-Forestal, Construcción, Industrial y Minería.

Para elaborar la estimación total de contaminantes, primero fue necesario caracterizar las máquinas existentes. Para obtener esta información, se realizó una depuración de las bases de datos de Aduanas entre los años 2000-2003, con el objetivo de conocer las características de la flota, tales como cantidad, potencia, tipo de combustible, rubro, etc.

Luego de estimar la flota total, este estudio le asigna un porcentaje al sector de minería a partir de la de producción de minerales, en este caso Toneladas Métricas de cobre fino (tmf) del año 2013.

Finalmente, la cantidad de máquinas estimada para el sector minería se representa en la siguiente tabla:

Tabla 7: Cantidad de máquinas estimadas en el sector de minería (Geasur, 2014).

Minería	Bulldozer	201
	Camión Fuera De Carretera	715
	Cargador Frontal	2.378
	Dumper	9
	Excavadora	2.894
	Grúa Horquilla	224
	Grúa Telescópica	19
	Manipulador	284
	Minicargador	1026
	Miniexcavadora	33
	Motoniveladora	266
	Otros Equipos En Minas Subterráneas	355
	Perforador	2.665
	Plataforma Telescópica	162
	Quitanieve	2
	Retroexcavadora	2.400
	Rodillo	43
	Tractor	7
	Zanjadora	10

A continuación, se representan los rangos de potencias y sus porcentajes (de maquinaria total estimada del país):

Tabla 8: Potencias de las máquinas estimadas (Geasur, 2014).

Rangos kW	Diésel	Gasolina	Gas	Gas/gasolina	Total	% Total
< 19	3.202	1.811	1		5.014	4%
19 ≤ kW < 37	4.780	573	36		5.389	4%
37 ≤ kW < 56	20.809	600	186	4	21.599	16%
56 ≤ kW < 75	38.324	10.953	6.817	548	56.642	42%
75 ≤ kW < 130	22.499	96	3	10	22.608	17%
130 ≤ kW < 225	15.303	5	23		15.331	11%
225 ≤ kW < 450	4.520	13	6	3	4.542	3%
450 ≤ kW < 560	474				474	0%
≥ 560	2.890	1			2.891	2%
Total	112.801	14.052	7.072	565	134.490	100%
% Total	84%	10%	5%	0%	100%	

En este estudio se emplea la definición chilena de maquinaria fuera de ruta entregada por el PPDA (RM)¹, el cual define lo siguiente:

“Cualquier máquina móvil, equipo industrial portátil o vehículo con o sin carrocería, no destinados al transporte de pasajeros o mercancías por carretera, aptos para desplazarse sobre el suelo, con o sin carrocería y que funciona en base a motores de combustión interna, de encendido por compresión, con una potencia neta instalada, igual o superior a 19 kW, pero inferior a 560 kW.

Se excluyen los motores destinados a la propulsión de automotores, locomotoras u otros elementos y equipos ferroviarios que se desplacen sobre rieles, barcos, aeronaves y vehículos de recreación.”

Lo anterior provoca que se asuma que la mayoría de las maquinarias se encuentran por debajo los 560 Kw (750 hp), por lo que se excluyen las máquinas con potencias mayores.

Los factores de emisión utilizados por el inventario (Tabla 6) son los impartidos en UE los cuales provienen del documento “EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook” (CORINAIR, 2013), de la Agencia Ambiental de Europa, específicamente en el apartado “Non-road mobile sources and machinery”.

En conclusión, las emisiones estimadas por este informe para la maquinaria fuera de ruta, dentro del rubro minería, son las siguientes:

¹ Plan de prevención y descontaminación atmosférica de la Región Metropolitana de Santiago

Tabla 9: Resultado emisiones estimadas estudio Geasur.

	CO [Ton/año]	NOx [Ton/año]	PM [Ton/año]
XV	0,58	0,88	0,09
I	528,98	796,84	82,51
II	2.742,88	4.131,80	427,81
III	378,81	570,63	59,08
IV	519,63	782,76	81,05
V	296,42	446,51	46,23
RM	374,12	563,57	58,35
VI	423,44	637,87	66,05
Total	5.264,86	7.930,85	821,18

Finalmente, de este informe se puede destacar la poca información que existe acerca de las emisiones proveniente de la maquinaria pesada en la minería en nuestro país, siendo este uno de los pocos estudios (el cual no es específicamente de maquinaria minera) vigente que se encontraron, también destacando la falta de información sobre la flota de equipos mineros existentes y utilizados a la fecha.

1.3 Impacto de las emisiones en glaciares

La definición general utilizada por el Centro de estudios científicos (CECS, 2009) es:

“Toda superficie de hielo y nieve permanente generada sobre suelo, que sea visible por períodos de al menos 2 años y de un área igual o superior a 0,01 km² (una hectárea). O cualquier superficie rocosa con evidencia superficial de flujo viscoso, producto de un alto contenido de hielo actual o pasado en el subsuelo”.

La minería constituye una actividad económica que impacta de modo irreversible a los glaciares, los cuales representan las mayores reservas de agua dulce del planeta. En la Cordillera de los Andes en Chile, la explotación y exploración minera ha ocasionado, además de la pérdida de glaciares, la destrucción de importantes ecosistemas de montaña. Las actividades responsables de ello son la apertura de caminos, uso de explosivos, derrame de aceite, petróleo y tóxicos sobre glaciares, remoción masiva de hielo con maquinaria pesada, y contaminación y acidificación de las aguas.

Este trabajo apunta a solo una pequeña porción de todas las actividades que generan daños irreparables en la conservación de estas grandes masas de hielo, la contaminación atmosférica proveniente de la maquinaria pesada. Esta acción irresponsable de la minería, amparada por el estado, ha significado millones de metros cúbicos de reservas de agua dulce entre las regiones Atacama y O'Higgins, hoy gravemente afectadas por la sequía (Chile Sustentable, 2013).

1.3.1 Glaciares cercanos a zonas mineras



Figura 38: Imagen satelital VI Región, se muestra la Faena El Teniente y los Glaciares Cipreses y Universidad.

En la imagen anterior se puede observar la gran cercanía (alrededor de 30 km) que existe entre la faena minera El Teniente y los Glaciares Cipreses y Universidad. Mismo caso es el que se da en la Región Metropolitana (Figura 39) donde se aprecia la cercanía indudable de las minas Andina y Los Bronces la nieve de la cordillera específicamente al Glaciar Juncal Norte.



Figura 39: Imagen satelital Regiones V y RM, se muestran Faenas Andina, Los Bronces y el Glaciar Juncal Norte.



Figura 40: Imagen satelital Regiones II a IV, se muestran Faenas Escondida, Zaldívar y los Glaciares Tres Cruces.



Figura 41: Imagen satelital Región II, se muestran faenas mineras cercanas al Glaciar Parinacota.

Se puede observar la cercanía que existe en algunas regiones entre las faenas mineras y Glaciares. Tal cercanía existente hace reflexionar acerca de la potencial destrucción que está ocurriendo en estas gigantescas masas de agua dulce solo por la contaminación que generan las mineras. Como se ha visto hasta ahora, la mayoría se encuentra inmersa en la cordillera y sobre todo en la nieve de esta. Si bien, este impacto no es tan notorio en las primeras regiones de nuestro país, a medida que se avanza hacia el sur la cantidad de nieve cordillerana es mayor, por lo que se cree que el impacto a los recursos hídricos también aumenta (Chile Sustentable, 2011).

1.3.2 Retroceso de glaciares en Los Alpes

Es un hecho que los glaciares a lo largo y ancho del globo se están derritiendo, prueba de ello es un estudio publicado por PNAS (Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America), este se denomina “End of the Little Ice Age in the Alps forced by industrial Black Carbon” (Painter, 2013), y es una hipótesis que ofrece una explicación física del retroceso que han tenido los glaciares de Los Alpes en los últimos años.

En un principio se habla de una paradoja que existe en torno al clima de los Alpes, ya que los modelos termodinámicos sugieren que el retroceso glaciar debería haberse observado hasta el siglo XX, cuando el cambio de temperatura se hizo mucho más evidente. Sin embargo, esto no fue así ya que se produjeron retrocesos abruptos a mediados del siglo XIX. Lo anterior se puede observar en la siguiente gráfica, donde se muestra la fuerte caída que tuvieron los glaciares Alpinos a fines del 1800.

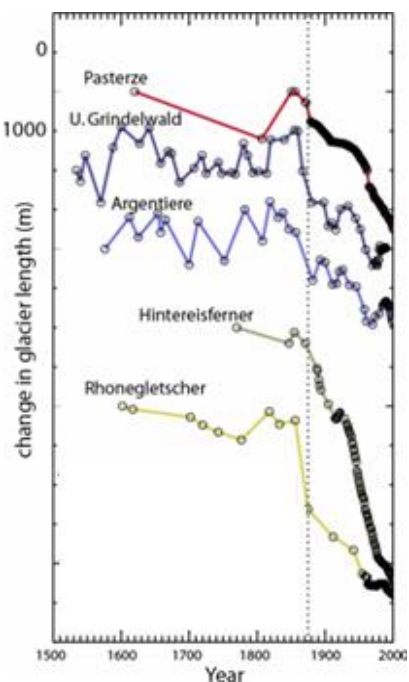


Figura 42: Cambios en el largo del glaciar a partir del primer año de medición para 5 Glaciares Alpinos.

Por otro lado, muestra el aumento de BC en la nieve, que comenzó a depositarse notablemente a mediados del siglo XIX, mostrando con simulaciones que los aumentos asociados en la luz solar absorbida por el black carbon fue de suficiente magnitud para causar esta escala de retroceso de glaciares.

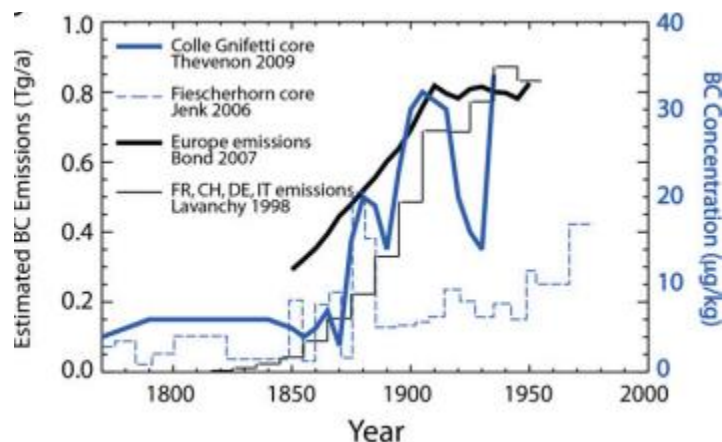


Figura 43: Concentración de BC en Fiescherhorn y Colle Gnifetti (montañas de Los Alpes), y las emisiones estimadas de BC en Europa.

Como se puede observar en la Figura 43 el aumento de las emisiones de BC en Europa han ido al aumento, de igual forma que lo ha hecho la concentración de tal contaminante en las montañas de Los Alpes.

Este estudio reafirma la necesidad de disminuir el carbono negro de la atmósfera en zonas cercanas a glaciares. La reducción significativa de este contaminante puede fácilmente obtenerse de su regulación, y del cumplimiento efectivo de la normativa existente, lo cual resultaría en beneficios para la salud humana, el clima y el medio ambiente. Desaprovechar estas ventajas sin una estrategia de acción rápida, es insensato y llevaría a puntos de inflexión climática de consecuencias críticas.

Capítulo 2: Metodología.

2.1 Metodología para el cálculo de emisiones

Para el cálculo de emisiones se revisó la metodología EPA definida en el documento “Exhaust and Crankcase Emission Factors for Nonroad Engine Modeling-Compression-Ignition” (EPA, 2004), donde la metodología se expresa en la siguiente ecuación:

$$E_i = N \cdot NA \cdot P \cdot 0,7456 \cdot FC \cdot FE \quad (1)$$

Dónde:

E_i : Emisiones del contaminante i durante el período, en [g].

N : Población (unidades).

NA : Nivel de Actividad (horas de uso en el período) [h].

P : Potencia nominal promedio [hp]. El factor 0,7456 es para convertir a kW.

FC : Factor de carga típica, representa la fracción de la potencia a la que se opera típicamente la máquina.

FE : Factor de emisión [g/kW h].

A partir de esta ecuación es posible decir que la potencia es directamente proporcional a la cantidad de emisiones generadas, es decir que a medida que aumenta el tamaño del equipo, sus emisiones a la atmósfera también lo harán. Misma situación ocurre con el factor N , el nivel de actividad y el factor de emisión. Todos factores determinantes a la hora de realizar el cálculo total de emisiones contaminantes.

Las emisiones de CO_2 se calculan basándose únicamente en el consumo de combustible, suponiendo que el contenido de carbono se oxida completamente en dióxido de carbono. Se considera la siguiente ecuación (Ntziachristos, 2009):

$$E_{CO_2} = 44.011 \cdot \frac{FC}{12.011 + 1.008r_{HC} + 16.000r_{OC}} \quad (2)$$

Dónde:

FC : Consumo de combustible en el periodo considerado [Ton/año], valor entregado por la EPA para cada nivel de potencia.

r_{HC} : Relación entre átomos hidrogeno y carbón.

r_{OC} : Relación entre átomos oxígeno y carbón.

En el caso del combustible diésel los ratios r_{HC} y r_{OC} son 2 y 0 respectivamente.

Por otro lado, el consumo de combustible también puede ser calculado a partir del PCI de diésel:

$$FC_1 = \left(\frac{E}{PCI} \right) / 1000$$

Donde:

FC_1 : Consumo de combustible [Ton/año].

E: Consumo de energía [J].

PCI: Poder calorífico inferior, el caso del diesel es 43 [MJ/kg]. El término 1000 es para convertir kilogramos en toneladas.

2.2 Faenas mineras y maquinaria a estudiar

Para obtener la información de los tipos de maquinaria y la cantidad en que se utilizan en las diferentes faenas mineras estudiadas, es decir, la población “N” mencionada en la Ecuación (1), se recurrió al documento denominado “Catastro de Equipamiento Minero” (MCh, 2013/2014). Este corresponde una base de datos que se actualiza cada 3 años, donde se modifican los equipos nuevos que se han incorporado y los que se han eliminado debido a estar fuera de operación o puesto a la venta por las empresas.

El documento anteriormente mencionado contempla las flotas de los equipos y maquinaria en Chile-Argentina-Perú, donde se muestra el tipo de faena, la cantidad de equipos, la marca, cantidad, modelo, dimensiones, potencia y año, tanto en empresas mineras como de servicios, tal como se muestra en la Tabla 10.

Tabla 10: Extracto del documento “Catastro de Equipamiento Minero”, se muestran las faenas Andina y Chuquicamata de Codelco.

EQUIPAMIENTO MINERO EN EMPRESAS MINERAS EN CHILE												
MINING EQUIPMENT IN MINING COMPANIES IN CHILE												
Tipo Equip	Proceso Process	Fa ri	Equipos Equipment	Marca Brand	Can Qty	Model Mod	Dime Dim	Potenc Pow	Año Year	Otras Características Other Characteristic		
Minera	Codelco - Andina	Subt	Camiones de Bajo Perfil / Low Profile Tr	Kiruna	1	K-503	45 t					
Minera	Codelco - Andina	Subt	Camiones de Bajo Perfil / Low Profile Tr	Sandvik	4	4001	72,5 t		2004			
Minera	Codelco - Andina	Subt	Cargadores de Bajo Perfil / Low profile	Atlas Copco	1	ST14	8,4 yd³	335 hp	2008			
Minera	Codelco - Andina	Subt	Cargadores de Bajo Perfil / Low profile	Atlas Copco	1	ST14	8,4 yd³	335 hp	2011			
Minera	Codelco - Andina	Subt	Cargadores de Bajo Perfil / Low profile	Caterpillar	5	AD55		650 hp	2007			
Minera	Codelco - Andina	Subt	Cargadores de Bajo Perfil / Low profile	Sandvik	7	Toro 0077,5 yd³			2006			
Minera	Codelco - Andina	Subt	Cargadores de Bajo Perfil / Low profile	Sandvik	2	EJC 65	1,5 yd³		2001			
Minera	Codelco - Andina	Subt	Cargadores de Bajo Perfil / Low profile	Sandvik	1	Toro 0077,5 yd³			2000			
Minera	Codelco - Andina	Subt	Cargadores de Bajo Perfil / Low profile	Sandvik	2	Toro 0077,5 yd³			1999			
Minera	Codelco - Andina	Subt	Cargadores de Bajo Perfil / Low profile	Sandvik	1	Toro 0077,5 yd³			1998			
Minera	Codelco - Chuquibambilla	Rajo	Camiones Fuera de Carretera / Off-High	Caterpillar	9	789	177 t	1.705 hp	1989			
Minera	Codelco - Chuquibambilla	Rajo	Camiones Fuera de Carretera / Off-High	Caterpillar	1	789	177 t	1.705 hp	1990			
Minera	Codelco - Chuquibambilla	Rajo	Camiones Fuera de Carretera / Off-High	Caterpillar	10	789	177 t	1.705 hp	1992			
Minera	Codelco - Chuquibambilla	Rajo	Camiones Fuera de Carretera / Off-High	Caterpillar	3	793C	218 t	2.166 hp	1999			
Minera	Codelco - Chuquibambilla	Rajo	Camiones Fuera de Carretera / Off-High	Komatsu	18	830E	231 t	2.400 hp				
Minera	Codelco - Chuquibambilla	Rajo	Camiones Fuera de Carretera / Off-High	Komatsu	66	930E	292 t	2.700 hp				
Minera	Codelco - Chuquibambilla	Rajo	Camiones Fuera de Carretera / Off-High	Liebherr	16	T-282	360t	2.780hp	2001	Motor Cummins Qsk 60		
Minera	Codelco - Chuquibambilla	Rajo	Camiones Fuera de Carretera / Off-High	Liebherr	14	T-282B	360t	3.500hp	2003	Motor MTU20V Serie 4000		
Minera	Codelco - Chuquibambilla	Rajo	Camiones Fuera de Carretera / Off-High	Liebherr	10	T-282B	360t	3.500hp	2008	Motor MTU20V Serie 4000		
Minera	Codelco - Chuquibambilla	Rajo	Camiones Fuera de Carretera / Off-High	Caterpillar	1	MT4000	220 t		1990			
Minera	Codelco - Chuquibambilla	Rajo	Camiones Utilitarios / Utility Trucks	Caterpillar	2	773D-WT			1996-97	Camión aljibe / Water truck		
Minera	Codelco - Chuquibambilla	Rajo	Camiones Utilitarios / Utility Trucks	Caterpillar	2	777-WT		938 hp	1998-2000	Camión aljibe / Water truck		
Minera	Codelco - Chuquibambilla	Rajo	Camiones Utilitarios / Utility Trucks	Hitachi	4	R50	0.000 l		1995	Camión aljibe / Water truck		
Minera	Codelco - Chuquibambilla	Rajo	Camiones Utilitarios / Utility Trucks	Komatsu	8	HD785-S	100 t	1042 hp	2004	Camión aljibe / Water truck		
Minera	Codelco - Chuquibambilla	Rajo	Camiones Utilitarios / Utility Trucks	Komatsu	2	210M	5.000 l		1989	Camión aljibe / Water truck		

Los equipos que contempla este catastro son los que se muestran en la Tabla 11. Cabe destacar que no son parte del estudio los equipos que no representan fuentes móviles, valen decir, acuñadores, filtros, martillos, perforadoras, molinos, ventiladores, agitadores, apiladores, bombas, etc, y cualquier equipo que no utilice combustibles fósiles para su operación (eléctricos).

Tabla 11: Maquinaria minera descrita en el Catastro de Equipamiento Minero (MCh, 2013/2014).

Equipos	Cuenta de Cantidad
Acuñador	1
Agitadores / Agitators	123
Alimentadores Vibratorios / Vibratory feeders	34
Bomba de Hormigón y Shotcrete / Concrete and Shotcrete Pump	2
Bombas / Pumps	1648
Camión Liviano / Light Trucks	1429
Camiones de Bajo Perfil / Low Profile Trucks	5
Camiones de Explosivos / Explosives Trucks	76
Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	24
Camiones Livianos / Light Trucks	1592
Camiones Utilitarios / Utility Trucks	795
Cargadores de Bajo Perfil / Low profile Loaders	901
Cargadores Frontales / Front-end Loaders	268
Celdas de Flotación / Flotation Cells	437
Chancadores / Crushers	2552
Equipment	407
Equipos de Apoyo / Support Equipment	1265
Espesadores / Thickeners	181
Filtros / Filters	292
Harneros / Screens	210
Harneros / Screens	7
Hidrociclones / Hydrocyclones	2095
Hornos Secadores / Ovens Dryers	2
Jumbos de Preparación y Desarrollo / Jumbos, Preparation & Development	177
Jumbos de Producción / Production Jumbos	74
Manipuladores Telescópicos / Telehandlers	29
Martillos Picadores / Rock Hammers	133
Mixers de Bajo Perfil / Low Profile Mixer	14
Molinos / Grinding Mills	387
Otros / Others	168

Equipos	Cuenta de Cantidad
Palas de Carguío / Shovels	145
Perforadoras de Exploración / Exploration Drills	93
Perforadoras de Superficie / Drill Rigs	337
Perforadoras de Superficie / Drill Rigs	8
Perforadoras Subterráneas / Underground Boring	22
Prensa de Rodillos / Roller press	1
Robots Proyección de Shotcrete / Shotcrete projection Robots	6
Tambores Magnéticos / Magnetic Drums	24
Ventiladores / Fans	63
Vibrador / Vibrating	2
Total general	14610

La base de datos posee información de mineras y empresas que prestan servicios a mineras, estas son resumidas en la Tabla 12, con la cantidad de maquinaria que posee cada una.

Tabla 12: Faenas mineras, servicios y cantidad de maquinaria existente en la minería chilena, año 2014.

Tipo empresa	Proceso	Cantidad equipos
Minera	Atacama Kozan	13
Servicio	Aura Ingeniería	16
Servicio	Besalco	54
Minera	Candelaria	113
Minera	Carmen de Andacollo	31
Servicio	Cerro Alto	230
Minera	Cerro Colorado	82
Minera	Codelco - Andina	77
Minera	Codelco - Chuquicamata	248
Minera	Codelco - El Teniente	147
Minera	Codelco - Gabriela Mistral	34
Minera	Codelco - Radomiro Tomic	195
Minera	Codelco - Salvador	37
Minera	Collahuasi	165
Servicio	Conpax	61
Minera	El Abra	93
Minera	El Peñon	86
Minera	El Soldado	70
Minera	El Tesoro	53
Minera	El Toqui	30
Servicio	EPSA	305
Minera	Escondida	288
Servicio	Excon	492
Servicio	Fe Grande	149
Minera	Florida	32
Servicio	Gardilic	45
Servicio	Geotec	151

Tipo empresa	Proceso	Cantidad equipos
Servicio	Geovita	35
Servicio	ICV - Ingeniería Civil Vicente	170
Minera	La Coipa	34
Minera	Lomas Bayas	55
Minera	Los Bronces	86
Minera	Los Colorados	31
Minera	Los Pelambres	78
Minera	Mantos Blancos	47
Minera	Mantoverde	36
Minera	Maricunga	34
Minera	Michilla	27
Servicio	Movitec	105
Servicio	Perfo Andes	9
Minera	Polpaico	11
Servicio	Prosonda	25
Servicio	Proyecta	39
Minera	Quebrada Blanca	46
Servicio	Soletanche Bachy	29
Minera	Spence	75
Servicio	Terra Service	36
Servicio	Transportes Bello	618
Servicio	Tricomín	33
Servicio	Valtrucks	33
Minera/Servicio	Vecchiola	355
Minera	Yacimientos Mineros Agua de Dionisio	1
Total		5345

Como se pudo notar, este catastro es bastante completo en la cantidad de equipos que poseen las faenas mineras, y las carecteristicas de estos, sin embargo no especifica la cantidad maquinarias que son arrendadas por los servicios y que también podrían formar parte de las emisiones de dichas faenas.

2.3 Consumo combustible y factores de emisión

El consumo de combustible está dado por el BSFC (brake specific fuel consumption), la cual es una medida de la eficiencia de combustible de cualquier motor primario de combustión interna que produce la energía por rotación. Los valores dados por la EPA son los siguientes:

Tabla 13: Consumo combustible (EPA, 2004).

Potencia [hp]	BSFC [lb/hp-h]	BSFC [g/hp-h]
75-100	0,408	185,065
100-175	0,367	166,468
175-300	0,367	166,468
300-600	0,367	166,468
600-750	0,367	166,468
>750	0,367	166,468

En la selección de los factores de emisión a considerar, fueron claves dos métodos, ambos basados en documentos entregados por la EPA.

El primero se denomina “NONROAD-EPA” y es una base de datos que entrega la información de una gran cantidad marcas reconocidas que comercializan maquinarias fuera de ruta. Este documento muestra el tamaño del motor en litros, el tipo de combustible utilizado, la vida útil, el tipo de equipo, el tipo de control de emisiones, los factores de emisión para OMHCE, CO, NOx y PM (MP), la potencia en Hp, las rpm y el torque, tal como se muestra en la Tabla 14, la cual es un extracto de dicho documento.

Tabla 14: Extracto del documento “NONROAD-EPA”, donde se muestran algunos equipos Caterpillar.

Manufacturer	Emiss control sys	Unit	CO	NOx	PM	NOx	PM	Equip. Type	Displacement	HP	Rated R	Torque
Caterpillar	Electronic Control	g/kW-hr				0	0,01	Off highway truck	34.5 L	1676	1800	4887
CATERPILLAR	Direct InjectionTurbochargedCh	g/bHp-hr	0,8	0,8	0	0	0	NA	442cid/ 7.2L	350	2400	860
CATERPILLAR	Engine ModificationElectronic C	g/kW-hr	3	3,5	0,2	0	0,01	IndustrialBelted	7.2 liters	233	1800	724
CATERPILLAR INC.												
CATERPILLAR	TurbochargerDirect InjectionCh	g/kW-hr	3,1	3,5	0,2	0	0,01	Commercial	8.8 Liters	375	1800	1250
CATERPILLAR INC.												
CATERPILLAR	Engine ModificationElectronic C	g/kW-hr	3,3	3,5	0,2	0	0,01	Industrial	11.1 Liters	450	1800	1502
CATERPILLAR	Engine ModificationElectronic C	g/kW-hr	2,2	3,5	0,1	0	0,01	Industrial	12.5 Liters	520	1800	1625
CATERPILLAR INC.												
CATERPILLAR	Engine ModificationElectronic C	g/kW-hr	3,4	3,3	0,2	0	0,01	Industrial	15.2 Liters	717	1800	0
CATERPILLAR INC.												
CATERPILLAR	Engine ModificationElectronic C	g/kW-hr	1,8	5,2	0,1	0	0,01	Generator Set	15.2 Liters	865	1800	0
CATERPILLAR	Engine ModificationElectronic C	g/kW-hr	2,8	3,7	0,2	0	0,01	Industrial	18.1 Liters	700	1800	2361
CATERPILLAR INC.												
CATERPILLAR	Engine ModificationElectronic C	g/kW-hr	0,8	5,7	0,1	0	0,01	Generator Set	18.1 Liters	923	1800	0
CATERPILLAR	Engine ModificationElectronic C	g/kW-hr	2,8	3,3	0,2	0	0,01	Off Road TruckDox	27.0 Liters	730	1800	2548
CATERPILLAR	Electronic Control	g/kW-hr	1,6	5,3	0,1	0	0,01	Industrial	32.0	1330	1500	0
Caterpillar	Electronic Control	g/kW-hr	2,6		0,1	0	0,01	Off Highway Truck	51.8 L	1677	1200	7340
Caterpillar	Engine ModificationElectronic C	g/kW-hr	0,6	8,3	0,1				69.0	3230	1800	9419
CATERPILLAR	Direct InjectionTurbochargerCharge Air Co		1	5,4	0,1		0,01	commercial	27.0	1151	2100	3876
Caterpillar	Electronic ControlSmoke Puff Li	g/kW-hr	1,5		0,1		0,01	PumpCompresso	34.5	900	1200	5740
Caterpillar	Electronic ControlSmoke Puff Li	g/kW-hr	1,6		0,1		0,01	PumpCompresso	58.6	2500	1900	10048
Caterpillar	Electronic ControlSmoke Puff Li	g/kW-hr	0,9		0,1		0,01	PumpCompresso	71.8	3622	1800	10561

Para cruzar la información con la maquinaria se utilizó el tamaño del motor como referencia para ambos. Es decir, primero se busca el “Displacement” de la máquina, luego a partir de su marca se buscar un equipo que calce con el tamaño del motor y el tipo de maquinaria descrito en el documento “NONROAD-EPA”, para finalmente asociarle un factor de emisión. Estas asociaciones poseen grados de certeza que dependen de qué tan estimado fue el proceso de selección del factor. En la sección Anexos se muestran los factores utilizados.

El segundo método se realizó mediante las normativas Tier, explicadas anteriormente en el estado del arte, las cuales dependen del año en que fue fabricado el equipo. La tabulación de los respectivos factores de emisión Tier se encuentran en la **Tabla 4**.

Para ambos métodos se puede observar que existe una relación directa entre la potencia y los factores de emisión, es decir a medida que aumenta la potencia los factores aumentan. Además, para el método Tier, se puede notar que mientras más nueva es la máquina, es decir aumenta en términos del Tier, esta se vuelve más limpia en cuanto a emisiones atmosféricas. Esto último se da debido a que los equipos más nuevos adquieren nuevas tecnologías que son más estrictas.

2.4 Factor de carga y nivel de actividad

Por un lado, se tiene el factor de carga, el cual representa el % de potencia al cual trabaja la máquina, siendo este un valor promedio. Por otro lado, está el nivel de actividad (NA) que representa las horas anuales típicas de los equipos. A continuación, se muestran ambos factores utilizados para las diversas máquinas en estudio extraídos del informe de Geasur anteriormente mencionado.

Tabla 15: Factor de carga. Fuente (Geasur, 2014).

Tipo máquina	Factor de carga
Off-Highway Trucks	0,59
Excavadora	0,59
Wheel Loader	0,59
Bulldozer	0,59
Wheel Dozer	0,59
Motoniveladora	0,59
On-Highway Trucks	0,5
Rodillo compactador vibratorio	0,59
Retroexcavadora	0,21

Además, cabe destacar que es sabido que los camiones mineros son utilizados en extensas jornadas de trabajo, por lo que la estimación de 1000 Horas aproximadamente (valor utilizado por Geasur) como nivel de actividad anual resulta un tanto bajo. A raíz de esto, se investigó más a fondo el comportamiento de los equipos que son utilizados en minería y se llegó a los niveles que se observan en la Tabla 16, los cuales fueron utilizados en el cálculo de emisiones:

Tabla 16: Nivel de actividad utilizada para maquinaria pesada minera (Barrales, 2008).

Equipo	Horas al día	Funcionamiento semanal	Nivel Actividad [h]
Off-Highway Trucks	20	Lunes a sábado	5760
Excavadoras	20	Lunes a sábado	5760
Bulldozer	20	Lunes a sábado	5760
Wheel Loader	20	Lunes a sábado	5760
Motoniveladoras	18	Lunes a viernes	4320
Rodillos compactadores	16	Lunes a sábado	4608
Retroexcavadoras	18	Lunes a sábado	4320

Para el cálculo del Nivel de Actividad se multiplicó las horas al día por los días de la semana, asumiendo una utilización de 48 semanas (dejando 4 semanas anuales para mantenimientos u otros inconvenientes).

La maquinaria que no se encuentra presente en la tabla anterior son los Wheel Dozer y los On-Highway Trucks a los cuales se les asumirá una actividad de 18,8 horas diarias (valor promedio). A continuación, se muestra el nivel de actividad de dichos equipos:

Tabla 17: Nivel de actividad utilizada para Wheel Dozer y On-Highway Trucks (Elaboración propia).

Equipo	Horas al día	Funcionamiento semanal	Nivel Actividad [h]
Wheel Dozer	18,8	Lunes a sábado	5414
On-Highway Trucks	18,8	Lunes a sábado	5414

Capítulo 3: Resultados

En el presente capítulo, se muestra la cantidad de maquinaria utilizada, los factores de emisión utilizados y finalmente los resultados de las estimaciones de contaminantes (CO, NOx, MP, CO₂ y BC) para 13 faenas mineras ubicadas en la Cordillera de Los Andes, que en su conjunto representan el 74.5% de la producción nacional de cobre (año 2014).

Cabe destacar que el estudio no se pudo realizar en las faenas mineras Zaldívar y Ministro Hales debido a que estas no se encuentran presentes en el Catastro de Equipamiento Minero (MCh, 2013/2014).

3.1 Maquinaria estudiada

Uno de los objetivos de este TT es realizar un levantamiento de información acerca de las faenas mineras ubicadas en la cordillera y la maquinaria pesada utilizada en ellas. Las minas a estudiar fueron descritas en la sección 1.1.1 del estado del arte, así que el siguiente paso sería representar los equipos que se evaluarán en este trabajo, los cuales representan en su mayoría a maquinaria pesada.

Por un lado, la cantidad de equipos, según tipo de máquina, es la que se muestra en la Tabla 18. Además, se muestra la potencia promedio de cada tipo, dato que sirvió para ordenar los datos de mayor a menor relevancia, es decir, de mayor a menor potencia. El total de equipos se muestra a continuación:

Tabla 18: Maquinaria estudiada (Elaboración propia).

Maquinaria	N°	Potencia Promedio [hp]
Off-Highway Trucks	911	2.497
Excavadora	47	1.502
Wheel Loader (Cargador frontal)	265	649
Bulldozer	161	620
Wheel Dozer	77	551
Motoniveladora	82	337
On-Highway Trucks	75	260
Rodillo compactador vibratorio	3	148
Retroexcavadora	1	93
Total	1602	-

La importancia de la potencia de los equipos se ve representada en la Ecuación (1), donde mientras mayor es la potencia nominal mayor en la cantidad de contaminantes que se emiten a la atmósfera.

Por otro lado, es interesante conocer de dónde viene la maquinaria pesada que se utiliza en nuestro país, tal recuento es el que se muestra en la Tabla 19 y luego en la Figura 44: Cantidad de maquinaria estudiada clasificada según marca (Elaboración propia). donde se muestra de manera más intuitiva la participación de las diversas marcas.

Tabla 19: Cantidad de maquinaria estudiada clasificada según marca (Elaboración propia).

Marca	Cantidad
Caterpillar	747
Komatsu	570
Sandvik	104
Liebherr	67
Atlas Copco	29
Le Tourneau	28
Otro	77
Total	1602

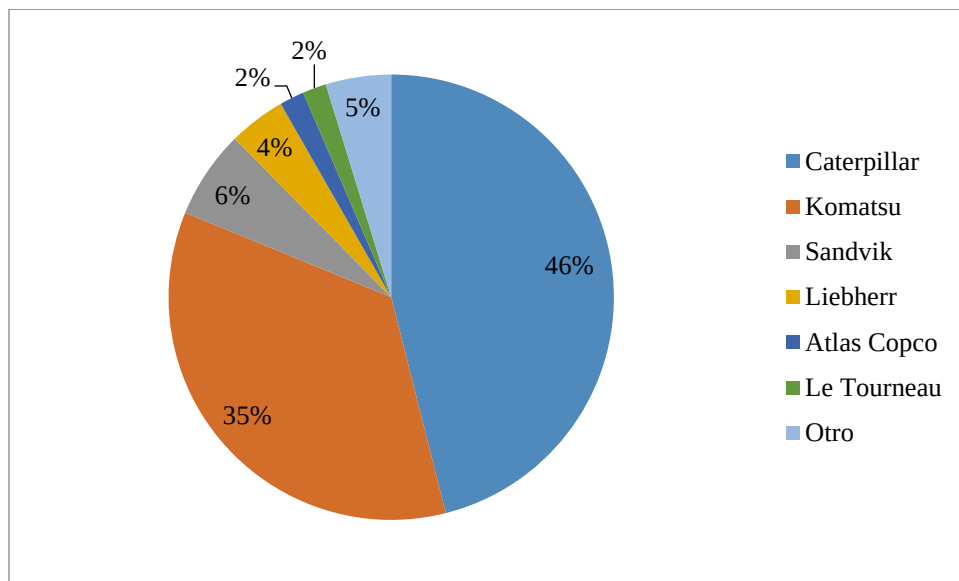


Figura 44: Cantidad de maquinaria estudiada clasificada según marca (Elaboración propia).

Es posible notar, a partir de la Figura 44, que existe una gran participación (81 %) de solo dos marcas: Caterpillar y Komatsu, provenientes de EEUU y Japón, respectivamente.

Como se dijo anteriormente, la potencia es uno de los factores determinantes a la hora de calcular las emisiones de contaminantes de una máquina, por lo que se hace imprescindible conocer cómo se distribuye la población de los equipos en cuanto a los rangos de potencia dados por la EPA, los cuales se muestran a continuación:

Tabla 20: Cantidad de maquinaria estudiada clasificada según potencia [hp] (Elaboración propia).

Rango [hp]	Nº
75-100	2
100-175	16
175-300	258
300-600	265
600-750	33
750-1000	104
1000-2000	146
>2000	798
Total	1602

Para tener mayor claridad de la participación de cada uno de estos rangos, es que se presenta la siguiente gráfica:

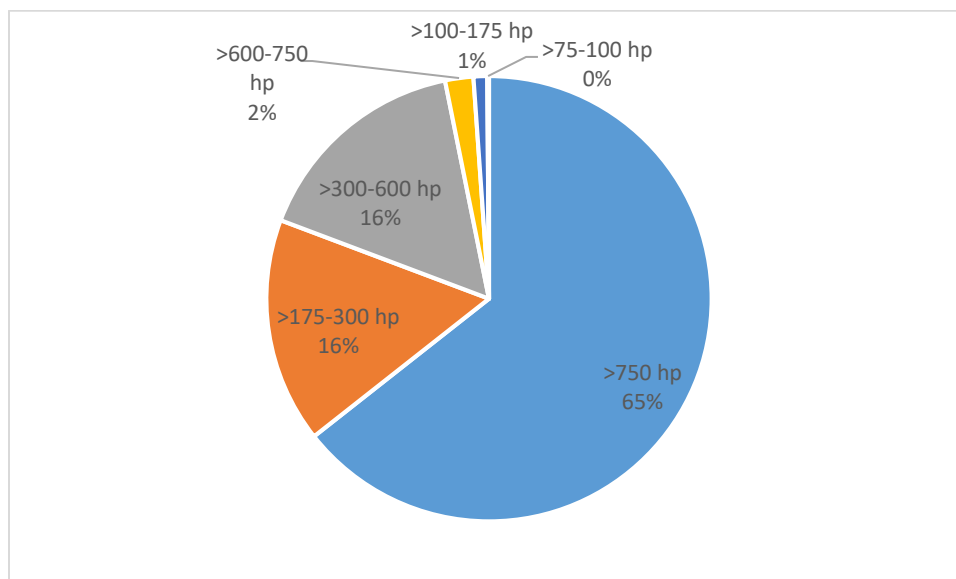


Figura 45: Cantidad de maquinaria estudiada clasificada según potencia [hp] (Elaboración propia).

A partir de Figura 45 es posible observar que el 65% de la maquinaria pesada utilizada en las faenas estudiadas poseen una potencia superior a 750 hp.

Debido a que los equipos con potencias mayores a 750 Hp son muy significativos, se realiza una división en 3 niveles para ver cómo se distribuye la cantidad de maquinaria con tales niveles de potencia. Los niveles son 750-1000, 1000-2000 y >2000:

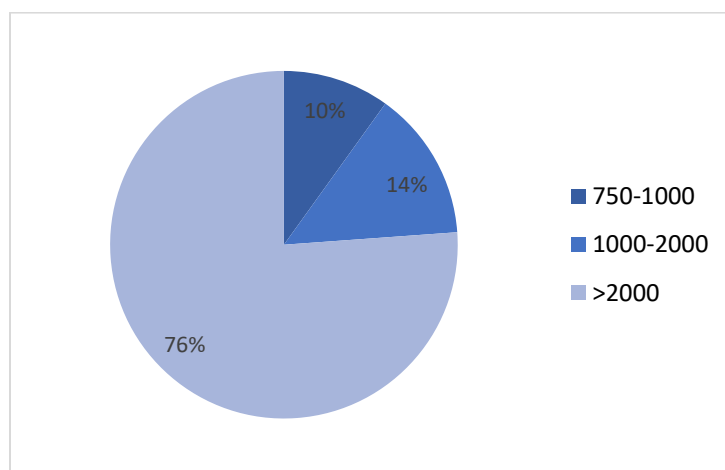


Figura 46: Distribución máquinas con potencias superiores a 750 hp.

Tal como se puede ver en la Figura 46 la mayor representatividad de los equipos corresponde a potencias mayores a 2000 Hp, de los cuales el 94% son Off-Highway Trucks (Figura 47), los que son camiones gigantes utilizados para el traslado de material al siguiente paso en la cadena productiva de cobre.

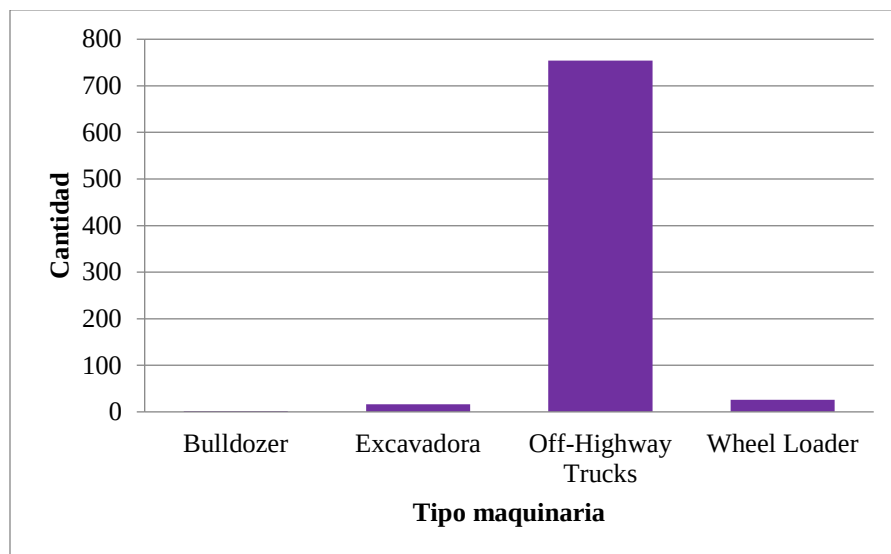


Figura 47: Participación de equipos para potencias sobre los 2000 hp (Elaboración propia).

3.2 Distribución Tier

Como se pudo notar en la sección 1.2.2 Normativa vigente en Chile, a medida que el equipo es más nuevo, es decir que posee un Tier más alto, este emite una menor cantidad de contaminantes. A raíz de esto es que se necesita conocer la antigüedad de la flota de equipos utilizados en Chile, para ello se dividieron por los mismos rangos de potencia que da la EPA. A continuación, en las Figuras 44-51 se muestran las gráficas de distribución de Tier, donde s/i representa a los equipos que no poseen data de la fecha de fabricación:

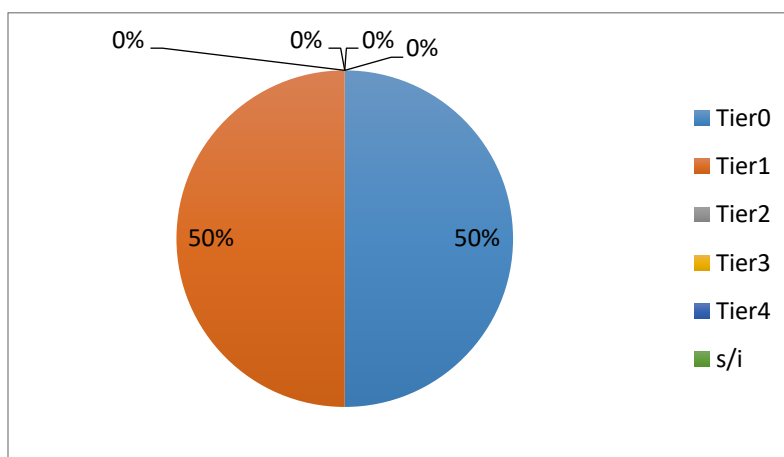


Figura 48: Distribución Tier para potencias entre los 75 y 100 hp.

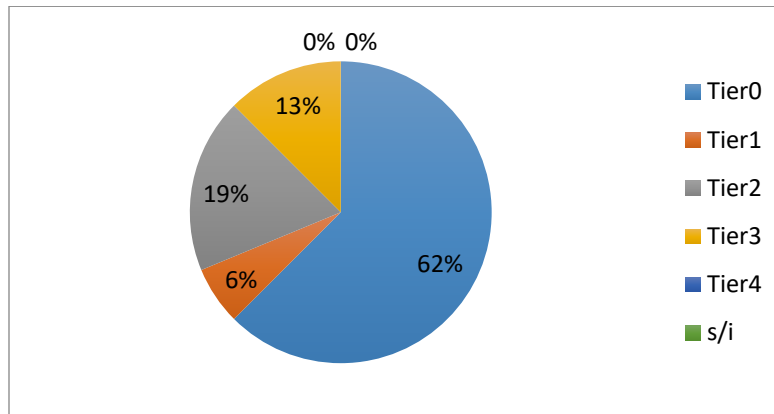


Figura 49: Distribución Tier para potencias entre los 100 y 175 hp.

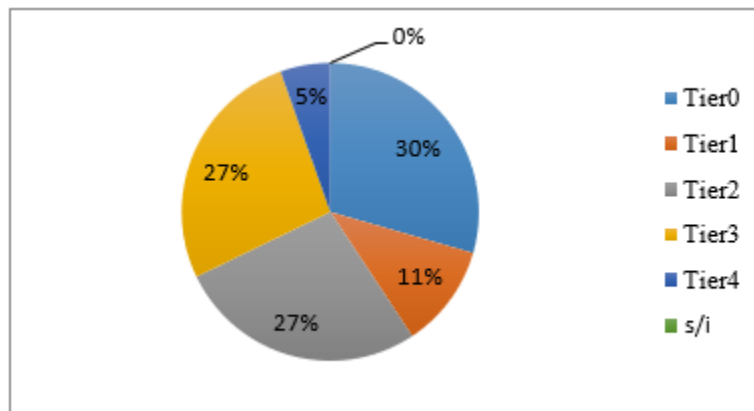


Figura 50: Distribución Tier para potencias entre los 175 y 300 hp.

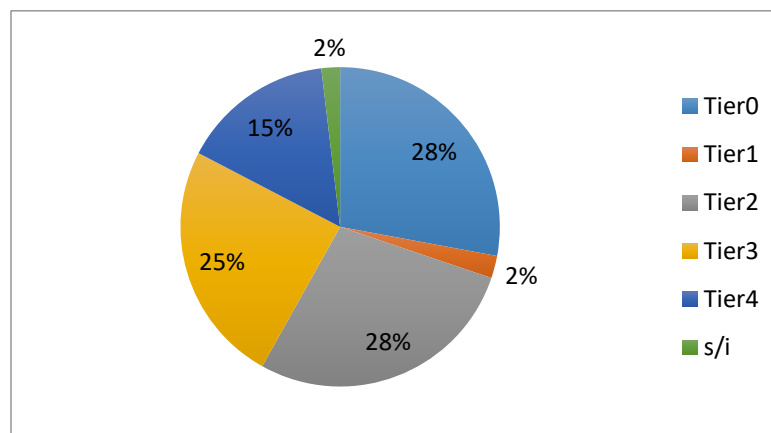


Figura 51: Distribución Tier para potencias entre los 300 y 600 hp.

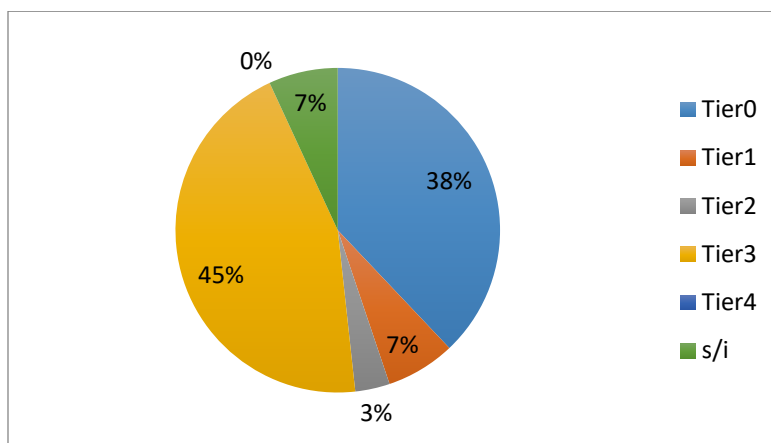


Figura 52: Distribución Tier para potencias entre los 600 y 750 hp.

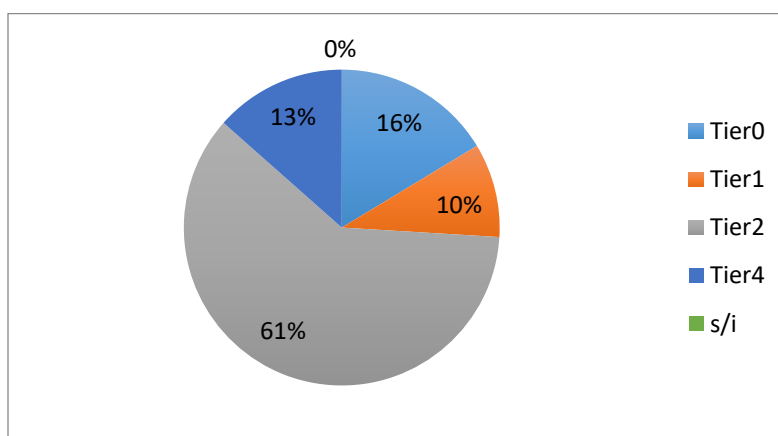


Figura 53: Distribución Tier para potencias entre los 750 y 1000 hp.

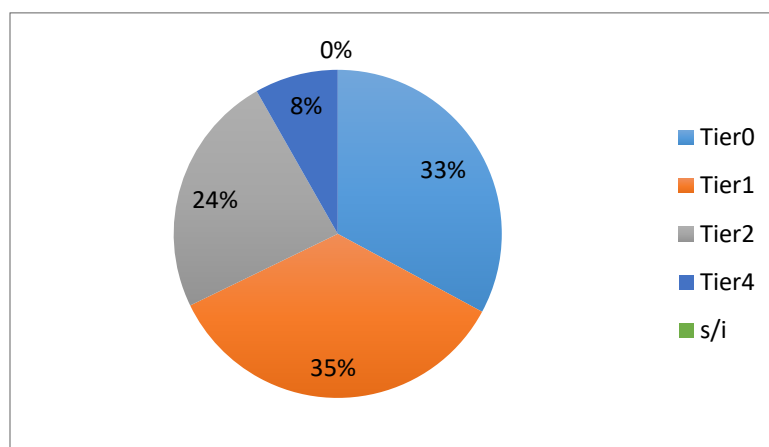


Figura 54: Distribución Tier para potencias entre los 1000 a 2000 hp.

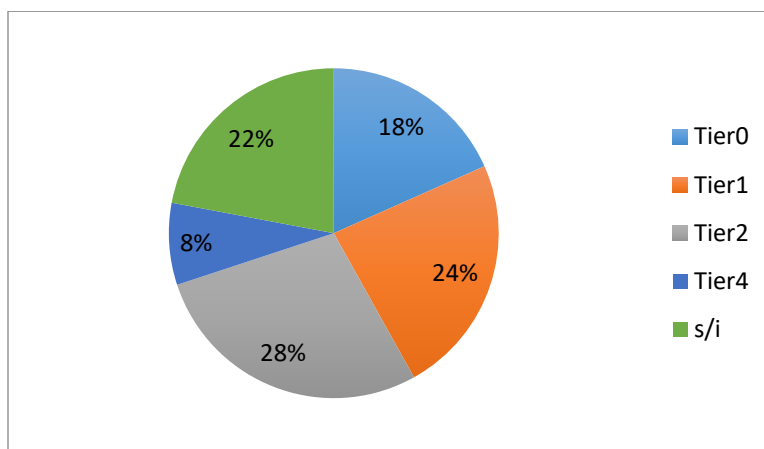


Figura 55: Distribución Tier para potencias superiores a 2000 hp.

El primer punto que se puede extraer de las gráficas anteriores es la gran participación de máquinas con Tier 0. Este nivel significa que tal máquina fue fabricada en años anteriores al año 2000, por lo que la cantidad de contaminantes que emiten es mucho mayor debido a la falta de regulación existente en esos años.

La gran participación de las maquinarias pesadas que poseen una potencia sobre 2000 Hp hace que este rango sea el primer indicador del nivel de contaminantes. Como es posible observar en la Figura 55, las tecnologías más limpias (Tier 4) aún no se han hecho del todo presentes, con solo un 8% de participación, esto denota una alta antigüedad en la flota de camiones. Esto último se hace presente en casi todos los niveles de potencia, a excepción del rango 600-750 Hp donde se ve una notable participación de Tier 3. Es necesario recordar que para potencias sobre los 600 Hp la tecnología Tier 3 ya no se hace presente, pasando de Tier 2 a Tier 4.

Otro punto por destacar es que no existe registro de máquinas que posean un Tier 4N como normativa de emisión, la cual fue puesta en marcha el año 2008 para motores pequeños y el 2014 para motores más grandes (tal normativa fue lanzada el año 2015 para motores superiores a 750 Hp). Lo anterior se explica debido a que el inventario de maquinaria es del año 2014, y las máquinas al ser lanzadas al mercado tienen un alto valor comercial lo que hace que no sean adquiridas de inmediato.

3.3 Factores de emisión

Debido a que el método Tier entregado por la EPA deja en una sola casilla a los equipos con potencia sobre los 750 Hp, y a que el 65% de los equipos estudiados pertenecen a este rango es que se procedió a unificar ambos métodos para saber qué tanto afecta tal situación en el total de emisiones.

EPA y Tier

A continuación, se muestra el resultado del cálculo de emisiones con ambos métodos anteriormente explicados en la sección 2.3:

Tabla 21: Emisiones totales métodos EPA y Tier (Elaboración propia).

	Total Emisiones Ton/año			
	CO	NO _x	MP	CO ₂
EPA	7.695	42.805	744	4.268.376
Tier	10.631	51.476	1.712	4.790.809

Los valores del método EPA son menores comparados con el Tier, sin embargo, el valor de emisiones totales de MP es mucho menor, esto se debe a que en la tabla “NONROAD” se arroja factor cero a variados equipos, lo cual hace que al realizar la Ecuación (1) el resultado de ese cálculo sea nulo. Tal situación hace pensar que el método EPA no es el idóneo para elegir los factores.

Es posible decir que las emisiones de CO₂ no varían, esto debido a que este tipo de contaminante depende del factor BSFC.

Tier + Extrapolación

Para continuar la búsqueda de los factores de emisión idóneos, se procede a extender el método Tier anteriormente mencionado, esto se realizó mediante una extrapolación de los factores de emisión. Este cálculo se refleja en las Figuras 52-55:

Tier 1

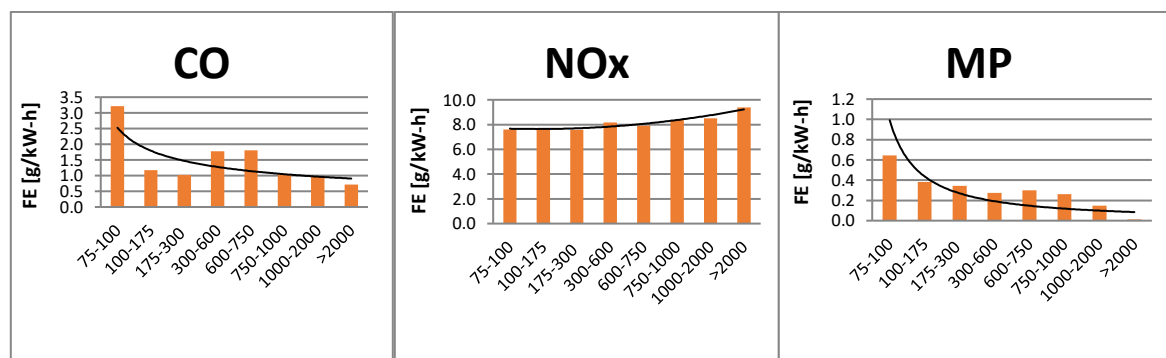


Figura 56: Comportamiento factores de emisión Tier 1 con línea de tendencia para CO, NOx y MP.

Tier 2

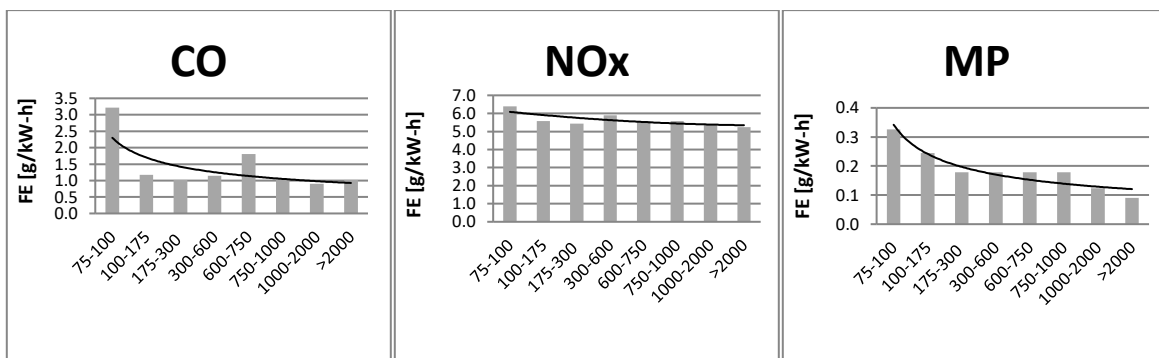


Figura 57: Comportamiento factores de emisión Tier 2 con línea de tendencia para CO, NOx y MP.

Tier 4

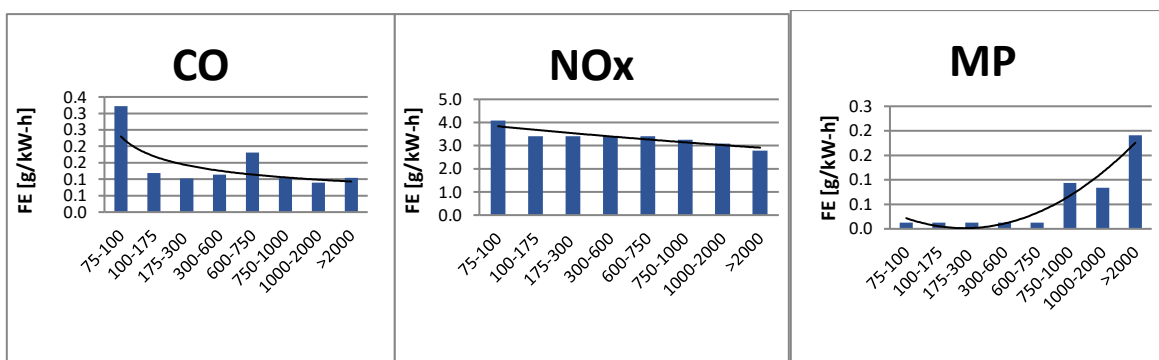


Figura 58: Comportamiento factores de emisión Tier 4 con línea de tendencia para CO, NOx y MP.

Tier 4N

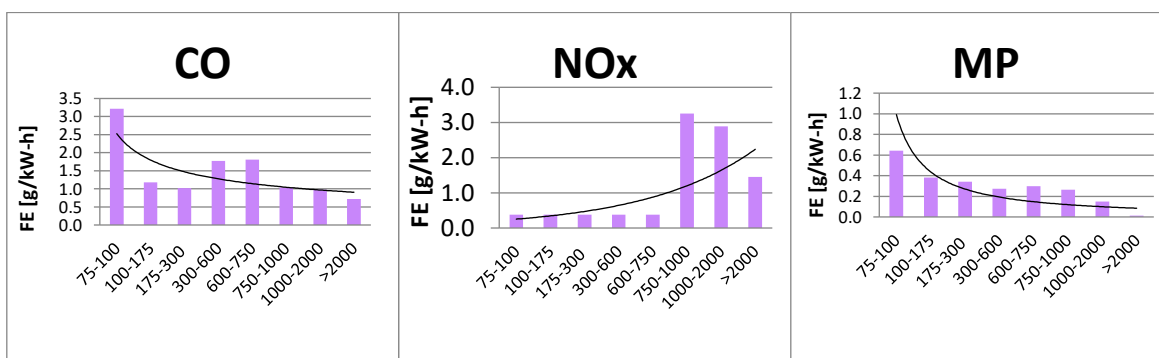
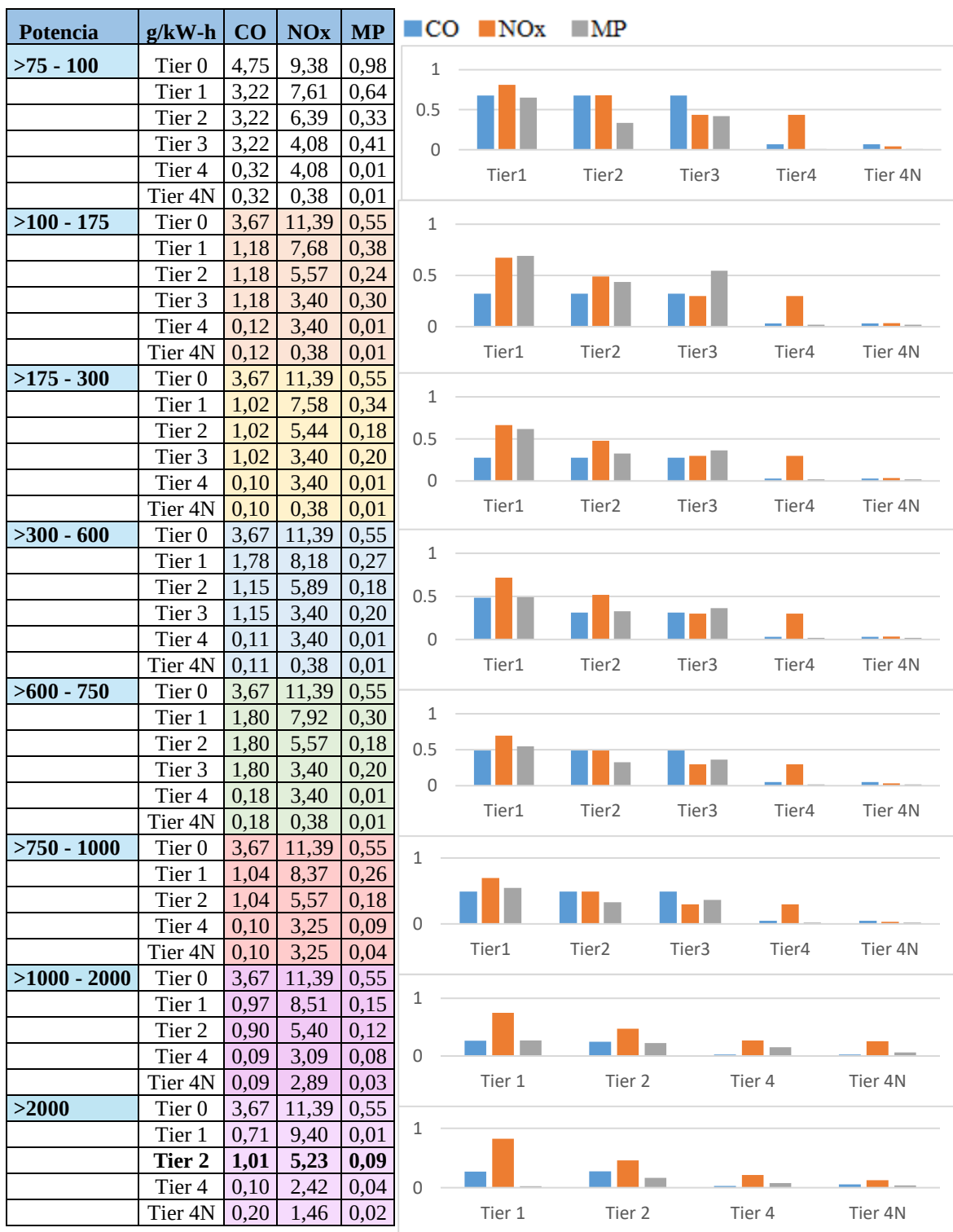


Figura 59: Comportamiento factores de emisión Tier 4N con línea de tendencia para CO, NOx y MP.

A partir de los resultados que se obtuvieron de las Figuras 52-55 fue posible aumentar dos niveles de potencia a los factores originales mostrados en la **Tabla 4**.

En la Tabla 22 se muestran los factores de emisión utilizados por este trabajo (en la parte izquierda) con la extensión en los últimos dos niveles de potencia. Además, se muestra la tendencia que poseen los Tier (en lado derecho) tomando como referencia el Tier 0 como factor 1, esto para cada contaminante. En esta tabla se puede apreciar la tendencia decreciente que poseen los factores de emisión a medida que las maquinarias poseen normas Tier más altas, habiendo algunas excepciones en el MP.

Tabla 22: Factores de emisión finales utilizados y tendencia.



Un punto importante por destacar es que para las maquinarias que no poseen una data del año de fabricación, se asumió la norma que predomina en la flota existente la cual es Tier 2.

El resultado obtenido a partir de los factores anteriormente calculados son los siguientes:

Tabla 23: Resultados preliminares de emisión de contaminantes en la minería de cobre en altura (Elaboración propia).

Total Emisiones Ton/año			
CO	NOx	MP	CO ₂
9.252	48.555	1.096	4.790.809

Luego, en la Figura 60 se muestra una comparación entre el método Tier y el método Tier+Extrapolación:

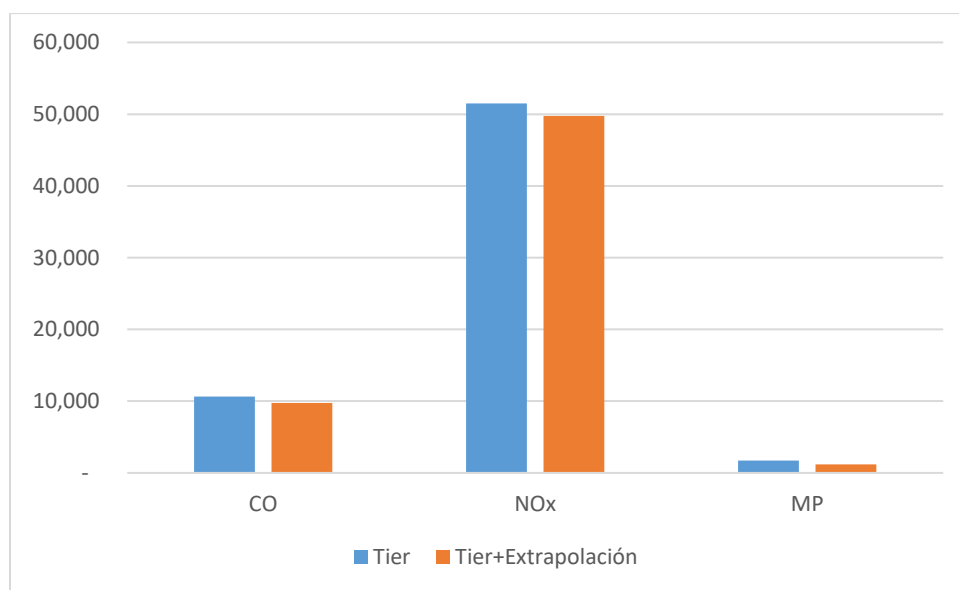


Figura 60: Comparación método Tier con método Tier+Extrapolación para CO, NOx y MP (Elaboración propia).

Es posible observar una baja en el nivel de emisiones cuando se utiliza el método de extrapolación de los datos. Esto se explica por la caída de la mayoría de los factores de emisión con respecto al nivel de 750 hp, lo cual se muestra en la Tabla 24 donde si el valor es negativo significa que el valor extrapolado es mayor que el original. Cabe destacar que el valor de emisión de CO₂ no tuvo variación debido a que este no depende de los factores de emisión, si no del consumo específico de combustible.

Tabla 24: Diferencia porcentual entre Tier y Tier+Extrapolación en los niveles 1000-2000 hp y >2000 hp con respecto al nivel original >750hp (Elaboración propia).

Potencia	Tier	CO	NOx	MP
>1000-2000 hp	0	0%	0%	1%
	1	7%	-2%	43%
	2	13%	3%	31%
	4	10%	5%	7%
	4N	10%	11%	14%
>2000 hp	0	0%	0%	1%
	1	4%	-12%	95%
	2	2%	6%	50%
	4	-4%	26%	52%
	4N	0%	55%	45%

Finalmente es posible decir que el método Tier+Extrapolación es el más adecuado para hallar factores de emisión cuando la flota de máquinas a estudiar posee mayoritariamente potencias superiores a 750 hp. Esto debido a que, para este caso, es capaz de contemplar de mejor manera a un 65% de máquinas que estaban dentro de esa categoría, además destacando que es este nivel el que más afecta en la cantidad de emisiones de contaminantes.

En la sección 1.2.1 se mencionó un estudio realizado por Geasur denominado “Análisis técnico-económico de la aplicación de una nueva norma de emisión para motores de maquinaria fuera de ruta a nivel país”, el cual representa una muy buena referencia para realizar una comparación de los resultados obtenidos por este TT. Sin embargo, se llegó a la conclusión de que ambos trabajos son complementarios debido a que por un lado Geasur realiza una estimación de la maquinaria utilizada en la minería analizando únicamente los equipos con potencias menores a 560 kW (750 hp) y, por otro lado, este trabajo se focaliza en las potencias que se encuentran por sobre este valor.

3.4 Análisis sensibilidad

El análisis de sensibilidad consiste en determinar cuál es el rango de variación de los parámetros del problema de modo que la base optima siga siendo optima, esto resulta interesante para analizar el impacto en los resultados ante variaciones en la estimación preliminar de dichos parámetros.

En la Tabla 26 se presenta el caso base en la segunda columna, el cual tiene como función primordial contextualizar el problema y entregar el impacto de las emisiones. Luego se procede a realizar una variación de los parámetros que presentan un mayor grado de incertidumbre, es decir, se dirige a

aquellos parámetros de mayor variación relativa con respecto a las otras variables del modelo, los que, a su vez, desencadenan mayores repercusiones en la cantidad de emisiones de la maquinaria.

Estas variaciones se aplicaron a la flota de equipos que poseen potencias superiores a 750 hp, ya que, como se ha mencionado anteriormente, estos son los que presentan una mayor representatividad. Siendo las más importantes las que se detallan a continuación:

1. **Nivel de actividad:** Representa las horas en que se utiliza la maquinaria durante el día.
2. **Numero de máquinas:** Corresponde al número de maquinarias informadas por el catastro de minería en Chile.
3. **Antigüedad:** Corresponde al año de fabricación del equipo.

El parámetro referente al nivel de actividad se tomó como un máximo de 24 horas diarias el cual arroja un valor anual de alrededor de 6800 horas, un 20% más que el caso base. Y como mínimo se consideró una utilización de 12 horas diarias (3400 horas anuales aprox.), un 40% menos.

Para el caso del número de maquinaria se realizó una variación de 20%, variación que puede ser provocada por un error en la contabilización de la maquinaria propios del manejo de los datos.

La antigüedad de los equipos fue analizada mediante la tecnología de este, es decir la norma de emisión que posee en este caso los Tier. Se tomó el caso más desfavorable cuando toda la maquinaria posee una data de fabricación anterior al año 2000 es decir Tier 0 y, por otro lado, el mejor caso es que la totalidad de los equipos sean nuevos, es decir posean norma Tier 4.

Tabla 25: Análisis de sensibilidad individual para nivel de actividad, N° de equipos y antigüedad. Elaboración propia.

Contaminante	Caso base	NA		N° equipos		Antigüedad	
		Valor mínimo	Valor máximo	Valor mínimo	Valor máximo	Valor mínimo	Valor máximo
CO	10.050	2.686	12.088	8.040	12.061	712	25.106
NOx	52.082	14.036	62.607	41.666	62.499	19.599	77.919
MP	1.205	317	1.451	964	1.446	1.136	3.738
CO2	4.790.809	1.275.450	5.761.530	3.832.648	5.748.971	4.790.809	4.790.809

Para un mayor entendimiento de la fluctuación de las variables se fabricó la siguiente gráfica:

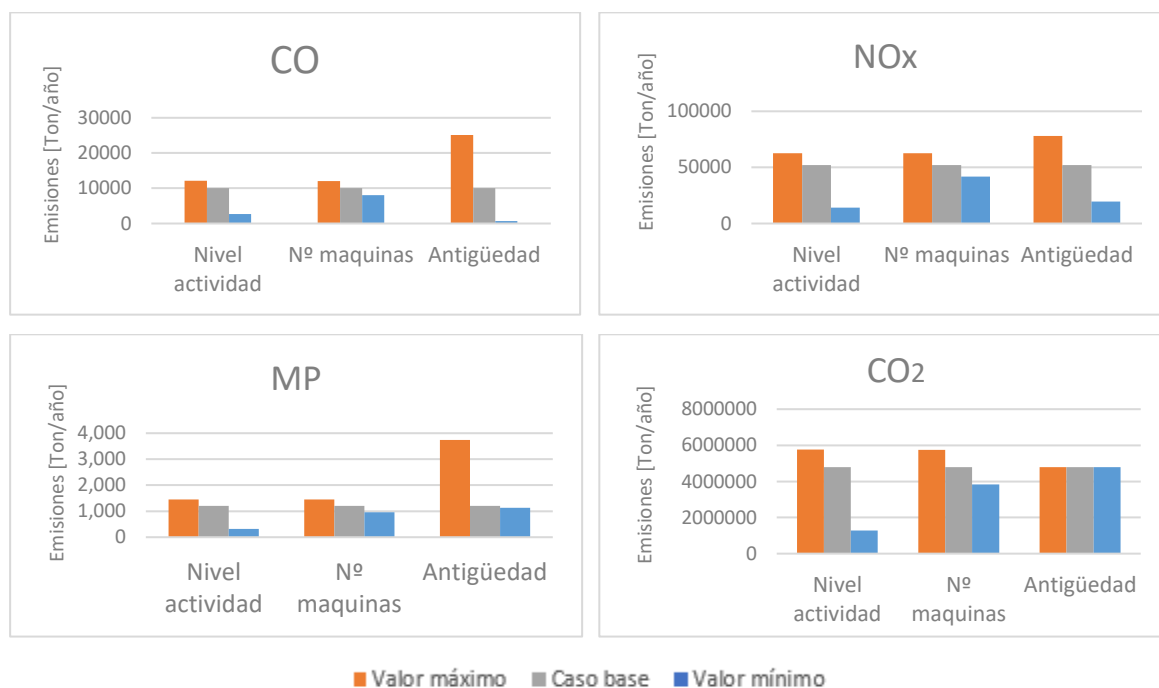


Figura 61: Análisis de sensibilidad. Elaboración propia.

De la **Figura 61** es posible notar que la variable “antigüedad” es la responsable de las mayores alzas de emisiones para el CO, NOx y MP, sin tener efecto directo en las emisiones de CO₂.

Si se analizan los valores mínimos, es posible notar que la antigüedad de la máquina también es representativa para CO y NOx, pero sin arrojar grandes variaciones para el MP. Es posible observar también que ocurre una situación similar para el nivel de actividad para todos los contaminantes.

Para conocer la representatividad de cada variable (NA, N° máquinas y antigüedad) se realizó la Figura 62, donde el valor 0% representa el valor base para cada contaminante. Los valores positivos representan los casos desfavorables donde las emisiones aumentan con respecto a la línea base y viceversa para los negativos.

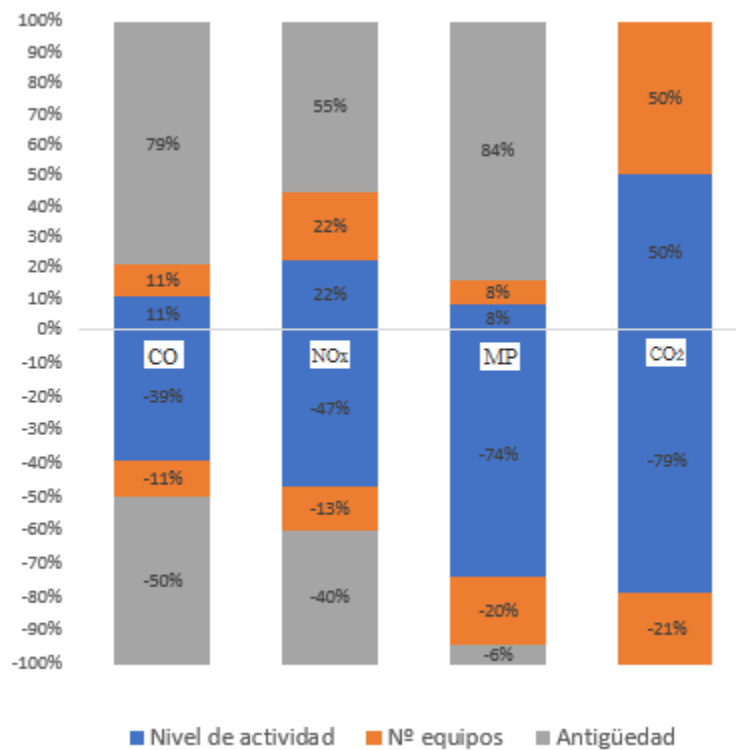


Figura 62: Proporción porcentual de los casos desfavorables y favorables de NA, N° máquinas y antigüedad, con respecto a la línea base. Elaboración propia.

De la gráfica anterior se puede decir que para realizar una disminución considerable de material particulado y CO₂ es necesario disminuir el nivel de actividad de las maquinarias. En el caso del CO la antigüedad es un factor determinante a la hora de evaluar la cantidad de contaminantes emitidos, y para el NO_x además de la fecha de fabricación es influyente el nivel de actividad.

Los resultados presentados en la Tabla 26 muestran que para las variaciones anteriormente mencionadas, las emisiones poseen un aumento de un 70% aproximadamente siendo el NO_x el que posee una mayor variabilidad.

Tabla 26: Análisis de sensibilidad (Elaboración propia).

Contaminante	Caso base	N° variables	Valor mínimo	Valor máximo
CO	9.252	3	342	36.231
NOx	48.555	3	9.432	112.448
MP	1.096	3	545	5.395
CO ₂	4.790.809	3	2.304.612	6.913.836

El importante aumento de emisiones denota que los términos seleccionados presentan una alta variabilidad, ya que al llevarse a cabo pequeñas variaciones se aumenta sustancialmente las

emisiones, por lo que podría afirmarse que estas se encuentran íntimamente ligadas al número de máquinas, el nivel de actividad y antigüedad con se utilicen.

De la Tabla 26 se puede concluir que, al tomar un máximo y un mínimo valor probable, existe una gran diferencia entre el caso base y las variaciones de las emisiones asociadas. Por lo que es de suma importancia tomar medidas con respecto al parque de maquinarias fuera de ruta y sus emisiones asociadas.

3.5 Emisiones por faenas y totales

Como ya son conocidos todos los parámetros que componen la Ecuación (1), es posible conocer el nivel de emisiones de los distintos contaminantes en las faenas mineras de cobre ubicadas en la Cordillera de Los Andes. Los valores calculados mediante tal ecuación son los mostrados en la Tabla 27 con color negro (caso base), luego se muestra el error asociado al resultado calculado mediante el análisis de sensibilidad, en azul el valor positivo y rojo el valor negativo.

Tabla 27: Emisiones de CO, NOx, MP y CO₂ por faenas y totales año 2014, con su respectiva variación (Elaboración propia).

Faena	Región	[Ton/año]			
		CO	NOx	MP	CO ₂
Cerro Colorado	I	352	2.030	48	223.974
Collahuasi	I	1.564	6.271	207	578.976
Quebrada Blanca	I	164	1.021	22	120.708
Chuquicamata	II	1.556	8.313	168	810.836
El Abra	II	867	2.769	129	190.410
Escondida	II	1.644	12.343	154	1.188.550
Gaby	II	167	794	16	109.124
R.Tomic	II	1.360	5.963	173	680.599
Salvador	III	245	803	38	52.963
Los Pelambres	IV	330	2.915	23	267.160
Los Bronces	RM	552	3.232	61	298.277
Andina	V	322	1.575	34	208.257
Teniente	VI	126	525	21	60.975
Total general	-	9.252	48.555	1.096	4.790.809

Cabe destacar que el detalle de las maquinarias incluidas en este estudio se encuentra en la sección de Anexos en la Tabla 30.

De la tabla anterior es posible notar que la mayor parte de la contaminación atmosférica proveniente de la maquinaria pesada en minería se está generando en la II Región de nuestro país. Además, se

puede decir que los niveles de contaminantes están directamente ligados a la producción de la faena minera (ver Tabla 2). Por otro lado, se observa que la faena minera El Teniente es la que posee menores niveles de emisiones de contaminantes, esto debido a que, tal como se mencionó en la sección 1.1, las minas subterráneas consumen menor cantidad de combustible debido a que utilizan una menor cantidad de maquinaria y con menores potencias.

Tabla 28: Emisión total de contaminantes año 2014. (Elaboración propia).

Total Emisiones Ton/año			
CO	NOx	MP	CO ₂
9.252	48.555	1.096	4.790.809

Finalmente, a partir de la Tabla 28 se construye el siguiente gráfico, donde se muestran los niveles de emisión de los diferentes contaminantes estudiados con sus respectivas variaciones:

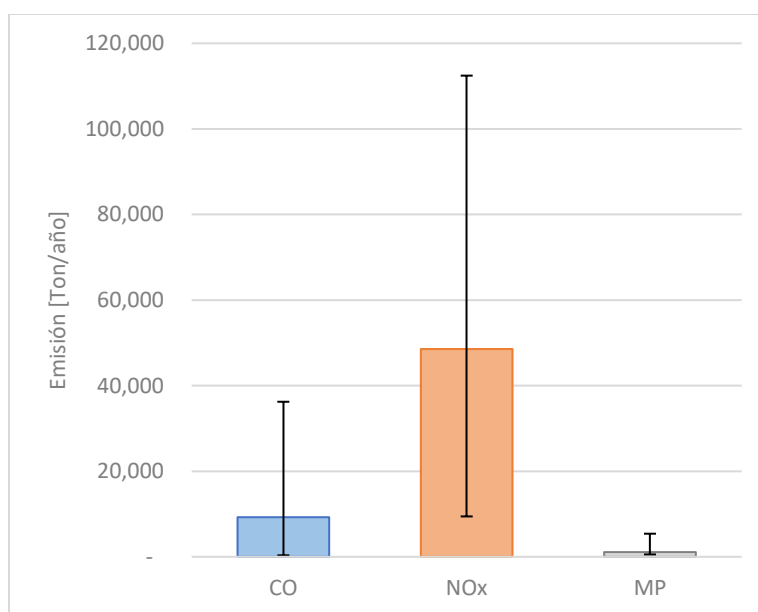


Figura 63: Emisión total de CO, NOx y MP año 2014, con su respectiva variación (Elaboración propia).

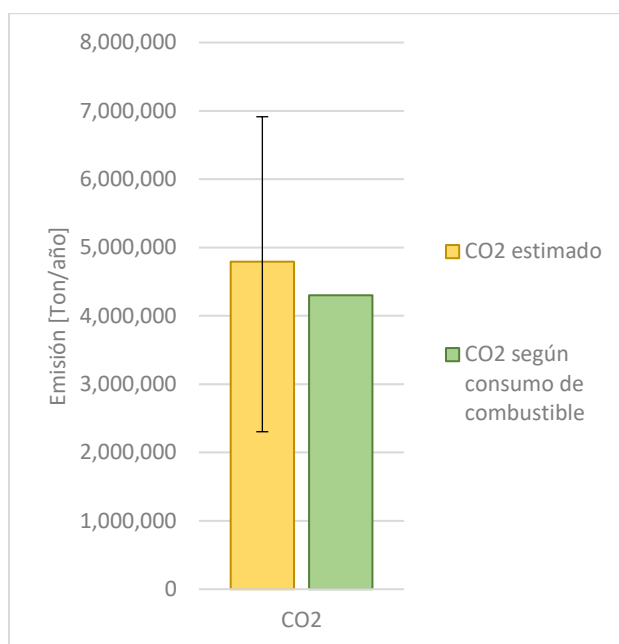


Figura 64: Emisión total de CO₂ año 2014, con su respectiva variación, y emisión de CO₂ según consumo de combustible (Elaboración propia).

De las Figuras 63 y 64 es posible observar la gran variabilidad que poseen los datos, los cuales son proporcionales a los niveles de emisión según cada contaminante, donde el mínimo posible es cerca de la mitad de las toneladas anuales y el peor caso es 1,5 veces el caso base. Por otro lado, se destaca notoriamente la diferencia entre las emisiones de CO₂ con respecto a los otros contaminantes, alcanzando en el peor caso alrededor de 7 millones de toneladas anuales.

En la Figura 64 se muestra el nivel de emisión de CO₂ a partir del consumo de combustible en minería a rajo abierto a nivel nacional (4.299.583 [Ton/año]). Este valor fue calculado a partir de la Ecuación 3, la cual arroja el consumo de combustible en kg de diesel, luego este valor se introdujo en la fórmula de balance de carbono (Ecuación 2) para así obtener el valor en toneladas de CO₂. Es posible notar que este resultado se encuentra dentro de los valores límites propuestos, existiendo solo un 10% de diferencia entre ambos valores, esa diferencia valida entonces los resultados mostrados en este trabajo.

Capítulo 4: Conclusiones y recomendaciones

4.1 Conclusiones generales

Se realizó una estimación de contaminantes atmosféricos producidos por la maquinaria pesada proveniente de faenas mineras ubicadas en la Cordillera de Los Andes a través de la metodología EPA (extraída del documento “Exhaust and crankcase emission factors for nonroad engine modeling

compression ignition” (EPA, 2004), lo cual significa que es un medio viable para estimaciones de este tipo. A diferencia de la metodología europea la cual se enfoca en maquinarias con potencias menores a 750 hp.

A partir de este trabajo se determinó que las emisiones de CO, NOx y MP dependen de la potencia del motor, la antigüedad del equipo y las horas de uso de esta. Para el CO₂ su cálculo se realizó con el consumo de combustible de las maquinarias y las variables mencionadas anteriormente, exceptuando la antigüedad.

Los resultados obtenidos fueron sensibilizados realizando variaciones de los parámetros más influyentes en el cálculo de emisiones. Luego, los resultados en [Ton/año] son los siguientes; CO: 9.252, NOx: 48.555, MP: 1.096, CO₂:4.790.809.

Finalmente es posible decir que el factor que más afecta la cantidad de emisiones es el año de fabricación de los equipos, por lo que es de suma importancia tomar medidas con respecto a la antigüedad del parque de maquinarias fuera de ruta, específicamente en los Off-Highway Truck.

4.2 Conclusiones específicas

A partir de las conclusiones generales mencionadas anteriormente, se desprenden las siguientes conclusiones específicas:

4.2.1 Conclusiones estado del arte

El cobre es el protagonista del mercado de exportaciones de minería metálica en Chile. Existen dos tipos más comunes de extracción de este mineral, mediante una mina a tajo abierto o mina subterránea. La minería a tajo (o rajo) abierto es un tipo de minería superficial que necesita extenderse muy profundamente en el suelo, por lo que requiere remover mayor cantidad de tierra que la subterránea, la cual se construye mediante un túnel que conduce a una red horizontal de túneles que tienen acceso directo al mineral. De lo anterior se extrae que la minería a cielo abierto es más destructiva ambientalmente. Además, la minería a rajo abierto utiliza cantidades muy superiores de combustible con respecto a la minería subterránea.

Se analizó un informe de Geasur el cual se denomina “Análisis técnico-económico de la aplicación de una nueva norma de emisión para motores de maquinaria fuera de ruta a nivel país” del cual es posible destacar la poca información que existe acerca de las emisiones proveniente de la maquinaria pesada en la minería en nuestro país, siendo este uno de los pocos estudios (el cual no es específicamente de maquinaria minera) vigentes que se encontraron, también destacando la falta de información sobre la flota de equipos mineros existentes y utilizados a la fecha.

Por el lado de los contaminantes diésel destaca el MP, NOx, CO y el CO₂, sin embargo, el que produce mayor preocupación, dentro del contexto de este trabajo, es el material particulado debido a que dentro de sus componentes se encuentra el denominado Black Carbon. Estas partículas se depositan en la nieve y absorben radiación solar, para luego emitirla a la atmosfera en forma de calor y acelera el proceso de derretimiento. Esta hipótesis se ratifica con un estudio publicado por PNAS, el cual se denomina “End of the Little Ice Age in the Alps forced by industrial Black Carbon”, del cual es posible concluir la gran importancia que posee el BC como contaminante atmosférico y reafirma la necesidad de disminuir el este contaminante de la atmósfera en zonas cercanas a glaciares. La reducción significativa de él puede fácilmente obtenerse de su regulación, y del cumplimiento efectivo de la normativa existente, lo cual resultaría en beneficios para la salud humana, el clima y el medio ambiente. Desaprovechar estas ventajas sin una estrategia de acción rápida, es insensato y llevaría a puntos de inflexión climática de consecuencias críticas.

Por otro lado, es posible decir que la minería constituye a una actividad económica que impacta de modo irreversible a los glaciales, los cuales representan las mayores reservas de agua dulce del planeta, donde la contaminación atmosférica producida por la maquinaria pesada es solo una pequeña porción del daño.

4.2.2 Conclusiones metodología

Para el cálculo de las emisiones de CO, NOx y MP se utilizó la metodología EPA, la cual es un método adecuado para realizar estimación de emisiones contaminantes debido a que se logró el objetivo de este trabajo. Misma situación ocurre para el método de estimación del CO₂ el cual se realizó mediante la metodología europea.

Por el lado del consumo de combustible (BSFC) se puede notar que a partir de los 100 hp es constante por unidad de potencia.

A partir de la Ecuación (1) es posible destacar que las emisiones dependen directamente de la potencia, la cantidad de maquinaria, el nivel de actividad y la antigüedad, donde el aumento de cualquiera de ellas repercute en el aumento de los niveles de contaminación.

4.2.3 Conclusiones de resultados

Como ya fue mencionado, la potencia es uno de los factores determinantes a la hora de realizar una estimación de emisiones. Además, se observa que el 65% de la maquinaria posee potencias sobre los 750 hp siendo los Off-Highway los que poseen una mayor participación, por ende, los que generan un mayor impacto. Por el lado de las marcas representativas se tiene que Caterpillar y Komatsu poseen el 81% de la participación.

La gran presencia de tecnologías Tier 0 es determinante en los niveles de emisiones. Por otro lado, las tecnologías más nuevas (Tier 4) aún no se han hecho del todo presentes, esto denota una alta antigüedad de la flota de camiones. Además, es posible decir que no se observa presencia de tecnologías Tier 4N debido a que esta normativa entró en vigencia el año 2015, año posterior al de este estudio.

Analizando el mejor método para hallar los factores de emisión, se llegó a la conclusión que el método “EPA” (denominado así por este trabajo) no es la mejor opción para realizar una estimación de contaminantes, esto debido a la gran incertidumbre que arroja el hecho de “calzar” un factor según

reducidos datos de tamaños de motor, y además que para varios niveles da un valor cero para MP lo cual es irreal.

También se puede mencionar que el método Tier es válido para realizar estimaciones de emisiones, funcionando mejor para potencias menores a 750 hp. Sin embargo, el método “Tier+Extrapolación” es el más adecuado para hallar factores de emisión cuando la flota de máquinas a estudiar posee mayoritariamente potencias superiores a 750 hp. Esto debido a que, para este caso, es capaz de contemplar de mejor manera a un 65% de máquinas que estaban dentro de esa categoría, además destacando que es este nivel el que más afecta en la cantidad de emisiones de contaminantes.

En la sección 1.2.1 se mencionó un estudio realizado por Geasur denominado “Análisis técnico-económico de la aplicación de una nueva norma de emisión para motores de maquinaria fuera de ruta a nivel país”, el cual representa una muy buena referencia para realizar una comparación de los resultados obtenidos por este TT. Sin embargo, se llegó a la conclusión de que ambos trabajos son complementarios, debido a que Geasur realiza una estimación de la maquinaria utilizada en la minería analizando únicamente los equipos con potencias menores a 560 kW (750 hp) y, por el contrario, este trabajo se focaliza en las potencias que se encuentran por sobre este valor.

Con los resultados finales es posible decir que el nivel de producción de una faena minera condiciona directamente en sus niveles de contaminación producida por la maquinaria pesada.

Las emisiones en toneladas anuales para el año 2014 de la maquinaria pesada en faenas mineras ubicadas en la Cordillera de Los Andes son: CO: 9.252, NOx: 48.555, MP: 1.096, CO₂: 4.790.809.

El importante aumento de emisiones al sensibilizar algunos factores denota que los términos seleccionados presentan una alta variabilidad, ya que al llevarse a cabo pequeñas variaciones se aumenta sustancialmente las emisiones, por esta razón puede afirmarse que estas se encuentran íntimamente ligadas al número de máquinas y el nivel de actividad con se utilicen. Por tanto, se puede concluir que, al tomar un máximo y un mínimo valor probable, existe una gran diferencia entre el caso base y las variaciones de las emisiones asociadas, debido a esto es que es de suma importancia tomar medidas con respecto al parque de maquinarias fuera de ruta y sus emisiones asociadas.

4.3 Recomendaciones

- Se recomienda extender este trabajo abordando el factor de altura en el factor de emisión de MP y factor de ajuste transiente, esto no pudo realizarse debido a la insuficiencia de datos existentes.
- Además, se recomienda realizar una proyección de los datos para analizar el comportamiento de las emisiones en el futuro.

- Por otro lado, se recomienda extender el estudio en toda la zona sur de la Cordillera de Los Andes, es decir, incluir Argentina, Perú y Bolivia. Esto no se abarcó en este trabajo de título debido a que se quiso revisar únicamente el contexto chileno para analizar la realidad de nuestro país.
- Es necesario realizar una mejora en la información base al número de máquinas presentes en la minería debido a la poca información que se tiene al respecto, para lo cual debiese crearse un sistema de registro nacional para la maquinaria fuera de ruta que sea de libre acceso a la comunidad.
- Un tema complicado de estimar fue el nivel de actividad de la flota, ya que solo se contaba con encuestas realizadas por otros trabajos. Para ello se recomienda la implementación de horómetros en las máquinas comercializadas. Si bien, existen maquinarias que poseen esta tecnología, la información tampoco está disponible para realizar catastros y estudios con respecto al tema.
- A raíz de este trabajo, es posible darse cuenta de que se hace urgente que exista una regulación que proteja a los glaciares en Chile, para cuidar estas grandes reservas de agua dulce que le estamos quitando a las futuras generaciones por el resguardo de algunos sectores de la industria, entre ellos incluido la minería.
- Para trabajos futuros se podría estudiar el impacto que generan las emisiones estimadas por este estudio en los ecosistemas y ver qué porcentaje es el que realmente se está depositando en la nieve. Además de estudiar de qué manera esta contaminación se traslada por medio del aire a zonas urbanas y cómo afecta a las personas.
- Otro punto interesante sería realizar una proyección a futuro de los niveles de contaminación a partir de los resultados de este trabajo de título.

REFERENCIAS

- Andersson, J. &. (1998-2001). *Particulate Research Programme*.
- Barrales, F. S. (2008). *Análisis y cuantificación de material particulado diesel: caracterización fisico-química de partículas ultrafinas y modelación de emisiones producidas por vehículos fuera de ruta*.
- CECS, C. d. (2009). *Estrategia nacional de glaciares*.
- Chile Sustentable. (2011). *Glaciares andinos recursos hídricos y cambio climático: Desafíos para la justicia en el Cono Sur*.
- Chile Sustentable. (2013). *Glaciares y Minería continúa la destrucción de los Glaciares*.
- Cochilco. (2014). *Anuario de estadísticas de cobre y otros minerales 1995-2014*.
- Cochilco. (2014). *Producción de cobre de mina por empresa anual*. Retrieved from <https://www.cochilco.cl/Paginas/Estadisticas/Bases%20de%20Datos/Produccion%20de%20Cobre%20por%20Empresa.aspx>
- Cochilco. (2016). *Informe de actualización del consumo energético de la minería del cobre al año 2015*.
- Codelco. (n.d.). Retrieved Mayo 14, 2017, from https://www.codelco.com/division-salvador/prontus_codelco/2016-02-25/165441.html
- Consejo Minero. (2016, Enero 13). Retrieved from <http://www.consejominero.cl/chile-pais-minero/>
- CORINAIR. (2013). *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook*. Europa: Agencia Ambiental de Europa.
- CORINAIR. (2013). *Non-road mobile sources and machinery EMEP/EEA emission inventory guidebook*.
- Earth Institute, C. U. (2016, Marzo 22). *State of the planet*. Retrieved 04 28, 2017, from <http://blogs.ei.columbia.edu/2016/03/22/the-damaging-effects-of-black-carbon/>
- ELAW, E. L. (2010). *Guidebook for evaluating mining project EIAs*.
- EPA. (2004). *Exhaust and Crankcase Emission Factors for Nonroad Engine Modeling-Compression-Ignition*.
- Geasur. (2014). *Análisis técnico-económico de la aplicación de una nueva norma de emisión para motores de maquinaria fuera de ruta a nivel país*.
- IGSD, I. f. (2008). *La reducción del carbono negro podría ser la estrategia más rápida para mitigar el cambio climático*.
- Lo Castillo SA. (2016). Organismos y empresas mineras. (S. C. Ltda, Ed.) *Guía minera de Chile 2015-2016*, 328.
- MCh. (2013/2014). *Catastro de Equipamiento Minero*. Minería Chilena. Editec.

Ntziachristos, L. (2009). *EMEP/EEA emission inventory guidebook*.

OMS, O. M. (2012). *International Agency for Research on Cancer: Diesel Engine Exhaust Carcinogenic*. Lyon France.

Painter, T. H. (2013). *End of the Little Ice Age in the Alps forced by industrial Black Carbon*. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. Retrieved from <http://www.pnas.org/content/110/38/15216>

Parlamento Europeo y del Consejo. (1997). *Directiva 97/68/CE*.

Ritchiespecs. (2007-2017). *RitchieSpecs Equipment Specifications*. Retrieved from <http://www.ritchiespecs.com>

ANEXOS

Tabla 29: Factor de emisión utilizado en el método EPA (NONROAD-EPA).

NONROAD-EPA							Catastro minero			
Celda EPA	Tipo Maq. EPA	Displacement	Potencia EPA	CO	NOx	MP	Modelo	Máquina	Potencia Hp	Displacement
37	NA	9,3	425	0,7	1	0	14G	Motoniveladora	240	10,5
							950F II BR	Wheel Loader	170	6,6
							950F II US	Wheel Loader	170	6,6
41	NA	15,2	625	1,4	8	0,01	824H	Wheel Dozer	354	15,2
47	NA	7,2	350	0,8	0,8	0	D4H	Bulldozer	95	5,2
							D5H	Bulldozer	120	7
							325L	Excavadora	168	6,6
							420D	Retroexcavadora	93	4
							CSC-583	Rodillo compactador vibratorio	153	6,6
							533D	Rodillo compactador vibratorio	145	4,4
48	Industrial Belter Track Dozer Loaders	7,2	233	3	3,5	0,19	320BL LR	Excavadora	128	6,4
							325BLAKSH	Excavadora	188	6,6
50	Commercial	8,8	375	3,1	3,5	0,19	D7H	Bulldozer	200	10,5
							D7H DS	Bulldozer	200	10,5
52	Industrial	11,1	450	3,3	3,5	0,2	16H	Motoniveladora	285	11,9
							16M	Motoniveladora	297	12,5

NONROAD-EPA							Catastro minero			
Celda EPA	Tipo Maq. EPA	Displacement	Potencia EPA	CO	NOx	MP	Modelo	Máquina	Potencia Hp	Displacement
52	Industrial	11,1	450	3,3	3,5	0,2	16MQ	Motoniveladora	297	12,5
							966F II	Wheel Loader	220	10,5
							966H	Wheel Loader	260	11,1
							345B II	Excavadora	321	10,3
53	Industrial	12,5	520	2,2	3,5	0,1	16H	Motoniveladora	285	11,9
							16H	Motoniveladora	285	11,9
							D8R	Bulldozer	285	12,7
55	Industrial	12,5	717	3,4	3,3	0,15	980H	Wheel Loader	310	15,2
							834G	Wheel Loader	450	15,8
							D8N	Bulldozer	285	14,6
							988G	Wheel Loader	555	15,8
							988H	Wheel Loader	555	18,1
							824G	Wheel Dozer	253	14,4
							824H	Wheel Dozer	354	15,2
							D8R BR	Bulldozer	310	14,6
							D8R US	Bulldozer	310	14,6
58	Industrial	18,1	700	2,8	3,7	0,16	24MQ	Motoniveladora	533	18,1
							834H	Wheel Dozer	498	18,1
							773D-WT	Off-Highway Trucks	600	19,5
							988B	Wheel Loader	375	18
							D9N	Bulldozer	410	18
							D9R	Bulldozer	410	18

NONROAD-EPA							Catastro minero			
Celda EPA	Tipo Maq. EPA	Displacement	Potencia EPA	CO	NOx	MP	Modelo	Máquina	Potencia Hp	Displacement
58	Industrial	18,1	700	2,8	3,7	0,16	773D	Off-Highway Trucks	650	19,5
							777D WT	Off-Highway Trucks	938	19,5
							773D-WT	Off-Highway Trucks	600	19,5
							988G	Wheel Loader	475	18
							24M	Motoniveladora	500	18,1
							24MQ	Motoniveladora	533	18,1
							988H	Wheel Loader	501	18,1
							AD55	Wheel Loader	650	18,1
60	Generator Set	18,1	923	0,8	5,7	0,08	834B	Wheel Dozer	450	18
							D9N	Bulldozer	410	18
							834G	Wheel Dozer	336	18
							834H	Wheel Dozer	498	18,1
							385 CL	Excavadora	428	18,1
61	Off Road TruckDozer	27	730	2,8	3,3	0,16	777-WT	Off-Highway Trucks	938	29,3
							D10N	Bulldozer	520	27
							D10R	Bulldozer	580	27
							24H	Motoniveladora	500	27
							D10T	Bulldozer	580	27
							773F	Off-Highway Trucks	703	27
63	Off Highway Truck	51,8	1677	2,6	8	0,06	RH340B	Excavadora	3000	58,8
64	NA	69	3230	0,6	8,3	0,12	793C	Off-Highway Trucks	2166	69

NONROAD-EPA							Catastro minero			
Celda EPA	Tipo Maq. EPA	Displacement	Potencia EPA	CO	NOx	MP	Modelo	Máquina	Potencia Hp	Displacement
64	NA	69	3230	0,6	8,3	0,12	797A	Off-Highway Trucks	3211	117
							797B	Off-Highway Trucks	3550	117,1
							994D	Wheel Loader	1577	69
							793	Off-Highway Trucks	2166	69
							789A	Off-Highway Trucks	1790	69,1
							994 F	Wheel Loader	1577	79,9
65	Commercial	27	1151	1	5,4	0,08	775F	Off-Highway Trucks	787	27
							D10R	Bulldozer	580	27
							24H	Motoniveladora	500	27
66	Pump Compressor Generator Set	34,5	900	1,52	5,76	0,146	D11R	Bulldozer	850	34,5
							D11T	Bulldozer	850	32,2
							854G	Wheel Dozer	800,6	34,5
							854K	Wheel Dozer	800,6	32,1
							777D	Off-Highway Trucks	938	34,5
							777F	Off-Highway Trucks	1000	32,1
							RH200	Excavadora	2520	37,7
							D11TQ	Bulldozer	850	32,2
							854KQ	Wheel Dozer	597	32,1
							992G	Wheel Loader	800	34,5
68	Pump Compressor Generator Set	71,8	3622	0,8	5,26	0,1	MT4000	Off-Highway Trucks	2500	78,1

NONROAD-EPA							Catastro minero			
Celda EPA	Tipo Maq. EPA	Displacement	Potencia EPA	CO	NOx	MP	Modelo	Máquina	Potencia Hp	Displacement
68	Pump Compressor Generator Set	71,8	3622	0,8	5,26	0,1	994	Wheel Loader	1250	79,9
							793D	Off-Highway Trucks	2300	78
							793F	Off-Highway Trucks	2650	78
							793FQ	Off-Highway Trucks	2650	78
							797	Off-Highway Trucks	3211	117
							797B	Off-Highway Trucks	3550	117
							994F	Wheel Loader	1577	79,9
							994D	Wheel Loader	1577	69

Tabla 30: Maquinaria utilizada en las faenas mineras estudiadas, fuente (MCh, 2013/2014).

Faena	Maquinaria	Marca	N	Modelo	Tier	Potencia [hp]	Año
Andina	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Komatsu	33	930E	s/i	2700	s/i
Andina	Cargadores de Bajo Perfil / Low profile Loaders	Caterpillar	5	AD55	Tier3	650	2007
Andina	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Komatsu	5	D375	s/i	405	s/i
Andina	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Komatsu	2	D475	s/i	2682	s/i
Andina	Cargadores de Bajo Perfil / Low Profile Loaders	Sandvik	2	EJC 65	Tier1	250	2001
Andina	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Komatsu	3	GD825	s/i	280	s/i
Andina	Camiones de Bajo Perfil / Low Profile Trucks	Kiruna	1	K-503	s/i	335	s/i
Andina	Cargadores Frontales / Front-End Loaders	LeTourneau	1	L-1400	Tier0	2000	1998
Andina	Cargadores Frontales / Front-End Loaders	LeTourneau	1	L-1850HL	Tier4	2000	2012
Andina	Cargadores Frontales / Front-End Loaders	LeTourneau	1	L-1850HL	Tier2	2000	2007
Andina	Camiones de Bajo Perfil / Low Profile Trucks	Atlas Copco	3	MT6020	Tier2	760	2010
Andina	Palas de Carguío / Shovels	Komatsu	2	PC5500	s/i	1260	s/i
Andina	Cargadores de Bajo Perfil / Low profile Loaders	Atlas Copco	1	ST14	Tier2	335	2008
Andina	Cargadores de Bajo Perfil / Low profile Loaders	Atlas Copco	1	ST14	Tier4	335	2011
Andina	Camiones de Bajo Perfil / Low Profile Trucks	Sandvik	4	Supra 0012H	n	335	2004
Andina	Cargadores de Bajo Perfil / Low profile Loaders	Sandvik	7	Toro 007	Tier1	250	2006
Andina	Cargadores de Bajo Perfil / Low profile Loaders	Sandvik	1	Toro 007	Tier0	250	2000
Andina	Cargadores de Bajo Perfil / Low profile Loaders	Sandvik	2	Toro 007	Tier0	250	1999
Andina	Cargadores de Bajo Perfil / Low profile Loaders	Sandvik	1	Toro 007	Tier0	250	1998
Andina	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Komatsu	2	WD600	s/i	485	s/i
Andina	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Komatsu	1	WD900	s/i	485	s/i
Cerro Colorado	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	16H	Tier0	285	1997
Cerro Colorado	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	16H	Tier1	285	2001
Cerro Colorado	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	16H	Tier2	285	2003
Cerro Colorado	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	16M	Tier3	312	2008
Cerro Colorado	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	16MQ LR	Tier4	312	2011
Cerro Colorado	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	320LME	Tier0	128	1994
Cerro Colorado	Camiones Utilitarios / Utility Trucks	Caterpillar	1	769C	Tier0	450	1991
Cerro Colorado	Camiones Utilitarios / Utility Trucks	Caterpillar	3	777B	Tier0	938	1991
Cerro Colorado	Camiones Utilitarios / Utility Trucks	Caterpillar	1	777D	Tier0	938	1998
Cerro Colorado	Camiones Utilitarios / Utility Trucks	Caterpillar	1	777F	Tier4	938	2011
Cerro Colorado	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Caterpillar	2	789B	Tier0	1705	1997
Cerro Colorado	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Caterpillar	1	789B	Tier0	1705	1998

Faena	Maquinaria	Marca	N	Modelo	Tier	Potencia [hp]	Año
Cerro Colorado	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Caterpillar	2	789C	Tier1	1900	2000
Cerro Colorado	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Caterpillr	11	789C	Tier1	1900	2001
Cerro Colorado	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Caterpillar	2	789C	Tier1	1900	2004
Cerro Colorado	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Caterpillar	2	789C	Tier1	1900	2005
Cerro Colorado	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Caterpillar	2	793C1	Tier0	2166	2005
Cerro Colorado	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Caterpillar	4	793D	Tier4	2600	2007
Cerro Colorado	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Caterpillar	9	793D	Tier4	2300	2008
Cerro Colorado	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Caterpillar	4	793F	Tier4	2600	2010
Cerro Colorado	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Caterpillar	2	793F	Tier4	2600	2011
Cerro Colorado	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Caterpillar	4	793FQ	Tier4	2300	2012
Cerro Colorado	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	834G	Tier2	480	2001
Cerro Colorado	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	834G	Tier2	480	2003
Cerro Colorado	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	834HQ	Tier4	498	2012
Cerro Colorado	Cargadores Frontales / Front-end Loaders	Caterpillar	1	950F	Tier0	170	1992
Cerro Colorado	Cargadores Frontales / Front-end Loaders	Caterpillar	1	994D	Tier0	1250	1999
Cerro Colorado	Cargadores Frontales / Front-end Loaders	Caterpillar	2	994D	Tier1	1250	2001
Cerro Colorado	Cargadores Frontales / Front-end Loaders	Caterpillar	1	994D	Tier1	1250	2002
Cerro Colorado	Cargadores Frontales / Front-end Loaders	Caterpillar	2	994F	Tier4	1463	2008
Cerro Colorado	Cargadores Frontales / Front-end Loaders	Caterpillar	1	994F	Tier4	1463	2010
Cerro Colorado	Cargadores Frontales / Front-end Loaders	Caterpillar	2	994F	Tier4	1463	2011
Cerro Colorado	Cargadores Frontales / Front-end Loaders	Caterpillar	2	994F	Tier4	1463	2012
Cerro Colorado	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	3	D10R	Tier0	520	1997
Cerro Colorado	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	3	D10R	Tier2	580	2001
Cerro Colorado	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	D10T	Tier4	580	2005
Cerro Colorado	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	D10T	Tier2	580	2008
Cerro Colorado	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	2	D10TQ	Tier4	580	2012
Chuquicamata	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Caterpillar	9	789	Tier0	1705	1989
Chuquicamata	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Caterpillar	1	789	Tier0	1705	1990
Chuquicamata	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Caterpillar	10	789	Tier0	1705	1992
Chuquicamata	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	3	14G	Tier0	240	1991
Chuquicamata	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	3	16G	Tier0	285	1989
Chuquicamata	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	4	16G	Tier0	285	1992
Chuquicamata	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	3	16H	Tier1	285	2000
Chuquicamata	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	16H	Tier2	285	2004
Chuquicamata	Camiones Utilitarios / Utility Trucks	Komatsu	2	210M	Tier0	700	1989
Chuquicamata	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	2	24H	Tier2	500	2004

Faena	Maquinaria	Marca	N	Modelo	Tier	Potencia [hp]	Año
Chuquicamata	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	320BL LR	Tier0	128	1997
Chuquicamata	Camiones Utilitarios / Utility Trucks	Caterpillar	2	773D-WT	Tier0	600	1996-97
Chuquicamata	Camiones Utilitarios / Utility Trucks	Caterpillar	2	777-WT	Tier0	938	1998-2000
Chuquicamata	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Caterpillar	3	793C	Tier0	2166	1999
Chuquicamata	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	6	824C	Tier0	315	1989
Chuquicamata	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	824C	Tier0	315	1990
Chuquicamata	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	2	824C	Tier0	315	1991
Chuquicamata	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	3	824G II	Tier2	800,6	2004
Chuquicamata	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Komatsu	18	830E	s/i	2400	-
Chuquicamata	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	834B	Tier0	450	1997
Chuquicamata	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	5	834B	Tier1	450	2000
Chuquicamata	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	854G	Tier0	800,6	1999
Chuquicamata	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Komatsu	66	930E	s/i	2700	-
Chuquicamata	Cargadores Frontales / Front-End Loaders	Caterpillar	2	988B	Tier0	375	1989
Chuquicamata	Cargadores Frontales / Front-End Loaders	Caterpillar	1	988B	Tier0	375	1990
Chuquicamata	Cargadores Frontales / Front-End Loaders	Caterpillar	3	988B	Tier0	375	1991
Chuquicamata	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	6	D10N	Tier0	520	1989
Chuquicamata	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	6	D10R	Tier2	580	2004
Chuquicamata	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	3	D10R	Tier0	580	2000
Chuquicamata	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	D8N	Tier0	285	1990
Chuquicamata	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	D9N	Tier0	410	1991
Chuquicamata	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	7	D9N	Tier0	410	1989
Chuquicamata	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	2	D9N	Tier0	410	1989
Chuquicamata	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	2	D9R	Tier2	410	2002
Chuquicamata	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	D9R	Tier0	410	1997
Chuquicamata	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Komatsu	2	GD825-A-2	Tier2	280	2004
Chuquicamata	Camiones Utilitarios / Utility Trucks	Komatsu	8	HD785-5	Tier1	1042	2004
Chuquicamata	Cargadores Frontales / Front-End Loaders	LeTourneau	1	L-1800	Tier1	2000	2002
Chuquicamata	Cargadores Frontales / Front-End Loaders	LeTourneau	2	L-1850	Tier1	2000	2003
Chuquicamata	Cargadores Frontales / Front-End Loaders	LeTourneau	2	L-1850	Tier1	2000	2005
Chuquicamata	Cargadores Frontales / Front-End Loaders	LeTourneau	1	L-1850	Tier2	2000	2006
Chuquicamata	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Caterpillar	1	MT4000	Tier0	2500	1990
Chuquicamata	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Komatsu	2	PC220LC-7	Tier2	168	2004
Chuquicamata	Palas de Carguío / Shovels	Komatsu	3	PC5500	Tier2	1260	-

Faena	Maquinaria	Marca	N	Modelo	Tier	Potencia [hp]	Año
Chuquicamata	Palas de Carguío / Shovels	Komatsu	3	PC5500	Tier2	1260	-
Chuquicamata	Camiones Utilitarios / Utility Trucks	Hitachi	4	R50	Tier0	576	1995
Chuquicamata	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Liebherr	16	T-282	Tier1	2780	2001
Chuquicamata	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Liebherr	14	T-282B	Tier1	3500	2003
Chuquicamata	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Liebherr	10	T-282B	Tier2	3500	2008
Chuquicamata	Cargadores Frontales / Front-End Loaders	Komatsu	1	W400	Tier0	208	1997
Collahuasi	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	2	16H	Tier0	285	1999
Collahuasi	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	16H	Tier2	285	2004
Collahuasi	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	16H	Tier3	285	2006
Collahuasi	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	16M	Tier3	297	2008
Collahuasi	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	2	16M	Tier3	297	2009
Collahuasi	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	16M	Tier3	297	2010
Collahuasi	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	16MQ	Tier4	297	2011
Collahuasi	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	2	24H	Tier2	500	2004
Collahuasi	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	24MQ	Tier4	533	2011
Collahuasi	Camiones Utilitarios / Utility Trucks	Komatsu	1	330M	Tier0	1050	1997
Collahuasi	Camiones Utilitarios / Utility Trucks	WesternStar	2	4964F	Tier0	430	1996
Collahuasi	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Caterpillar	4	793C	Tier0	2166	1999
Collahuasi	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Caterpillar	2	797A	Tier1	3211	2001
Collahuasi	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Caterpillar	2	797B	Tier1	3550	2002
Collahuasi	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Caterpillar	2	797B	Tier1	3550	2005
Collahuasi	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Caterpillar	2	797B	Tier2	3550	2007
Collahuasi	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Komatsu	39	830E	Tier0	2500	1997
Collahuasi	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	2	834G	Tier2	450	2004
Collahuasi	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	834H	Tier3	498	2008
Collahuasi	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	2	854G	Tier0	800,6	1999
Collahuasi	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	854G	Tier2	800,6	2004
Collahuasi	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	854G	Tier2	800,6	2006
Collahuasi	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	854G	Tier4	800,6	2007
Collahuasi	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	3	854K	Tier0	800,6	2009
Collahuasi	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	3	854K	Tier2	800,6	2011
Collahuasi	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Komatsu	2	930E-3 SE	Tier2	2500	2006
Collahuasi	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Komatsu	43	930E-4 SE	Tier2	2500	2008
Collahuasi	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Komatsu	3	930E-4 SE	s/i	2500	-

Faena	Maquinaria	Marca	N	Modelo	Tier	Potencia [hp]	Año
Collahuasi	Cargadores Frontales / Front-End Loaders	Caterpillar	1	980H	Tier3	310	2007
Collahuasi	Cargadores Frontales / Front-End Loaders	Caterpillar	2	980H	Tier4	310	2011
Collahuasi	Cargadores Frontales / Front-End Loaders	Caterpillar	1	994D	Tier0	1577	1999
Collahuasi	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	4	D10R	Tier2	580	2004
Collahuasi	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	2	D11R	Tier0	850	1999
Collahuasi	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	D11R	Tier1	850	2004
Collahuasi	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	2	D11R	Tier2	850	2006
Collahuasi	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	2	D11T	Tier2	850	2009
Collahuasi	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	2	D11T	Tier2	850	2010
Collahuasi	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	D11T	Tier4	850	2011
Collahuasi	Camiones Utilitarios / Utility Trucks	Komatsu	3	HD785-7	Tier2	1040	2008
Collahuasi	Cargadores Frontales / Front-End Loaders	LeTourneau	1	L-1850	Tier2	2500	2008
Collahuasi	Cargadores Frontales / Front-End Loaders	LeTourneau	1	L-1850	Tier2	2500	2006
Collahuasi	Cargadores Frontales / Front-End Loaders	LeTourneau	1	L-1850	Tier1	2500	2004
Collahuasi	Camiones Utilitarios / Utility Trucks	Ford	1	Lousville	Tier0	294	1997
Collahuasi	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Komatsu	3	PC 300	Tier3	246	2007-08
Collahuasi	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Komatsu	2	PC 600 LC-8	Tier3	425	2009
Collahuasi	Palas de Carguío / Shovels	Komatsu	3	PC5500	Tier2	2520	2007
Collahuasi	Palas de Carguío / Shovels	Komatsu	2	PC5500	Tier2	2520	2008
Collahuasi	Palas de Carguío / Shovels	Komatsu	1	PC8000	Tier2	4020	-
Collahuasi	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Liebherr	4	T-282C	Tier4	3650	2011
Collahuasi	Camiones Utilitarios / Utility Trucks	Kenworth	2	T800-B	Tier0	350	1995
Collahuasi	Camiones Utilitarios / Utility Trucks	Kenworth	1	T800-B	Tier2	380	2002
El Abra	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Caterpillar	1	793	Tier0	2166	1991
El Abra	Camiones Utilitarios / Utility Trucks	Ford	6	914	Tier0	200	1998
El Abra	Camiones Utilitarios / Utility Trucks	Navistar	2	2674	Tier0	200	1998
El Abra	Camiones Utilitarios / Utility Trucks	PayStar	1	5000	Tier0	200	1998
El Abra	Camiones Utilitarios / Utility Trucks	Navistar	4	7400	Tier0	200	1998
El Abra	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	16H	Tier2	285	2005
El Abra	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	2	16H	Tier3	285	2006
El Abra	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	16M	Tier3	285	2007
El Abra	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	16M	Tier4	286	2012
El Abra	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	325L	Tier0	168	1996
El Abra	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	420D	Tier1	93	2002
El Abra	Camiones Utilitarios / Utility Trucks	Ford	2	5032E	Tier3	200	2007
El Abra	Camiones Utilitarios / Utility Trucks	Caterpillar	2	773B	Tier0	650	1995

Faena	Maquinaria	Marca	N	Modelo	Tier	Potencia [hp]	Año
El Abra	Camiones Utilitarios / Utility Trucks	Caterpillar	1	773E	Tier2	671	2004
El Abra	Camiones Utilitarios / Utility Trucks	Caterpillar	1	775F	Tier2	787	2008
El Abra	Camiones Utilitarios / Utility Trucks	Caterpillar	1	789A	Tier0	1790	1995
El Abra	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Caterpillar	19	793B	Tier0	2166	1995
El Abra	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Caterpillar	3	793B	Tier0	2166	1996
El Abra	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Caterpillar	1	793B	Tier0	2166	1998
El Abra	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Caterpillar	2	793B	Tier0	2166	1999
El Abra	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Caterpillar	2	793C	Tier0	2166	1997
El Abra	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Caterpillar	4	793C	Tier0	2166	1998
El Abra	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Caterpillar	5	793C	Tier0	2166	1999
El Abra	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Caterpillar	1	793D	Tier4	2300	2007
El Abra	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Caterpillar	3	793D	Tier2	2166	2008
El Abra	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	824G	Tier1	253	2001
El Abra	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	824H	Tier3	354	2007
El Abra	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	824H	Tier4	354	2011
El Abra	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	834H	Tier3	498	2007
El Abra	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	834H	Tier3	498	2010
El Abra	Cargadores Frontales / Front-end Loaders	Caterpillar	1	966H	Tier3	260	2007
El Abra	Cargadores Frontales / Front-end Loaders	Caterpillar	2	966H	Tier3	260	2010
El Abra	Cargadores Frontales / Front-end Loaders	Caterpillar	1	994F	Tier4	1438	2011
El Abra	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	CSC-583	Tier0	153	1997
El Abra	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	D10N	Tier0	520	1995
El Abra	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	D10R	Tier0	520	1998
El Abra	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	D10T	Tier3	580	2006
El Abra	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	2	D10T	Tier3	580	2010
El Abra	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	D10T	Tier4	580	2012
El Abra	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	D11N	Tier0	770	1995
El Abra	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	D11R	Tier2	850	2007
El Abra	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	D4H	Tier0	95	1994
El Abra	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	D5H	Tier0	120	1991
El Abra	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	D7H	Tier0	200	1996
El Abra	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	D7H DS	Tier0	200	1996
El Abra	Camiones Utilitarios / Utility Trucks	Ford	2	L8000	Tier0	200	1998
El Abra	Camiones Utilitarios / Utility Trucks	Hercules	1	TR-200-LB	Tier2	200	2005

Faena	Maquinaria	Marca	N	Modelo	Tier	Potencia [hp]	Año
Escondida	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Caterpillar	6	797	Tier1	3211	2000
Escondida	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Caterpillar	5	797	Tier1	3211	2001
Escondida	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	3	16H	Tier2	285	2004
Escondida	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	24H	Tier2	500	2002
Escondida	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	24H	Tier3	500	2006
Escondida	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	2	24H	Tier3	500	2007
Escondida	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	4	24M	Tier3	500	2009
Escondida	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	2	24M	Tier3	500	2010
Escondida	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	2	24MQ	Tier4	533	2011
Escondida	Camiones Utilitarios / Utility Trucks	Caterpillar	2	777D	Tier1	938	2001
Escondida	Camiones Utilitarios / Utility Trucks	Caterpillar	1	777D	Tier1	938	2003
Escondida	Camiones Utilitarios / Utility Trucks	Caterpillar	1	777F	Tier2	938	2007
Escondida	Camiones Utilitarios / Utility Trucks	Caterpillar	1	777F	Tier2	938	2008
Escondida	Camiones Utilitarios / Utility Trucks	Caterpillar	5	777F	Tier2	938	2009
Escondida	Camiones Utilitarios / Utility Trucks	Caterpillar	2	777F	Tier2	938	2010
Escondida	Camiones Utilitarios / Utility Trucks	Caterpillar	1	777F	Tier4	938	2012
Escondida	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Caterpillar	17	793C	Tier0	2166	1997
Escondida	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Caterpillar	5	793D	Tier2	2166	2006
Escondida	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Caterpillar	5	793F	Tier4	2650	2011
Escondida	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Caterpillar	1	793FQ	Tier4	2650	2011
Escondida	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Caterpillar	7	793FQ	Tier4	2650	2012
Escondida	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Caterpillar	2	797B	Tier2	3211	2002
Escondida	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Caterpillar	11	797B	Tier2	3211	2003
Escondida	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Caterpillar	12	797B	Tier2	3211	2004
Escondida	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Caterpillar	1	797B	Tier2	3211	2005
Escondida	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Caterpillar	10	797B	Tier1	3550	2006
Escondida	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Caterpillar	10	797B	Tier1	3550	2007
Escondida	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Caterpillar	26	797B	Tier1	3550	2008
Escondida	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Caterpillar	23	797B	Tier1	3550	2009
Escondida	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Caterpillar	8	797F	Tier2	3211	2010
Escondida	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Caterpillar	11	797F	Tier4	3211	2011
Escondida	Camiones Utilitarios / Utility Trucks	Komatsu	1	830E	Tier1	2360	2001
Escondida	Camiones Utilitarios / Utility Trucks	Komatsu	1	830E	Tier2	2360	2007
Escondida	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	4	834G	Tier2	336	2004

Faena	Maquinaria	Marca	N	Modelo	Tier	Potencia [hp]	Año
Escondida	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	854G	Tier2	597	2001
Escondida	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	854G	Tier2	597	2003
Escondida	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	2	854G	Tier3	597	2004
Escondida	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	854G	Tier1	800	2007
Escondida	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	6	854K	Tier3	597	2009
Escondida	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	2	854KQ	Tier3	597	2010
Escondida	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	3	854KQ	Tier4	597	2011
Escondida	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Komatsu	6	930E	Tier1	2700	2007
Escondida	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Komatsu	2	930E	Tier1	2700	2008
Escondida	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	950F II BR	Tier0	170	1995
Escondida	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	950F II US	Tier0	170	1997
Escondida	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Komatsu	18	960E	s/i	3345,9	-
Escondida	Cargadores Frontales / Front-end Loaders	Caterpillar	2	988G	Tier2	475	2004
Escondida	Cargadores Frontales / Front-end Loaders	Caterpillar	3	988G	Tier2	475	2005
Escondida	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	2	988G	Tier2	555	2004
Escondida	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	3	988G	Tier2	555	2005
Escondida	Cargadores Frontales / Front-end Loaders	Caterpillar	1	988H	Tier3	555	2006
Escondida	Cargadores Frontales / Front-end Loaders	Caterpillar	1	988H	Tier3	555	2009
Escondida	Cargadores Frontales / Front-end Loaders	Caterpillar	1	988H	Tier3	555	2010
Escondida	Cargadores Frontales / Front-end Loaders	Caterpillar	1	994D	Tier1	1577	2003
Escondida	Cargadores Frontales / Front-end Loaders	Caterpillar	1	994F	Tier2	1577	2006
Escondida	Cargadores Frontales / Front-end Loaders	Caterpillar	2	994F	Tier2	1577	2008
Escondida	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	4	D10R	Tier2	580	2004
Escondida	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	D11R	Tier2	580	2002
Escondida	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	2	D11R	Tier2	850	2003
Escondida	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	5	D11R	Tier2	850	2004
Escondida	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	4	D11R	Tier2	850	2006
Escondida	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	4	D11R	Tier2	850	2007
Escondida	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	6	D11T	Tier2	850	2009
Escondida	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	D11TQ	Tier4	850	2011
Escondida	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	3	D11TQ	Tier4	850	2012
Escondida	Palas de Carguío / Shovels	Komatsu	1	PC5500	s/i	1260	s/i
Escondida	Palas de Carguío / Shovels	Komatsu	1	PC8000	s/i	4020	s/i
Escondida	Palas de Carguío / Shovels	Komatsu	1	PC8000	Tier2	4020	s/i

Faena	Maquinaria	Marca	N	Modelo	Tier	Potencia [hp]	Año
Escondida	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Komatsu	3	WD60	Tier2	485	2001
Gabriela Mistral	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Komatsu	17	930E	Tier2	2700	2007
Gabriela Mistral	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Komatsu	4	D375	Tier3	650	2007
Gabriela Mistral	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Komatsu	3	GD825	Tier3	280	2007
Gabriela Mistral	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Komatsu	2	HD605	s/i	739	s/i
Gabriela Mistral	Cargadores Frontales / Front-End Loaders	LeTourneau	2	L-1850	Tier2	2000	2007
Gabriela Mistral	Palas de Carguío / Shovels	Komatsu	1	PC8000	s/i	4020	s/i
Gabriela Mistral	Cargadores Frontales / Front-End Loaders	Komatsu	1	WA470	Tier3	470	2007
Gabriela Mistral	Camiones Utilitarios / Utility Trucks	Komatsu	2	WA-605	Tier2	485	2003
Gabriela Mistral	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Komatsu	3	WD600	Tier3	470	2007
Los Bronces	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	2	16H	Tier0	285	1997
Los Bronces	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	16H	Tier1	285	2002
Los Bronces	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	24H	Tier3	500	2006
Los Bronces	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	24H	Tier3	500	2007
Los Bronces	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	345B II	Tier2	321	2003
Los Bronces	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	385 CL	Tier4	428	2011
Los Bronces	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	533D	Tier1	145	2002
Los Bronces	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	533D	Tier2	146	2003
Los Bronces	Camiones Utilitarios / Utility Trucks	Caterpillar	1	773D	Tier0	650	1997
Los Bronces	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	824G	Tier2	315	2005
Los Bronces	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Komatsu	9	830E	Tier0	2400	1990
Los Bronces	Camiones Utilitarios / Utility Trucks	Komatsu	1	830E	Tier0	2500	1990
Los Bronces	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	854G	Tier4	800	2011
Los Bronces	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Komatsu	22	930E	Tier1	2700	2004
Los Bronces	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Komatsu	6	930E	Tier2	2700	2008
Los Bronces	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Komatsu	4	930E	Tier2	2700	2010
Los Bronces	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Komatsu	2	930E	Tier4	2700	2011
Los Bronces	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Komatsu	6	930E	s/i	2700	s/i
Los Bronces	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Komatsu	2	960E	Tier4	3400	2011
Los Bronces	Cargadores Frontales / Front-End Loaders	Caterpillar	1	980G	Tier2	300	2001
Los Bronces	Cargadores Frontales / Front-End Loaders	Caterpillar	1	980H	Tier4	311	2011
Los Bronces	Cargadores Frontales / Front-End Loaders	Caterpillar	1	992G	Tier4	800	2011
Los Bronces	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	D10R	Tier2	580	2004
Los Bronces	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	3	D10R	Tier0	580	1997

Faena	Maquinaria	Marca	N	Modelo	Tier	Potencia [hp]	Año
Los Bronces	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	D10R	Tier2	580	2002
Los Bronces	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	D10T	Tier3	580	2006
Los Bronces	Cargadores Frontales / Front-End Loaders	Caterpillar	2	D11T	Tier4	850	2011
Los Bronces	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Komatsu	1	D475A-5	Tier3	260	2007
Los Bronces	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Komatsu	1	D475A-5	Tier3	260	2008
Los Bronces	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Komatsu	1	D475A-5	Tier3	260	2009
Los Bronces	Camiones Utilitarios / Utility Trucks	Komatsu	1	HD875-7 WT	Tier2	1200	2009
Los Bronces	Cargadores Frontales / Front-End Loaders	LeTourneau	1	L-1400	Tier0	2000	1999
Los Bronces	Cargadores Frontales / Front-End Loaders	LeTourneau	1	L-1850	Tier1	2000	2004
Los Bronces	Cargadores Frontales / Front-End Loaders	LeTourneau	1	L-1850	Tier2	2000	2010
Los Bronces	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Komatsu	1	PC-450	Tier3	345	2008
Los Bronces	Palas de Carguío / Shovels	Komatsu	2	PC5500	s/i	2520	s/i
Los Bronces	Palas de Carguío / Shovels	Komatsu	1	PC5500	Tier2	2520	2009
Los Bronces	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Komatsu	1	WA600-1	Tier0	415	1991
Los Bronces	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Komatsu	1	WA600-6	Tier3	527	2008
Los Bronces	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Komatsu	1	WD900-3	Tier2	853	2007
Los Pelambres	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	773F	Tier3	703	2007
Los Pelambres	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Caterpillar	5	789C	Tier1	1771	N/D
Los Pelambres	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	834H	Tier3	498	2006
Los Pelambres	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	3	834H	Tier3	498	2010
Los Pelambres	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	834H	Tier4	498	2012
Los Pelambres	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Komatsu	26	930E	s/i	2700	s/i
Los Pelambres	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Komatsu	4	930E	Tier1	2700	2002
Los Pelambres	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Komatsu	8	930E-3	Tier2	2700	2006
Los Pelambres	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Komatsu	6	930E-4	Tier2	2700	2006
Los Pelambres	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	2	988H	Tier3	501	2010
Los Pelambres	Cargadores Frontales / Front-End Loaders	Caterpillar	1	994 F	Tier4	1577	2012
Los Pelambres	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	3	D10T	Tier3	580	2010
Los Pelambres	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	5	D10T	Tier4	580	2011
Los Pelambres	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Komatsu	4	GD825A-2	Tier3	280	2010
Los Pelambres	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Komatsu	1	GD825A-2	Tier4	280	2013
Los Pelambres	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Komatsu	2	HD-785-7 WT (MTT20)	Tier3	734	2010
Los Pelambres	Cargadores Frontales / Front-End Loaders	LeTourneau	1	L-1800	Tier0	2000	1998
Los Pelambres	Cargadores Frontales / Front-End Loaders	LeTourneau	1	L-1850	Tier1	2000	2005

Faena	Maquinaria	Marca	N	Modelo	Tier	Potencia [hp]	Año
Los Pelambres	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Komatsu	2	PC200-8	Tier3	148	2010
Los Pelambres	Palas de Carguío / Shovels	Komatsu	1	PC8000	Tier2	4000	2009
Los Pelambres	Cargadores Frontales / Front-End Loaders	Komatsu	1	WA-1200	Tier2	1780	2007
Quebrada Blanca	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Komatsu	4	730E	Tier2	1860	2007
Quebrada Blanca	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Komatsu	7	730E	Tier2	1860	2008
Quebrada Blanca	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Komatsu	6	730E	Tier1	1860	2003
Quebrada Blanca	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Komatsu	1	730E	Tier1	1860	2004
Quebrada Blanca	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Caterpillar	2	775F	Tier2	787	2007
Quebrada Blanca	Camiones Utilitarios / Utility Trucks	Caterpillar	2	775F	Tier2	787	2007
Quebrada Blanca	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Komatsu	6	830E	Tier2	2500	2009
Quebrada Blanca	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Komatsu	3	D275AX-5	Tier3	449	2008
Quebrada Blanca	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Komatsu	1	D375A-5 E0	Tier3	525	2008
Quebrada Blanca	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Komatsu	1	D375A-5 E0	Tier3	606	2007
Quebrada Blanca	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Komatsu	2	D475	Tier4	899	2011
Quebrada Blanca	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Komatsu	1	GD825-A-2	Tier3	280	2007
Quebrada Blanca	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Komatsu	1	GD825-A-2	Tier3	280	2008
Quebrada Blanca	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Komatsu	1	GD825-A-2	Tier3	280	2010
Quebrada Blanca	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Komatsu	1	GD825-A-2	Tier4	280	2011
Quebrada Blanca	Palas de Carguío / Shovels	Komatsu	1	PC 5500	Tier2	1260	2008
Quebrada Blanca	Palas de Carguío / Shovels	Komatsu	2	PC 5500	Tier2	1800	2008
Quebrada Blanca	Cargadores Frontales / Front-End Loaders	Komatsu	1	WA1200	Tier1	1560	2002
Quebrada Blanca	Cargadores Frontales / Front-End Loaders	Komatsu	1	WA1200	Tier1	1560	2002
Quebrada Blanca	Cargadores Frontales / Front-End Loaders	Komatsu	1	WA1200	Tier2	1560	2008
Quebrada Blanca	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Komatsu	1	WD600	Tier1	525	2000
Quebrada Blanca	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Komatsu	1	WD600-3	Tier3	485	2007
Quebrada Blanca	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Komatsu	1	WD600-3	Tier3	485	2008
Quebrada Blanca	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Komatsu	1	WD600-3	Tier3	485	2008
R Tomic	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	3	16H	Tier3	285	2006
R Tomic	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	2	16H	Tier0	285	1996
R Tomic	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	16H	Tier0	285	1997
R Tomic	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	16H	Tier1	285	2000
R Tomic	Camiones Utilitarios / Utility Trucks	Komatsu	2	210M	Tier0	700	1989
R Tomic	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	24H	Tier3	500	2007
R Tomic	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	325BLAKSH	Tier0	188	1998
R Tomic	Camiones Utilitarios / Utility Trucks	Komatsu	4	330M	Tier0	1010	1989

Faena	Maquinaria	Marca	N	Modelo	Tier	Potencia [hp]	Año
R Tomic	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Caterpillar	2	773D	Tier0	650	1996
R Tomic	Camiones Utilitarios / Utility Trucks	Caterpillar	2	773D-WT	Tier0	600	1996-97
R Tomic	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Caterpillar	1	777D	Tier0	938	1998
R Tomic	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Caterpillar	1	777D WT	Tier1	938	2000
R Tomic	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Caterpillar	3	777F	Tier2	1000	2007
R Tomic	Camiones Utilitarios / Utility Trucks	Caterpillar	2	777-WT	Tier0	938	1998-2000
R Tomic	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Caterpillar	13	793B	Tier0	2057	1996
R Tomic	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Caterpillar	4	793C	Tier0	2166	1996
R Tomic	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Caterpillar	7	793C	Tier0	2166	1998
R Tomic	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	2	824H	Tier3	354	2006
R Tomic	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	834B	Tier0	450	1996
R Tomic	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	854G	Tier2	800,6	2006
R Tomic	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	2	854G	Tier1	800,6	2000
R Tomic	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	854G	Tier1	800,6	2001
R Tomic	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	854G	Tier1	800,6	2005
R Tomic	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Komatsu	68	930E	s/i	2700	s/i
R Tomic	Cargadores Frontales / Front-End Loaders	Caterpillar	1	966F II	Tier0	220	1996
R Tomic	Cargadores Frontales / Front-End Loaders	Caterpillar	1	994	Tier0	1250	1996
R Tomic	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	3	D10R	Tier0	520	1996
R Tomic	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	D10R	Tier0	520	1997
R Tomic	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	8	D11R	Tier2	850	2006
R Tomic	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	D8N	Tier0	285	1990
R Tomic	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	7	D9N	Tier0	410	1989
R Tomic	Camiones Utilitarios / Utility Trucks	Komatsu	2	HD605-7	Tier1	715	2004
R Tomic	Camiones Utilitarios / Utility Trucks	Komatsu	8	HD785-5	Tier1	1042	2004
R Tomic	Cargadores Frontales / Front-End Loaders	LeTourneau	1	L-1400	Tier2	2000	2000
R Tomic	Cargadores Frontales / Front-End Loaders	LeTourneau	1	L-1800	Tier0	2000	1998
R Tomic	Cargadores Frontales / Front-End Loaders	LeTourneau	1	L-1850	Tier2	2000	2010
R Tomic	Cargadores Frontales / Front-End Loaders	LeTourneau	2	L-1850	Tier2	2000	2006
R Tomic	Cargadores Frontales / Front-End Loaders	LeTourneau	2	L-2350	Tier2	2000	2010
R Tomic	Palas de Carguío / Shovels	Komatsu	1	PC8000	s/i	4020	s/i
R Tomic	Camiones Utilitarios / Utility Trucks	Hitachi	4	R50	Tier0	576	1995
R Tomic	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	RH200	s/i	2520	s/i
R Tomic	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	RH340B	s/i	3000	s/i

Faena	Maquinaria	Marca	N	Modelo	Tier	Potencia [hp]	Año
R Tomic	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Liebherr	3	T-282	Tier4	2780	2011
R Tomic	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Liebherr	7	T-282B	Tier2	3500	2010
R Tomic	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Liebherr	9	T-282B	Tier4	3500	2012
R Tomic	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Liebherr	4	T-282C	Tier4	3500	2011
R Tomic	Cargadores Frontales / Front-End Loaders	Komatsu	1	W400	Tier0	208	1997
Salvador	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	14G	Tier0	240	1989
Salvador	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Caterpillar	2	773B	Tier0	650	1991
Salvador	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Caterpillar	4	785	Tier0	1290	1989
Salvador	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Caterpillar	3	789	Tier0	1705	1989
Salvador	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Caterpillar	1	789	Tier0	1705	1990
Salvador	Camiones Fuera de Carretera / Off-Highway Trucks	Caterpillar	4	789	Tier0	1705	1992
Salvador	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	824C	Tier0	235	1989
Salvador	Cargadores Frontales / Front-End Loaders	Caterpillar	1	966F II	Tier0	220	1992
Salvador	Cargadores Frontales / Front-End Loaders	Caterpillar	1	994F	Tier2	1250	2006
Salvador	Cargadores Frontales / Front-End Loaders	Caterpillar	1	994F	Tier0	1577	1996
Salvador	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	D10N	Tier0	520	1988
Salvador	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	D9L	Tier0	370	1987
Salvador	Cargadores Frontales / Front-End Loaders	LeTourneau	1	L-1000	Tier0	900	1988
Salvador	Cargadores Frontales / Front-End Loaders	LeTourneau	1	L-1100	Tier0	1000	1990
Salvador	Cargadores de Bajo Perfil / Low Profile Loaders	Sandvik	2	Toro 007	Tier2	250	2006
Salvador	Cargadores de Bajo Perfil / Low Profile Loaders	Sandvik	5	Toro 007	Tier1	250	2002
Salvador	Cargadores de Bajo Perfil / Low Profile Loaders	Sandvik	7	Toro 007	Tier3	250	2001
Teniente	Cargadores de Bajo Perfil / Low Profile Loaders	Sandvik	1	913	Tier2	250	1985
Teniente	Camiones de Explosivos / Explosives Trucks	Getman	1	A 64	Tier0	173	1982
Teniente	Cargadores de Bajo Perfil / Low Profile Loaders	Sandvik	1	CMS	s/i	250	s/i
Teniente	Cargadores de Bajo Perfil / Low Profile Loaders	Sandvik	1	CMS	s/i	250	s/i
Teniente	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	3	D8R	Tier0	285	1998
Teniente	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	2	D8R BR	Tier0	310	1997
Teniente	Equipos de Apoyo / Support Equipment	Caterpillar	1	D8R US	Tier0	310	1997
Teniente	Cargadores de Bajo Perfil / Low Profile Loaders	Sandvik	1	EJC 130D	s/i	250	s/i
Teniente	Cargadores de Bajo Perfil / Low Profile Loaders	Sandvik	1	EJC 130D	s/i	250	s/i
Teniente	Camiones de Bajo Perfil / Low Profile Trucks	Kiruna	2	K-335	Tier0	200	1995
Teniente	Camiones de Bajo Perfil / Low Profile Trucks	Kiruna	2	K-335	Tier0	200	1996
Teniente	Cargadores de Bajo Perfil / Low Profile Loaders	Schopf	3	L-72	Tier0	250	1991

Faena	Maquinaria	Marca	N	Modelo	Tier	Potencia [hp]	Año
Teniente	Cargadores de Bajo Perfil / Low Profile Loaders	Sandvik	6	LH410	Tier3	201	2010
Teniente	Cargadores de Bajo Perfil / Low Profile Loaders	Sandvik	1	LH410	Tier4	201	2012
Teniente	Cargadores de Bajo Perfil / Low Profile Loaders	Sandvik	6	LH517	Tier4	348	2011
Teniente	Cargadores de Bajo Perfil / Low Profile Loaders	Sandvik	1	LH517	Tier4	348	2012
Teniente	Camiones Utilitarios / Utility Trucks	Normet	6	PK - 1000	s/i	200	s/i
Teniente	Camiones Utilitarios / Utility Trucks	Normet	1	PK - 1000	s/i	200	s/i
Teniente	Camiones Utilitarios / Utility Trucks	Normet	6	PK - 1000	s/i	200	s/i
Teniente	Camiones Utilitarios / Utility Trucks	Normet	2	PK - 1000	s/i	200	s/i
Teniente	Camiones Utilitarios / Utility Trucks	Normet	2	PK - 1000	s/i	200	s/i
Teniente	Camiones de Explosivos / Explosives Trucks	Normet	1	PK 1000	Tier0	200	1986
Teniente	Camiones de Explosivos / Explosives Trucks	Normet	4	PK 4500	Tier0	200	1987
Teniente	Cargadores de Bajo Perfil / Low Profile Loaders	AtlasCopco	6	ST1030	Tier3	250	2007
Teniente	Cargadores de Bajo Perfil / Low Profile Loaders	Atas Coco	5	ST1030	Tier3	250	2008
Teniente	Cargadores de Bajo Perfil / Low Profile Loaders	AtlasCopco	6	ST1030	Tier4	250	2011
Teniente	Cargadores de Bajo Perfil / Low Profile Loaders	AtlasCopco	2	ST14	Tier3	335	2008
Teniente	Cargadores de Bajo Perfil / Low Profile Loaders	AtlasCopco	3	ST7	Tier4	193	2012
Teniente	Camiones de Bajo Perfil / Low Profile Trucks	Sandvik	1	Supra 0012H	Tier2	425	2004
Teniente	Camiones de Bajo Perfil / Low Profile Trucks	Sandvik	2	Supra 0012H	Tier2	425	2003
Teniente	Cargadores de Bajo Perfil / Low Profile Loaders	Puma	4	TEN-8000 D	Tier0	250	1991
Teniente	Cargadores de Bajo Perfil / Low Profile Loaders	Puma	1	TEN-8000 D	Tier0	250	1992
Teniente	Camiones de Bajo Perfil / Low Profile Trucks	Sandvik	2	TH680	Tier3	425	2010
Teniente	Camiones Utilitarios / Utility Trucks	Puma	1	TK - 3500	s/i	200	s/i
Teniente	Cargadores de Bajo Perfil / Low Profile Loaders	Sandvik	3	Toro 0010-C	Tier2	200	2004
Teniente	Cargadores de Bajo Perfil / Low Profile Loaders	Sandvik	3	Toro 0010-C	Tier2	250	2003
Teniente	Cargadores de Bajo Perfil / Low Profile Loaders	Sandvik	11	Toro 007	Tier1	250	2006
Teniente	Cargadores de Bajo Perfil / Low Profile Loaders	Sandvik	3	Toro 007	Tier1	250	2005
Teniente	Cargadores de Bajo Perfil / Low Profile Loaders	Sandvik	9	Toro 007	Tier3	250	2004
Teniente	Cargadores de Bajo Perfil / Low Profile Loaders	Sandvik	6	Toro 007	Tier2	250	2003
Teniente	Cargadores de Bajo Perfil / Low Profile Loaders	Sandvik	7	Toro 007	Tier2	250	2002
Teniente	Cargadores de Bajo Perfil / Low Profile Loaders	Sandvik	7	Toro 007	Tier3	250	2001
Teniente	Camiones Utilitarios / Utility Trucks	AtlasCopco	2	UT - 45A	s/i	200	s/i
Teniente	Camiones Utilitarios / Utility Trucks	Pma	5	VM - 3500	s/i	200	s/i
Teniente	Camiones de Explosivos / Explosives Trucks	AUS	2	-	s/i	200	s/i
Teniente	Camiones Utilitarios / Utility Trucks	Harlan	1	-	s/i	200	s/i