

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL



**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS QUÍMICAS Y AMBIENTALES**

PROYECTO DE GRADUACIÓN

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

“MAGÍSTER EN CIENCIAS AMBIENTALES”

TEMA

**REDUCCIÓN DE EMISIONES AL AMBIENTE POR OPTIMIZACIÓN DEL
PROCESO DE PERFORACIÓN, VOLADURA Y ACARREO DE MATERIAL EN
LA CANTERA DE PIFO**

AUTOR

JESÚS WASHINGTON CRESPO QUINTERO

Guayaquil - Ecuador

AÑO

2016

DEDICATORIA

El proyecto está dedicado a todas las personas que ayudaron a la realización y culminación de este trabajo de grado, y de manera especial a mi familia, que siempre estuvo y ha estado apoyando la culminación de esta nueva etapa de mi vida.

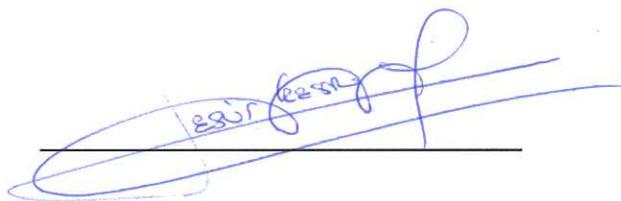
AGRADECIMIENTO

En primer lugar, le agradezco a DIOS por todas las oportunidades dadas para poder culminar una nueva etapa de mi vida, luego a la Dra. Paola Romero por haber ayudado y aportado sus conocimientos para poder plasmar el proyecto de graduación. Un agradecimiento especial a mi Esposa Kelly e hijos Jorge, Belén y Ariel que han sido el aliciente y la motivación durante todo este tiempo, a mis Padres, hermanos y tío que siempre me brindaron su apoyo.

DECLARACIÓN EXPRESA

La responsabilidad por los hechos y doctrinas expuestas en este Proyecto de Graduación, me corresponde exclusivamente; el patrimonio intelectual del mismo, corresponde exclusivamente a la Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas, Departamento de Ciencias Químicas y Ambientales de la Escuela Superior Politécnica del Litoral.

Jesús Washington Crespo Quintero



TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



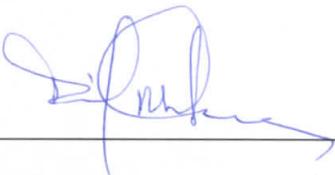
Olga González Sánchez Ph.D

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



Paola Romero Crespo Ph.D

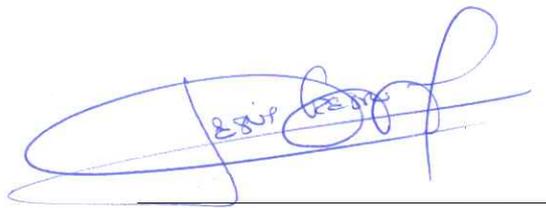
DIRECTOR DE PROYECTO



David Matamoros Camposano Ph.D

VOCAL DEL TRIBUNAL

AUTOR DEL PROYECTO

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'JESUS CRESPO', written over a horizontal line.

JESÚS WASHINGTON CRESPO QUINTERO

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA.....	I
AGRADECIMIENTO.....	II
DECLARACIÓN EXPRESA.....	III
TRIBUNAL DE GRADUACIÓN.....	IV
AUTOR DE PROYECTO.....	V
ÍNDICE GENERAL.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
ÍNDICE DE TABLAS.....	XII
ABREVIATURAS.....	XV

CAPITULO 1

1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Objetivo General	4
1.3. Objetivos Específicos.....	4
1.4. Datos Geográficos de la Zona.....	5
1.5. Componente Biótico	6
1.5.1 Relieve	6
1.5.2 Suelos	7
1.5.3 Cobertura del suelo	7
1.6. Geología Regional	7
1.7. Geología Local	9
1.8. Descripción del proceso actual de planta	10

1.8.1 Preparación de cantera	11
1.8.2 Destape	11
1.8.3 Aprovechamiento de la capa vegetal	12
1.8.4 Perforación	12
1.8.5 Malla de perforación	13
1.8.6 Voladura	14
1.8.7 Diseño de la malla de perforación y encendido de voladura en planta Pifo	15
1.8.8 Carguío del material	18
1.8.9 Acarreo	19
1.8.10 Trituración	21

CAPITULO 2

2. <u>MARCO TEÓRICO</u>	24
2.1. Marco Legal general	24
2.1.1 Constitución de la República del Ecuador	24
2.1.2 Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del Ambiente	25
2.1.3 De la Calidad Ambiental	28
2.2. Emisiones al ambiente	29
2.2.1. Fuentes Móviles	29
2.2.2. Emisiones de fuentes móviles	29
2.2.3. Metodología de cálculo	30
2.2.4. Elección de la metodología	31
2.2.5. Elección de los factores de emisión	32
2.3. Obtención de los datos	33
2.4. Estudios anteriores	34

CAPITULO 3

3. <u>EL PROBLEMA</u>	37
3.1. Definición del problema	37
3.2. Identificación de fuentes contaminantes	39
3.2.1. Perforación y voladura	39
3.2.2. Carguío del material	40
3.2.3. Transporte	41
3.3. Determinación de la causa raíz del problema	43

CAPITULO 4

4. <u>METODOLOGÍA DESARROLLADA</u>	46
4.1. Procesos de metodología a desarrollar	46
4.2. Parámetros utilizados en malla de perforación	48
4.3. Consumo de combustible en proceso de producción con malla estándar	48
4.4. Estimación de emisiones de Gases de efecto invernadero a la atmósfera	48
4.5. Cálculo de los parámetros que serán utilizados en nueva malla de perforación	49
4.6. Diseño de nueva malla de perforación	49
4.7. Control del proceso de perforación, carguío y transporte de material utilizando nuevo diseño de malla de perforación.....	50
4.8. Control del consumo de combustible en proceso de producción con nueva malla de perforación	50
4.9. Estimación de emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera con nueva malla de perforación	51

CAPITULO 5

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS	52
5.1. Gases de efecto invernadero generados en el 2014	52
5.2. Estimación de los gases de efecto invernadero en proceso de perforación y voladura	52
5.2.1. Gases de efecto invernadero determinado por método estequiométrico	53
5.2.2. Gases de efecto invernadero determinado por método de consumo de combustible	54
5.3. Estimación de gases de efecto invernadero en proceso de carguío	55
5.3.1. Gases de efecto invernadero determinado por método estequiométrico	56
5.3.2. Gases de efecto invernadero determinados por método de consumo de combustible	56
5.4. Estimación de gases de efecto invernadero en proceso de transporte	57
5.4.1. Gases de efecto invernadero determinado por método estequiométrico	58
5.4.2. Gases de efecto invernadero determinados por método de consumo de combustible	58
5.5. Resumen de contaminantes emitidos por los procesos	59
5.6. Nuevos diseños de mallas de perforación	59
5.6.1. Cálculo de parámetros para nueva malla de perforación	60
5.6.1.1. Cálculo del burden	61
5.6.1.2. Cálculo del espaciamiento entre barrenos	63
5.6.1.3. Cálculo de la sobreperforación	66

5.6.1.4. Cálculo del retacado	67
5.6.2. Diseño de la nueva malla de perforación	67
5.7. Consumo de combustible por procesos con nuevos diseños de mallas de perforación	73
5.8. Cálculo de las emisiones de gases de efecto invernadero en proceso de perforación	76
5.9. Cálculo de las emisiones de gases de efecto invernadero en proceso de carga y acarreo	78
5.10. Cálculo de las emisiones de gases de efecto invernadero en proceso de transporte	80
5.11. Análisis comparativo de las emisiones de gases de efecto invernadero	81
CAPITULO 6	
6. <u>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</u>	83
6.1. Conclusiones	83
6.2. Recomendaciones.....	85
BIBLIOGRAFÍA	87
ANEXOS	91

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1	Vista satelital de la cantera de Pifo	5
FIGURA 2	Geología de la cantera de Pifo	10
FIGURA 3	Ubicación espacial de la cantera y nuevas reservas para la extracción..	11
FIGURA 4	Colocación de capa vegetal en bancos extracción ya clausurados en la cantera.....	12
FIGURA 5	Equipo de perforación perfilando un banco en cantera	13
FIGURA 6	Esquema de perforación utilizado en cantera	14
FIGURA 7	Esquema de perforación.....	17
FIGURA 8	Malla de perforación realizada en el frente de explotación	18
FIGURA 9	Excavadora CAT 349D durante operaciones.....	19
FIGURA 10	Transporte de material desde el frente de extracción hasta planta.....	20
FIGURA 11	Descarga en tolva de acumulación de trituradora primaria	20
FIGURA 12	Tolva de acumulación y trituradora primaria	21
FIGURA 13	Planta de trituración secundaria	22
FIGURA 14	Planta de trituración terciaria	22
FIGURA 15	Diagrama de producción de Planta Pifo	23
FIGURA 16	Guía Metodológica para estimación de CO2	31
FIGURA 17	Árbol de decisiones	32
FIGURA 18	Consumo de combustible por equipos 2014	43
FIGURA 19	Análisis de Causa – Raíz	44
FIGURA 20	Diagrama de metodología de trabajo para desarrollo de proyecto.....	47
FIGURA 21	Parámetros a determinar en una malla de perforación.....	60
FIGURA 22	Disposición entre barrenos	65
FIGURA 23	Nuevo diseño de malla de perforación para Andesita rosada	68
FIGURA 24	Diagrama de perforación Andesita rosada	69
FIGURA 25	Nuevo diseño de malla de perforación para Andesita gris lajosa	70
FIGURA 26	Diagrama de perforación Andesita gris lajosa	71
FIGURA 27	Nuevo diseño de malla de perforación para Andesita gris maciza	72
FIGURA 28	Diagrama de perforación Andesita gris maciza	73
FIGURA 29	Consumo de combustible entre 2014 y 2015	76
FIGURA 30	Emisiones de CO2 por proceso entre 2014 y 2015	82

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA N° 1	Coordenadas UTM de la zona minera.....	5
TABLA N° 2	Matriz de datos para perforación y voladura.....	16
TABLA N° 3	Datos técnicos de la excavadora CAT 349D	19
TABLA N° 4	Equipos utilizados para el transporte de material en cantera.....	20
TABLA N° 5	Factores de emisión por defecto	33
TABLA N° 6	Consumo de combustible por equipos correspondiente al 2014.....	34
TABLA N° 7	Consumo de combustible por equipos correspondiente al 2015.....	34
TABLA N° 8	Tipos de contaminantes generados	38
TABLA N° 9	Consumo de combustible por perforadora 2014.....	40
TABLA N° 10	Consumo de combustible proceso de carguío 2014.....	41
TABLA N° 11	Consumo de combustible proceso de transporte 2014.....	42
TABLA N° 12	Parámetros de perforación malla estándar 2014	53
TABLA N° 13	Emisiones de GEI por estequiometria proceso de perforación...54	
TABLA N° 14	Emisiones de GEI por consumo de combustible proceso de perforación	55
TABLA N° 15	Cuadro comparativo entre los 2 métodos para el proceso de perforación	55
TABLA N° 16	Emisiones de GEI por estequiometria proceso de carguío.....	56
TABLA N° 17	Emisiones de GEI por consumo de combustible proceso de carguío.....	57
TABLA N° 18	Cuadro comparativo entre los 2 métodos para el proceso de carguío	57
TABLA N° 19	Emisiones de GEI por estequiometria proceso de transporte.....	58
TABLA N° 20	Emisiones de GEI por consumo de combustible proceso de transporte	58
TABLA N° 21	Cuadro comparativo entre los 2 métodos para el proceso de transporte.....	59
TABLA N° 22	Resumen de GEI por proceso durante el 2014	59

TABLA N° 23	Relaciones de campo para determinar los parámetros de perforación61
TABLA N° 24	Valores de Burden obtenidos por los diferentes métodos.....62
TABLA N° 25	Espaciamiento entre barrenos según Konya63
TABLA N° 26	Espaciamiento entre barrenos según la resistencia a la compresión de la roca63
TABLA N° 27	Resumen de espaciamiento entre barrenos64
TABLA N° 28	Valores calculados para la sobreperforación66
TABLA N° 29	Valores calculados para el retacado67
TABLA N° 30	Parámetros de malla de perforación para Andesita Rosada.....68
TABLA N° 31	Parámetros de malla de perforación para Andesita gris lajosa...70
TABLA N° 32	Parámetros de malla de perforación para Andesita gris maciza.71
TABLA N° 33	Consumo de combustible mensual por proceso de perforación en el año 201574
TABLA N° 34	Consumo de combustible mensual por proceso de carguío en el año 201575
TABLA N° 35	Consumo de combustible mensual por proceso de transporte en el año 201575
TABLA N° 36	Emisiones de GEI por estequiometria proceso de perforación ..77
TABLA N° 37	Emisiones de GEI por consumo de combustible proceso de perforación77
TABLA N° 38	Cuadro comparativo entre los 2 métodos para el proceso de perforación78
TABLA N° 39	Emisiones de GEI por estequiometria proceso de carguío.....78
TABLA N° 40	Emisiones de GEI por consumo de combustible proceso de carguío.....79
TABLA N° 41	Cuadro comparativo entre los 2 métodos para el proceso de carguío.....79
TABLA N° 42	Emisiones de GEI por estequiometria proceso de transporte80
TABLA N° 43	Emisiones de GEI por consumo de combustible proceso de transporte80

TABLA N° 44	Cuadro comparativo entre los 2 métodos para el proceso de transporte80
TABLA N° 45	Emisión de GEI por procesos durante el 2014.....81
TABLA N° 46	Emisión de GEI por procesos durante el 2015.....81

ABREVIATURAS

CH ₄	Metano
Cm	Centímetros
CMNUCC	Convención Marco de Naciones Unidas sobre CO Monóxido de Carbono
CO ₂	Dióxido de Carbono
COV	Compuesto Orgánicos Volátiles
DMQ	Distrito Metropolitano de Quito
G	Giga
GAD's	Gobiernos autónomos descentralizados
Gal	Galones
Gal/m	Galones/metro
Gal/ton	Galones/tonelada
GEI	Gases de Efecto Invernadero
gr	gramos
gr/cm ³	gramos/centímetro cúbico.
Has	Hectáreas
IGM	Instituto geográfico Militar
IPCC	Intergovernmental Panel Climate Change Cambio Climático
J	Joules
Kg	Kilogramos
M	Metros.
Mm	Milímetros
m.s.n.m	Metros sobre el nivel del mar
m/s	Metros/segundos
MTOP	Ministerio de Transporte y Obras Públicas
NO _x	Óxidos de Nitrógeno
PM	Material Particulado
SO ₂	Dióxido de Azufre

Ton	Toneladas
T	Tera
TULSMA	Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio de Ambiente
UTM	Universal Transverse Mercator

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

En las actividades mineras en la etapa de extracción de material, el principal objetivo es la de obtener un bienestar económico. Hasta finales del siglo pasado no se tenían en cuenta las consecuencias que acarrearía realizar esta labor, tanto en la parte de seguridad de personas, equipos, comunidad y menos importante la parte ambiental, se afectaba al aire, ríos, comunidad durante todos los trabajos que se realizaban.

Al inicio de este siglo, las cosas cambiaron ya que la extracción pasó a ser lo menos importante, siendo ahora lo primordial demostrar cuál es la forma correcta de extraerlos, además de determinar y evaluar que conflictos ocasionaba esta labor, tanto a las personas como al entorno en igual medida.

Esto ha llevado a que se busque tanto la eficiencia operativa como la eficiencia económica ^[1] y en este camino está incluido la protección al medio ambiente. Uno de los principales problemas detectados en labores mineras es la contaminación visual, al aire, al agua y al suelo, esto ha generado que muchas empresas hayan sido clausuradas sus labores, mientras que otras estén buscado la manera de mitigar estos problemas, yendo desde el cambio de equipos menos contaminantes los cuales son han vuelto más eficientes en la utilización del combustible, a otros modernos y costosos que tienen incluido sistemas de control de combustión.

Pero uno de los problemas menos controlados o que no se lo ha tomado muy en cuenta, es el proceso de perforación, acarreo y transporte de material. Este

proceso es muy importante, por no decir prioritario, debido a que muchos de los casos la eficiencia de todo el proceso está determinada por esta primera labor, donde se obtiene la materia prima para el producto final, y además uno de los contaminantes, tanto al ambiente como a los seres vivos.

En la zona de Provincia del Pichincha estos problemas son latentes y ya conocidos dentro de la comunidad, pero no eran tomados en cuenta ya que las áreas de extracción de agregados en Quito están limitadas a dos zonas específicas, que son las minas de San Antonio en el sector de Calderón al norte de Quito y la zona Nor-Oriental de Quito en el sector de Pintag y Papallacta.

Estos lugares abastecen a toda la ciudad de Quito y sus alrededores, pero en Agosto del 2014 ocurrió un efecto natural que cambió drásticamente la entrega de agregados a la ciudad y sus alrededores, luego de una serie de sismos fuertes ocurridos en Quito, se cerraron todas las operaciones de San Antonio, ya que se realizó un estudio técnico en todas las operaciones, y se pudo constatar por parte de los técnicos encargados, que todas las canteras estaban siendo explotadas de forma antitécnica, ortodoxa y artesanal, no existía control en la forma de extraer y transportar el material, y los impactos que se estaban generando al ambiente eran considerables.

Ante esta situación se tuvo que realizar estudios para cambiar la forma de extraer y transportar el material. La manera artesanal con que se llevaba la explotación, estaba provocando no solo daños estructurales, sino a la salud de las personas y el ambiente, provocando más daños al medio ambiente, la preocupación por el cambio climático y sus efectos, lo que ha conllevado al autor de la tesis a plantearse como mejorar la gestión en temas energéticos para la vida y el desarrollo.

En su intento de reducir las emisiones a la atmósfera de los gases de efecto invernadero (GEI), se han planteado tres grandes frentes de trabajo. El primero

consiste en la mejora tecnológica en las máquinas y motores que consumen energía proveniente de combustibles fósiles, el segundo en la obtención de energía de fuentes alternativas y el tercero en las condiciones en que se trabaja con los equipos.

El tema a detallar está dirigido en este último frente. Se han desarrollado muchos modelos para estimar y reducir el consumo de combustible en vehículos de transporte terrestre, ferrocarriles, etc. ^[2]. Pero ninguno de estos hasta la actualidad no se ha podido aplicar para el transporte que se utiliza en minería.

Sin embargo existen desarrollados otros modelos que son específicos para este tipo de transporte, entre ellos el realizado por Kamur Lalit et al ^[3], en el cual se establece que para este tipo específico de transporte consume alrededor del 32% del total de la energía de la explotación ^[4,5].

En una explotación minera donde el transporte se realiza con volquetes, el consumo de combustible por los volquetes se encuentra alrededor del 80% de todo el consumo de combustible de la explotación. Siendo el mayor consumo en los tramos ascendentes ^[6], y esto es importante tenerlo presente al realizar el trabajo de reducción de emisiones al ambiente. Pero el estudio no es solo basado en el transporte, ya que no tendría sentido realizar una optimización del proceso de transporte, si el material de la voladura no tiene una granulometría adecuada, y para obtener esto es primordial revisar el proceso de perforación y voladura.

Este trabajo se inicia estudiando la geo mecánica del macizo y en base a la información obtenida revisar si la malla de perforación utilizada es la correcta, con esta información verificar si en la voladura realizada, los bloques de material obtenido en la fragmentación están dentro de los parámetros para su transporte. Al obtener la fragmentación controlar la frecuencia de acarreo del

material. Si la malla de perforación no es la adecuada se va a revisar el diseño de tal manera que la perforación y voladura sea óptima tanto en número de barrenos y material extraído.

La extracción de materiales pétreos en las minas del sector de Calderón y Pintag, en su gran mayoría es llevada de manera anti-técnica, tanto en la parte minera, como en la parte social, ambiental y económica, a diferencia del Sector de Papallacta, si cumple con la parte técnica de extracción y transporte, pero no en todas se lleva un buen control ambiental. No considerar los aspectos técnicos en la explotación y extracción de materiales pétreos, traen una infinidad de afectaciones a la calidad de aire, calidad de vida, entre otros que en un corto tiempo desencadenará en problemas socios ambientales entre la comunidad y la actividad de las canteras. La cantera de Pifo viene trabajando por más de 10 años, siempre se ha caracterizado por el correcto desempeño de sus labores mineras, ambientales y de seguridad, en este estudio se muestra que mediante la optimización del proceso de voladura y transporte se redujo el consumo de explosivos y de combustible, haciendo más eficiente el proceso y con esto se redujo las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera.

1.2. OBJETIVO GENERAL

Disminución de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a la atmósfera, por optimización de los procesos de perforación, voladura, carga y transporte de materiales desde el frente de extracción hasta la planta de procesamiento.

1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Demostrar que la mejora en la fragmentación mediante la optimización de la malla de perforación y voladura, incide en la disminución del consumo de combustible y de las emisiones de gases de efecto invernadero al ambiente.

Optimizar el proceso de carga y transporte mediante una reducción del número de viajes de transporte de material, mediante mecanismos de mejora de la fragmentación.

1.4. DATOS GEOGRÁFICOS DE LA ZONA

El área minera A Pich-Sigsipamba adjudicado a la empresa Holcim Agregados S.A se encuentra ubicada al suroeste de la provincia del Pichincha, en la parroquia Pifo, que dista 30 km. al norte de la ciudad de Quito y a 14 km. al suroeste de la población de Sangolqui, tiene una superficie de 36 ha. Mineras, que se encuentran delimitadas por un polígono irregular de once (11) vértices, que se detallan en la tabla 1, los cuales se encuentran ubicados en las siguientes coordenadas UTM (datum PSAD56) zona geográfica 17 ^[7], en la foto 1 se muestra una imagen satelital de la cantera:



Figura N° 1: Vista satelital de la cantera de Pifo (Crespo J, 2016)

Tabla N°1: Coordenadas UTM de la zona minera

Vértice	Coordenadas	
	X (LONGITUD)	Y (LATITUD)
1	798900	9973500

2	798900	9973700
3	799000	9973700
4	799000	9973800
5	799400	9973800
6	799400	9973700
7	799700	9973700
8	799500	9973500
9	799500	9973100
10	799100	9973100
11	799100	9973500

Crespo J, 2016

La cantera está ubicada en el km 4,5 de la vía Pifo – Papallacta, la misma es de primer orden.

1.5. COMPONENTE BIÓTICO

Corresponde al patrimonio y características físicas, naturales de cualquier territorio. Es el recurso natural sobre la cual se asienta población, sitio o lugar en el cual se va desarrollar alguna actividad.

Las variables que se consideran son: relieve, geología, cobertura del suelo, suelos, factores climáticos, agua, entre los más importantes [8].

1.5.1. RELIEVE

Uno de los factores más limitantes es la topografía del sector, existen fuertes pendientes [8], existe un alto riesgo de erosión del suelo en el sector, que destinado para la agricultura. El relieve predominante en la subcuenca media es ladera suave (2000 a 2900 msnm), pero existen laderas escarpadas en las quebradas. Entre los 2600 m y 2800m cerca de la planta se encuentran tierras apropiadas para la agricultura, debido a la presencia de planicies colinadas y de pendiente regular.

1.5.2. SUELOS

Los suelos en la zona son inceptisoles, con presencia de carbono orgánico y contienen materiales amorfos, tienen un alto poder de fijación de fósforo lo que limita su capacidad de uso. Los suelos que tienen una fertilidad moderada se distribuyen en un amplio sector de la parroquia tanto en sus partes altas como en las bajas cayendo Pifo y Sigsipamba en esta última. En la actualidad se mantiene agricultura tradicional y una ganadería extensiva. Los suelos de baja fertilidad se encuentran localizadas especialmente en Belén y Palugo ^[8].

1.5.3. COBERTURA DEL SUELO

Una característica particular constituye la presencia de escenarios naturales, quebradas, páramos y áreas protegidas. De acuerdo a un estudio realizado para el plan de ordenamiento territorial de Pifo, el 31,9% de la zona de Pifo corresponde a formaciones naturales, 31,04% áreas protegidas, 27,5% pastos, 4,9% cultivos, 3,2% quebradas, 1,4% áreas urbanas y solo el 0,04% existe de presencia de áreas boscosas.

1.6. GEOLOGÍA REGIONAL

De acuerdo a la carta geológica de Sangolqui editada por IGM la zona de Pifo cuenta con las siguientes formaciones.

SEDIMENTOS CHICHI (PLEISTOCENO)

Esta formación está ubicada en el sector del río del mismo nombre, en la vía Pifo-Tumbaco, la litología de la formación está compuesta de conglomerados, arena gruesa, cenizas y tobas bien estratificadas, el espesor de esta formación hacia el sur es de 120 m y disminuye hacia el norte por el sector de Guayllabamba a 30m.

VOLCÁNICOS GUAYLLABAMBA (PLEISTOCENO)

Consiste de tobas y tobas aglomeráticas, están expuestos en el río Guayllabamba, cerca de la población del mismo nombre. Las rocas constituyentes de los aglomerados van desde mm, hasta bloques de 1 a 2 m de diámetro.

VOLCÁNICOS GUAMBI (PLEISTOCENO)

Esta formación es la que se encuentra en la cantera de Pifo, existen dos grandes coladas de andesitas contemporáneas a las deposiciones de parte de la Cangagua. Los rasgos de flujo son muy evidentes en las fotografías aéreas. En las partes centrales de las coladas cerca de la hacienda Coniburo y Mulaucu las lavas están limitadas por paredes verticales que parecen estar formadas a manera de tubo.

TERRAZAS TIPO CANGAGUA (HOLOCENO)

Debido a las erupciones del volcán Cotopaxi se generaron corrientes de lodo que fueron arrastrando enormes volúmenes de cantos rodados, bloques, arenas, gravas entre otros, de manera caótica.

DEPÓSITOS COLUVIALES (HOLOCENO)

Los depósitos coluviales se formaron por la deposición gravitacional de detritos de formaciones preexistentes, y generalmente están inmersas en una matriz limosa. El mayor depósito se encuentra ubicado entre los Ríos San Pedro y Chichi, donde existen pequeños clastos de andesitas en matriz limo arenosa.

DEPÓSITOS ALUVIALES (HOLOCENO)

Son acumulaciones de canto rodado, arenas y de bloques que son mayoritariamente ígneos no consolidados y que se observan en el fondo de algunos ríos.

FORMACIÓN CANGAGUA (CUATERNARIA)

De acuerdo a R. Hoffstetter est depósito en su mayoría es considerado de toba volcánica, y está constituido por partículas finas en su mayoría plagioclasas, hornblenda, biotitas, augitas y en algunas ocasiones por cuarzo, estos elementos son los que constituyen las Andesitas.

En la base se presentan depósitos sedimentarios que dan la apariencia de haberse formados por elementos volcánicos caídos a una laguna. Es muy característico la presencia de 2 capas de pómez de aproximadamente 2 m. de espesor cada una, y estas separadas por una capa de tobas amarillentas finas de aproximadamente 3 m. de espesor, lo cuales son denominados depósitos de nubes ardientes.

Las cangaguas son producto de período de volcanismo intenso, estos depósitos de origen volcánico y transportados por los vientos son en su gran mayoría suelos limo arenoso de grano fino a medio de color amarillento con superficies endurecidas a causa de reacciones químicas entre los elementos constitutivos y aguas meteóricas.

1.7. GEOLOGÍA LOCAL

La cantera en la actualidad comprende un área intervenida de aproximadamente 8 Has, conformando un gran Pit. De arriba hacia abajo se distingue la capa de suelo orgánico entre 40 y 50 cms de espesor, una capa de arena limosa amarillenta (ceniza volcánica), con esporádicos bloques de andesitas, tobas y escorias de espesor variable entre 1 y 3m, seguido de un depósito o flujo piro clástico compuesto de bloques estereométricos de andesitas grises a negro, algo de escoria y algunas tobas andesíticas, en una matriz arenosa. Este depósito es de espesor variable entre 5 m al costado oriental y 25 m al costado occidental. Por debajo de esta secuencia se presenta una andesita con tonalidades rosadas de textura afanítica (fina masiva), localmente alterada tectónicamente, que presenta zonas de fuerte

cizallamiento que produce un debilitamiento de su estructura. Esta tiene un contacto transicional con las andesitas grises que la subyacen.

Allí son preferencialmente masivas, de buena resistencia y buena calidad como fuente de agregados para el concreto. Las andesitas en profundidad cambian su estructura y tienen un comportamiento laminar casi fisil, esto es muy evidente debajo del nivel 2854 msnm, el espesor de esta secuencia en algunos lugares sobrepasa los 50 m. En resumen, el material corresponde a rocas volcánicas andesíticas de la Formación Guambi, las cuales se presentan en dos unidades:

Unidad Superior correspondiente a materiales brechosos débilmente cementados a sueltos, que no requieren de explosivos para su explotación. (Ver figura N°2). Unidad Inferior correspondiente a un flujo lávico de andesitas en las cuales se requiere de perforaciones y voladuras para su explotación [7].



Figura N°2: Geología de la cantera de Pifo (Crespo J, 2016)

1.8. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO ACTUAL EN PLANTA

Para obtener los materiales que son usados en la construcción, se deben pasar por varias etapas las cuales se detallan a continuación: preparación, perforación, voladura, acarreo, carguío transporte, trituración primaria, secundaria, terciaria y en algunos casos una trituración cuaternaria. A

continuación, se describirán los diversos procesos que se llevan a cabo para obtener el producto final y sus diversos impactos generados al ambiente:

1.8.1. PREPARACIÓN DE CANTERA

En la actualidad el sistema de explotación utilizado en la cantera de estudio es a cielo abierto, con un diseño de escalonamiento en espiral, los cuales benefician el transporte del material, geometría de la cantera y disposición de estéril.

1.8.2. DESTAPE

En esta fase lo que se logra es retirar toda la capa superficial que cubre el material que tiene valor económico. Aquí se elimina toda la capa vegetal, arbusto, material no atractivo, etc. Todo esto se realiza con la finalidad de dejar listo el material útil para su respectiva extracción, el cual se lo realiza mediante detonación de explosivos (voladura) y el posterior carguío por medio de excavadora. Además, en esta etapa se aprovecha para realizar la apertura de vías, las mismas que luego son utilizadas en el proceso de extracción del material o acceso a nuevas reservas. (Ver figura N°3).



Figura N°3: Ubicación espacial de la cantera y nuevas reservas para la extracción.
(Google earth 2016)

1.8.3. APROVECHAMIENTO DE LA CAPA VEGETAL

Cuando el material de la capa superficial ha sido removido, esta es transportado y colocado en una escombrera dentro de la cantera, el mismo luego es utilizado en los taludes finales de los bancos de la cantera para la reforestación del lugar, de esta manera se está reutilizando todos los recursos de la cantera. (Ver figura N°4).



Figura N°4: Colocación de capa vegetal en bancos de extracción ya clausurados en la cantera. (Crespo J, 2016)

1.8.4. PERFORACIÓN

Dentro de la explotación del yacimiento está enmarcado la perforación y voladura, esto es el primer paso para la obtención de los materiales pétreos. Esta fase es importante ya que está incluida toda la información obtenida en las fases previas y en base a esto se determina los criterios de rentabilidad del negocio. La perforación tiene como objetivo realizar unas perforaciones en el macizo con una distribución y geometría adecuada ^[9]. Existen varios sistemas de perforación de rocas y de acuerdo a su aplicación se los ha clasificado de la siguiente manera:

- **Mecánicos:** Rotación, percusión y roto-percusión.
- **Térmicos:** Soplete, fluido caliente.
- **Hidráulicos:** Chorro de agua, erosión, cavitación.
- **Sónicos:** vibración de alta frecuencia.

- **Sísmicos:** Rayo láser.
- **Nucleares:** fusión, fisión.

En minería la perforación de la roca se lo realiza por el sistema mecánico [9]. En la cantera se realiza el sistema de perforación de Roto-Percusión, para lo cual se cuenta con un perforador Atlas Copco modelo Roc D7, con martillo en cabeza hidráulico, el combustible que utiliza es diésel. Las perforaciones de acuerdo al diseño establecido en la planta tienen una profundidad de 12,90 m, y un diámetro de barreno de 3". (Ver figura N° 5).



Figura N°5: Equipo de perforación perfilando un banco en cantera (Crespo J, 2016)

1.8.5. MALLA DE PERFORACIÓN

La malla de perforación utilizada de acuerdo al estudio geotécnico realizado es cuadrada de 2,5 m de longitud cada lado, se muestra el esquema de perforación utilizado. (Ver figura N° 6).

ESQUEMA DE PERFORACIÓN

Planta: Pífo

Andesita Rosada
Nivel: 2850 m.s.n.m

Fecha:

HORA:

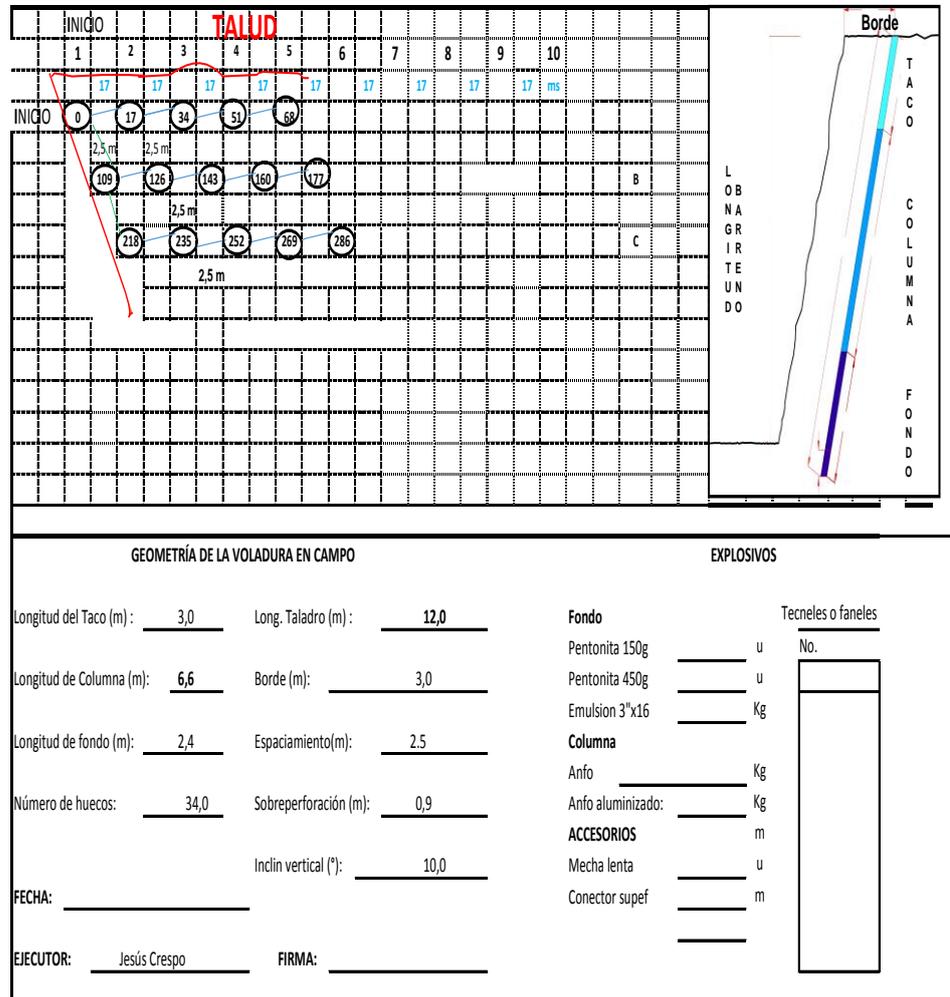


Figura N°6: Esquema de perforación utilizado en cantera (Crespo J, 2016)

1.8.6. VOLADURA

La Voladura consiste en la utilización de explosivos en cantidades suficientes y de manera adecuada para el arranque de la roca del macizo, aprovechando la acumulación de energía que liberada de manera controlada en tiempo y espacio puede fragmentar el macizo rocoso al tamaño requerido de acuerdo a la planta. Los explosivos que son utilizados generalmente en minería son de 2 grandes grupos ^[11]:

Explosivos rápidos/detonantes.- que tienen una velocidad de detonación entre 2000 y 7000 m/s, estos a su vez por su aplicación se dividen en primarios y secundarios. Los primarios son utilizados como iniciadores, en nuestro caso el primario es la pentolita de 150 gr o 450 gr, dependiendo del frente de trabajo, y el secundario los que se utilizan en la columna.

Explosivos lentos/deflagrantes.- tienen una velocidad menor a 2000 m/s a este grupo pertenecen la pólvora y los utilizados en la pirotecnia. Los explosivos utilizados en las labores de arranque en la cantera son:

- Anfo normal
- Anfo aluminizado
- Emulsen cuando existe presencia de agua
- Pentolita como iniciador.

Un factor decisivo en el trabajo de la voladura y la fragmentación de la roca es el encendido, ya que mucho depende de esto como va a salir el material. Existen 4 métodos de iniciación de la voladura se detallan la siguiente:

- Iniciación con mecha lenta
- Iniciación eléctrica
- Cordón detonante
- Sistema NONEL/FANEL

1.8.7. DISEÑO DE LA MALLA DE PERFORACIÓN Y ENCENDIDO DE VOLADURA EN PLANTA PIFO.

Para diseñar la malla de perforación a ser utilizada en la extracción del material de cantera, se deben tener en cuenta algunos parámetros importantes que son: altura del banco, diámetro de perforación, equipo

de perforación a utilizar propiedades geológicas y geomorfológicas, medio ambiente, comunidad, salud y seguridad, tomando en cuenta todos estos factores, la malla de perforación fue diseñada para cada frente, obteniéndose la siguiente matriz de datos, que se muestran en la tabla N° 2:

Tabla N°2: Matriz de datos para perforación y voladura.

DISEÑO DE PERFORACIÓN Y VOLADURA					
AGREGADOS					
PERFORACIÓN		0,0762	VOLADURA		
			FONDO	COLUMNA	
Altura de banco (m)	12	Densidad del explosivo (gr/cm ³)	1,6	Densidad del explosivo (gr/cm ³)	0,8
Inclinación vertical del barreno	10	Diametro del explosivo inicial (cm)	5,4	Diametro del explosivo (cm)	7,62
Diametro de perforación (pulgadas)	3	Diametro del explosivo sometido a la carga de columna (cm)	5,94	Concentración lineal de carga (Kg/m)	3,65
Numero de huecos	33	Concentración lineal de carga (Kg/m)	3,66	Longitud de carga de columna (m)	6,8
Densidad de la roca (gr/cm ³)	2,7	Longitud de carga de fondo (m)	3,05	Retacado (m)	3,0
Burden (m)	2,29	Carga de Fondo (Kg)	11,2	Carga de Columna (kg)	24,88
Espaciamiento (m)	2,7	Consumo específico de explosivos(Kg/Ton)	0,181	Volumen Arrancado (m ³)	73
Sobreperforación (m)	0,9	Carga de Barreno (kg)	36,0	Volumen volado (m ³)	2414
Longitud de Barreno (m)	12,9	Retardos de barreno a barreno (ms)	12	Toneladas extraídas	6519
Perforación Especifica (ml/m ³)	0,1640	Retardos entre filas (ms)	26	parámetros de entrada	parámetros calculados
Metros lineales a perforar	396,00	SUPERVISOR: FECHA:24/02/2015 HORA: 13:00			
Horas trabajadas perforadora	16,5				

Crespo J, 2016

En este diseño se toma en cuenta la altura del banco a extraer, la inclinación del talud, diámetro del barreno, el número de perforaciones a realizar y a densidad de la roca, en base a esto se calcula burden, espaciamiento de la malla, y además se calcula la cantidad de explosivos a utilizar para realizar la voladura ^[12], adicional me indica el esquema de perforación. Estos cálculos son basados en la siguiente formula:

$$B = 0,012 \left(\left(\frac{2dx}{dro} \right) + 1,5 \right) * De ; \text{ donde:}$$

B = burden o borde del talud (m)

d_x = densidad del explosivo a utilizar (g/cm^3)

d_{ro} = densidad de la roca (g/cm^3)

D_e = diámetro del explosivo (mm).

$$S = 1,4 * B ; \text{ donde:}$$

S= espaciamiento entre barrenos (m)

Todos los datos obtenidos se resumen en la figura N° 7 en el esquema de perforación para cada barreno a realizar.

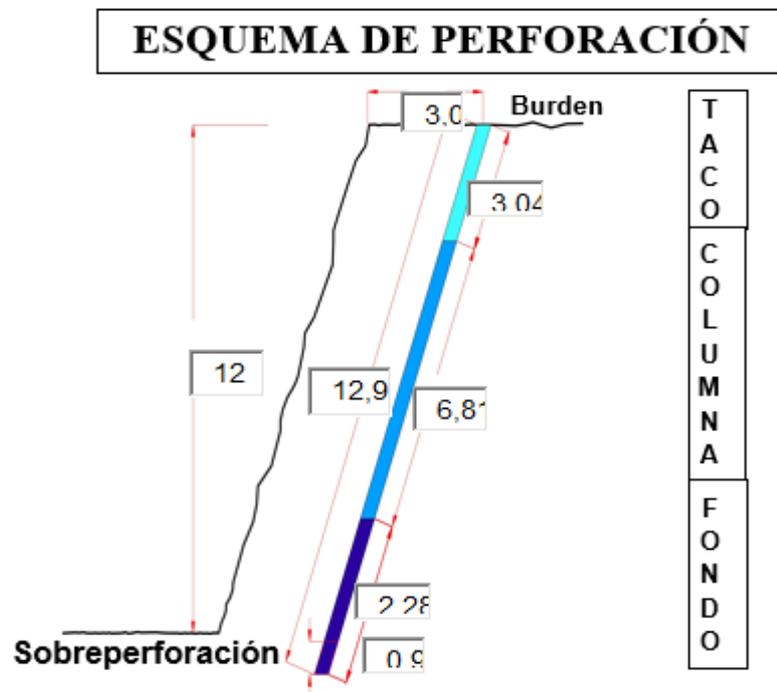


Figura N° 7: Esquema de Perforación. (Crespo J, 2016)

Ya conociendo las dimensiones de la malla de perforación y el esquema, se diseña la malla en campo y se la plasma en un diagrama en la cual se indica posición y distancia de los barrenos, el cual es difundido al operador de la perforadora, para su ejecución, la malla definitiva se muestra a continuación. (Ver figura N° 8).

ESQUEMA DE PERFORACIÓN

Planta: Pifo

Andesita Rosada

HORA: 13H30

Nivel: 2850 m.s.n.m

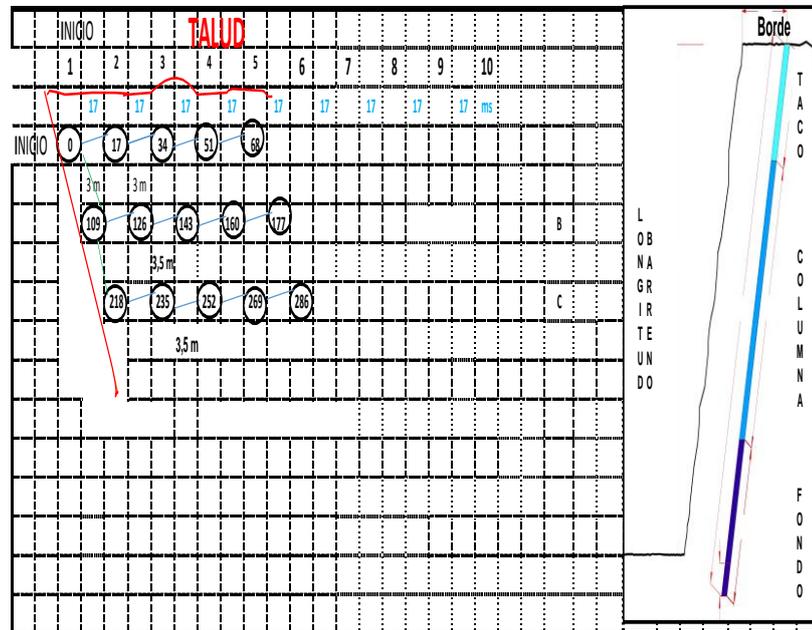


Figura N°8: Malla de perforación realizada en el frente de explotación (Crespo J, 2016)

1.8.8. CARGUÍO DEL MATERIAL.

La operación de carga se define como la de material en una determinada área de confinamiento, generalmente para ser transportada. El material que previamente fue obtenido de la voladura es recogido por un equipo móvil, para luego ser vertido en el balde de un volquete o Dumper, dependiendo de la capacidad de transporte o en algunos casos directamente en la tolva de almacenamiento. Para realizar la carga se utilizan equipos móviles:

- Excavadoras
- Palas cargadoras

Las excavadoras suelen estar montadas en orugas, lo que genera que se reduzca su capacidad de traslado, pero a la hora de realizar el carguío a

los vehículos de carga no tienen ningún problema. Además, son versátiles para realizar trabajos de zanjas, rampas y limpieza de taludes de bancos. En la cantera de Pifo la carga se la realiza con una excavadora 349D CAT, las especificaciones del equipo se muestran a continuación. (Ver figura N° 9), (Ver tabla N° 3).



Figura N° 9: Excavadora CAT 349D durante operaciones. (Crespo J, 2016)

Tabla N°3: Datos técnicos de la Excavadora CAT 349 D

EQUIPOS DE CARGA		
MARCA	CATERPILLAR	CATERPILLAR
MODELO	D9T	349D
AÑO		2012
PLACA	NA	NA
SERIE	CA T00D9TVRJS00652	CA T0349DLJGB00428
MOTOR	RHX03196, ARR. 2058603	TXF03048

Crespo J, 2016

1.8.9. ACARREO.

Se define el acarreo como el transporte del material desde el frente de extracción hasta la tolva de almacenamiento en la cual se descarga el material, este proceso es realizado por equipos de carga de gran tamaño y capacidad. Los datos fundamentales para la carga de estos vehículos son la altura y capacidad. En la cantera de Pifo los equipos

utilizados para transportar la carga desde el frente de explotación hasta la tolva de trituración se detallan en la tabla4:

Tabla N°4: Equipos utilizados para el transporte de material en cantera.

VOLQUETES				
MARCA	RENAULT	RENAULT	RENAULT	MACK
MODELO	KERAX 370 DCI 11E	KERAX 370 DCI 11E	KERAX 370 DCI 11E	GUB13E
AÑO	2006	2006	2006	2008
PLACA	GPM-445	GPM-442	GPM-446	MGB-908
SERIE	VF633DVCO6E106963	VF633DVCO6E106964	VF633DVCO6E106970	1M2AX18C09M008329
MOTOR	83M0702568	83M0702564	83M0702779	MP8924876

Crespo J, 2016

Los equipos de transporte llevan el material desde el frente de extracción hasta la planta, donde es volteado en la tolva de acumulación de la trituradora primaria como se muestran en las figuras N° 10 y 11.



Figura N°10: Transporte del material desde el frente de extracción hasta planta. (Crespo J, 2016)



Figura N°11: Descarga en tolva de acumulación de trituradora primaria. (Crespo J, 2016)

1.8.10. TRITURACIÓN.

El material extraído es llevado a un proceso de trituración para obtener el agregado que será entregado a los clientes para sus diversos aprovechamientos. Los procesos de trituración se clasifican en:

- Trituración primaria.
- Trituración Secundaria
- Trituración terciaria
- Trituración cuaternaria

En la trituración primaria, los bloques extraídos de cantera llegan con un tamaño máximo de 1m, esto de acuerdo a nuestro diseño de mallas, este material es volteado en una tolva de acumulación con una zaranda vibratoria, la cual traslada el material a la boca de la trituradora primaria, la cual es de mandíbula, que tritura y reduce la roca de 1m a 5". (Ver figura N° 12).



Figura N°12: Tolva de Acumulación y trituradora Primaria. (Crespo J, 2016)

El material que sale triturado es transportado mediante un sistema de bandas a una pila de acumulación llamada "Pila Pulmón" este material cae por gravedad formando un cono invertido. La base está asentada en

un túnel con dos bocas de alimentación que alimentan un sistema de bandas y transporta a unas zarandas y cono secundario.

En la trituración secundaria el material de la pila pulmón es reducido de tamaño por medio de un cono, desde 1,5" hasta arena triturada, este material es trasladado mediante un sistema de bandas y alimenta las zarandas de terciaria, desde el cual se clasifican los diferentes productos y se generan los stocks. (Ver figura N° 13).



Figura N°13: Planta de Trituración Secundaria. (Crespo J, 2016)

El material que tiene tamaño entre 1" y 1,5" no pasa por las zarandas de terciaria, este material se regresa para ser nuevamente triturado, pasando por un cono terciario, y reduce su tamaño hasta los límites requeridos, y así de manera continua el proceso. (Ver figura N° 14).



Figura N°14: Planta de Trituración Terciaria. (Crespo J, 2016)

CAPÍTULO 2

2. MARCO TEÓRICO

2.1. MARCO LEGAL GENERAL

2.1.1. CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR

En la Constitución de la República del Ecuador, en el primer artículo del capítulo 1 concerniente a los Principios Fundamentales, se indica que *“los recursos naturales no renovables del territorio del Estado pertenecen a su patrimonio inalienable e imprescriptible”*, con esto queda descrito que todos los recursos áridos y pétreos son pertenecientes al estado.

Dentro de la Constitución también están contemplado los derechos de la población a vivir en un ambiente sano. En base a la constitución de la República, a partir del 2010 mediante Registro Oficial las competencias de la explotación de los materiales de la construcción pasaron a los gobiernos autónomos descentralizados (GAD's), en nuestro caso al Municipio del Distrito Metropolitano de Quito.

Los Gad's municipales deben expedir ordenanzas en las que se contemplen de manera obligatoria la remediación de impactos ambientales, sociales, etc, todos estos daños que sean provocados por la actividad minera de extracción de áridos. Por este motivo el DMQ, elaboró la Ley de Régimen para el Distrito Metropolitano de Quito.

En esta ley se establece claramente la regulación del suelo y el uso adecuado del mismo. En él se propicia la prevención y control de cualquier tipo de contaminación.

2.1.2. TEXTO UNIFICADO DE LA LEGISLACIÓN AMBIENTAL SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE

El Ministerio de Ambiente con la finalidad de dirigir la Gestión Ambiental por medio de Normas y controles para asegurar el derecho de todos los ciudadanos Ecuatorianos del Ecuador a vivir en un Ambiente sano, creó y publicó el TULSMA, mediante decreto ejecutivo 3516 y publicado en el registro oficial suplemento 2 de 31 de marzo del 2003, siendo modificado el 14 de Agosto del 2012. Y en el artículo 1 establece lo siguiente ^[12]: “Art. 1.- Establécense las siguientes políticas básicas ambientales en el Ecuador:

Políticas básicas Ambientales del Ecuador.

- 1. Reconociendo que el principio fundamental que debe trascender el conjunto de políticas es el compromiso de la sociedad de promover el desarrollo hacia la sustentabilidad. La sociedad ecuatoriana deberá observar permanentemente el concepto de minimizar los riesgos e impactos negativos ambientales mientras se mantienen las oportunidades sociales y económicas del desarrollo sustentable.*
- 2. Reconociendo que el desarrollo sustentable sólo puede alcanzarse cuando sus tres elementos lo social, lo económico y lo ambiental son tratados armónica y equilibradamente en cada instante y para cada acción. Todo habitante en el Ecuador y sus instituciones y organizaciones públicas y privadas deberán realizar cada acción, en cada instante, de manera que propenda en forma simultánea a ser socialmente justa, económicamente rentable y ambientalmente sustentable.*
- 3. Reconociendo que la gestión ambiental corresponde a todos en cada instante de la vida y que nadie puede sustituir la responsabilidad de cada quien en esta gestión en su campo de actuación: Mediante la coordinación a cargo del Ministerio del Ambiente, a fin de asegurar*

la debida coherencia nacional, las entidades del sector público y del sector privado en el Ecuador, sin perjuicio de que cada una deberá atender el área específica que le corresponde, contribuirán, dentro del marco de las presentes políticas, a identificar, para cada caso, las políticas y estrategias específicas, las orientaciones y guías necesarias a fin de asegurar por parte de todos una adecuada gestión ambiental permanentemente dirigida a alcanzar el desarrollo sustentable, así como colaborarán en los aspectos necesarios para lograr que cada habitante del Ecuador adecue su conducta a este propósito.

4. *Reconociendo que el ambiente tiene que ver con todo y está presente en cada acción humana: Las consideraciones ambientales deben estar presentes, explícitamente, en todas las actividades humanas y en cada campo de actuación de las entidades públicas y privadas, particularmente como parte obligatoria e indisoluble de la toma de decisiones; por lo tanto, lo ambiental no deberá ser considerado en ningún caso como un sector independiente y separado de las consideraciones sociales, económicas, políticas, culturales y en general, de cualquier orden. Esto sin perjuicio de que, por razones puramente metodológicas, deban hacerse análisis y capacitaciones sobre llamados "temas ambientales".*
5. *Reconociendo que cada asunto relativo a la gestión ambiental tiene varios actores importantes, directamente vinculados o con particulares intereses en ellos: La gestión ambiental en el Ecuador se fundamentará básicamente en la solidaridad, la corresponsabilidad, la cooperación y la coordinación entre todos los habitantes del Ecuador, dirigidas a garantizar el desarrollo sustentable, en base al equilibrio y la armonía entre lo social, lo económico y lo ambiental. Criterios similares, guiarán al Ecuador en sus relaciones con los demás países y pueblos del mundo a fin de que las actividades que se*

lleven a cabo dentro de su jurisdicción y competencia o fuera de ella no perjudiquen a otros Estados y zonas sin jurisdicción, ni tampoco que sea perjudicado por acciones de otros. Particular mención hace a su decisión de propender a la cogestión racional y sostenible de recursos compartidos con otros países.

6. *Reconociendo que, sin perjuicio de necesarios y aconsejables complementos y sistematizaciones jurídicas e institucionales, existen suficientes leyes e instituciones en el Ecuador para realizar y mantener una adecuada gestión ambiental, pero que las leyes y regulaciones se cumplen sólo parcialmente y que muchas instituciones atraviesan por crisis en varios órdenes: Deberá efectuarse un especial esfuerzo nacional para aplicar efectiva y eficientemente las leyes y regulaciones existentes, así como para aprovechar las capacidades institucionales del país, procurando sistematizarlas y fortalecerlas. Todo esto tendiente a garantizar la adecuada gestión ambiental que el país requiere.”*

Y en numeral 17 indica lo siguiente: “17. Reconociendo que todas las actividades productivas son susceptibles de degradar y/o contaminar y que, por lo tanto, requieren de acciones enérgicas y oportunas para combatir y evitar la degradación y la contaminación, hay algunas que demandan de la especial atención nacional por los graves impactos que están causando al ambiente nacional. Sin perjuicio de propender a que todas las actividades productivas que se efectúen en territorio ecuatoriano y en las áreas marinas bajo su soberanía y control, económico se realicen combatiendo y evitando la degradación y/o la contaminación ambiental, se dará especial atención con este propósito a las siguientes:

Todas las actividades hidrocarburíferas (exploración, explotación, transporte, industrialización).

Todas las actividades mineras (particularmente respecto al oro).

Pesca.

Agroindustrias grandes en medios ecológicos delicados (Amazonía y otros).

Producción agrícola con uso indiscriminado de químicos (uso de fertilizantes, pesticidas y biocidas, en general).

Industrias generadoras de desechos peligrosos y tóxicos en las diferentes ciudades del país y en ciertos sectores rurales.

Industrias, agroindustrias y servicios generadores de gases efecto invernadero que afectan al clima y a la capa de ozono.

Sector transporte de servicio público y privado.”

Ante lo indicado por la ley, se tomaron acciones para minimizar el impacto generado por la actividad minera de agregados.

Para ayuda el Texto unificado de Legislación de Medio Ambiente desarrollo 6 libros, los cuales de detallan a continuación:

Libro 1: De la Autoridad Ambiental

Libro 2: De la Gestión Ambiental.

Libro 3: Del Régimen Forestal

Libro 4: De la Biodiversidad

Libro 5: De la Gestión de los Recursos Costeros.

Libro 6: De la Calidad Ambiental.

Siendo este último de aplicación en el presente trabajo.

2.1.3. DE LA CALIDAD AMBIENTAL

Los libros del TULSMA están compuestos por títulos y debido a esto revisaremos brevemente del libro 6 el título 4 que indica lo siguiente,

“TÍTULO IV: REGLAMENTO A LA LEY DE GESTIÓN AMBIENTAL PARA PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL

En su Art. 45 dice lo siguiente: *“Art. 45.- Principios Generales.- Toda acción relacionada a la gestión ambiental deberá planificarse y ejecutarse sobre la base de los principios de sustentabilidad, equidad, consentimiento informado previo, representatividad validada, coordinación, precaución, prevención, mitigación y remediación de impactos negativos, solidaridad, corresponsabilidad, cooperación, reciclaje y reutilización de desechos, conservación de recursos en general, minimización de desechos, uso de tecnologías más limpias, tecnologías alternativas ambientalmente responsables y respeto a las culturas y prácticas tradicionales y posesiones ancestrales. Igualmente deberán considerarse los impactos ambientales de cualquier producto, industrializados o no, durante su ciclo de vida”.*

2.2. EMISIONES AL AMBIENTE

Se conoce como emisiones a todo tipo de descargas de sustancias por actividades que realiza el hombre, dependiendo de la naturaleza del trabajo, existen emisiones de fluidos líquidos, de gases, de material particulado (polvo) y ruido. Todas las emisiones tienen un tipo de fuente en el caso de este trabajo vamos a centrarnos en las fuentes móviles y emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera.

2.2.1. FUENTES MÓVILES

Es cualquier máquina, aparato o dispositivo emisor de contaminantes a la atmósfera, al agua y al suelo que no tiene un lugar fijo. Se consideran fuentes móviles todos los vehículos como automóviles, barcos, aviones, etc ^[15].

2.2.2. EMISIONES DE FUENTES MÓVILES

Las fuentes móviles producen emisiones de gases directos de efecto invernadero (GEI) de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), y óxido nítrico, proveniente de la quema de combustibles fósiles, así como

otros varios contaminantes como el monóxido de carbono (CO), los compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano (COV), el dióxido de azufre (SO₂), los óxidos de nitrato (NO_x), y material Particulado (PM), los que contribuyen en su totalidad a la contaminación del área local o regional sea el caso ^[14].

Nos centraremos en el desarrollo de la estimación de los gases directos de efecto invernadero, en este caso CO₂. Las emisiones de GEI que proceden de la combustión de las fuentes móviles, se estiman proceden en su gran mayoría por transporte: terrestre, todo terreno, aéreo, ferrocarril, navegación marítima, pero el principal emisor de contaminantes es el transporte terrestre ^[15].

De acuerdo a las Directrices del IPCC (Intergovernmental panel climate change) de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, la categoría de fuentes móviles de transporte terrestre, incluye todos los tipos de vehículos para servicio ligero, como autos y camionetas, y los vehículos para servicio pesado, como tractores, excavadoras, autobuses y las motocicletas de la ciudad. Todos estos vehículos funcionan con diferentes tipos de combustible sean líquidos o gaseosos.

2.2.3. METODOLOGÍA DE CÁLCULOS

Las metodologías fundamentales para estimar las emisiones de gases de efecto invernadero, procedentes de los vehículos de transporte terrestre, no ha cambiado desde las directrices del IPCC de 1996 y la GPG 2000, con la excepción de que ahora los factores de emisión presuponen la oxidación completa del combustible ^[15]. Las emisiones estimadas para este tipo de transporte pueden basarse en dos tipos de datos independientes: consumible consumido o vendido y los kilómetros recorridos por el vehículo, si se tiene ambos datos disponibles es recomendable comprobar que son comparables. De

acuerdo al IPCC, “es posible estimar las emisiones a partir del combustible consumido o la distancia recorrida. En general el primer método es adecuado para el CO₂ y el segundo para el CH₄ y N₂O”.

2.2.4. ELECCIÓN DE LA METODOLOGÍA

Como se indicó en el numeral anterior la mejor manera de calcular el CO₂ es en base al tipo de combustible y su consumo ^[15]. Para determinar que metodología utilizar veremos a continuación los pasos y un árbol de decisión del CO₂ que guía a la elección del método a utilizar, los pasos se muestran en el diagrama de la figura N°16.

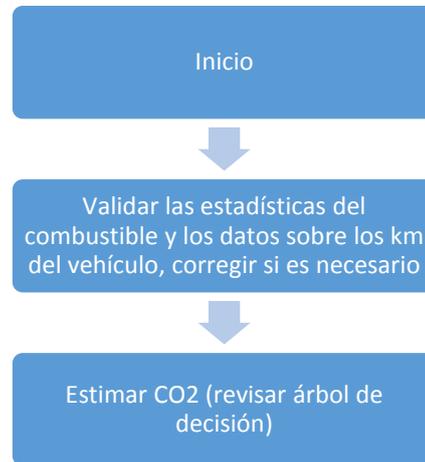


Figura N°16. Guía metodológica para estimación de CO₂

Fuente IPCC 2006

Luego que se tienen los datos se revisa el árbol de decisión, que se muestra en el diagrama de la figura N° 17.

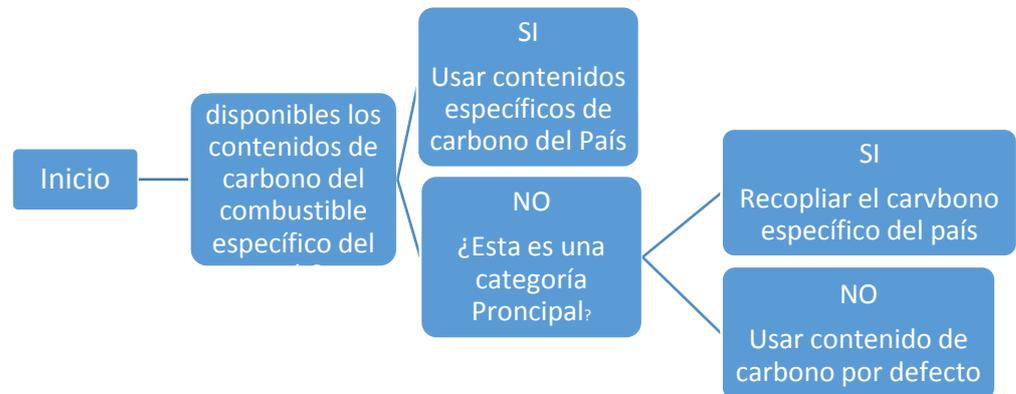


Figura N°17: Árbol de decisiones

Fuente IPCC 2006

El árbol de decisiones nos da la oportunidad de que si en algún país existe el factor de emisión por combustible utilizarlo, caso contrario utilizar el valor por defecto, los cuales se mostrarán más adelante en una tabla.

El factor de emisión de CO₂ toma en cuenta todo el carbono del combustible, incluido el que se emite en forma de CO₂, CH₄, CO, COV, y materia particulada. El segundo método es igual al primero con la excepción que se utiliza el contenido de carbono específico de cada país, para el combustible que es vendido en transporte terrestre.

2.2.5. ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN

Los factores de emisión de CO₂ por defecto suponen que se oxida el 100% del Carbono combustible en CO₂. No interesa conocer que la emisión del carbono inicialmente sea como CO₂, CO, COV o como PM. En la tabla 5 se van a mostrar los factores de emisión por defecto de

CO₂ a utilizar para transporte pesado, con sus respectivos rangos de incertidumbre de acuerdo a las directrices del IPCC de 2006 ^[15]. Estos valores son los que serán utilizados para determinar las emisiones en nuestro caso.

Tabla N°5: Factores de Emisión por defecto.

FACTORES DE EMISIÓN POR DEFECTO PARA LAS FUENTES Y MAQUINARIA MÓVILES TODO TERRENO			
Fuente todo terreno	CO ₂		
	Por defecto (kg/TJ)	Inferior	Superior
Diésel			
Agricultura	74100	72600	74800
Silvicultura	74100	72600	74800
Industria	74100	72600	74800
Hogares	74100	72600	74800

Fuente IPCC 2006.

Solo detallamos el de diésel porque en nuestro caso el combustible que utilizan los equipos de cantera es diésel, además utilizaremos los valores por defecto, porque en la actualidad no existe un factor de emisión definido en nuestro país para los diferentes tipos de combustible.

2.3. OBTENCIÓN DE LOS DATOS

Luego de que se ha determinado el método y se conocen los factores de emisión a utilizar, falta tener los datos de consumo de combustible de los equipos que están generando emisiones. Para esto se realizó un control exhaustivo mes a mes durante el año 2014 del consumo de combustible por equipos y por operación, los mismos que se los comparó con los datos obtenidos en el 2015 luego de realizar las modificaciones a todo el proceso de extracción del material. Los datos obtenidos en el 2014 se muestran en la tabla 6.

Tabla N°6: Consumo de combustible por equipos correspondiente al 2014.

EQUIPOS	MESES											
	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
Excavadora	3.051,93	3092,79	2800,63	3587,49	3289,29	2618,18	2863,79	2445,51	2640,05	3478,90	3142,60	2193,55
Perforador	385,00	725,92	617,48	420,32	433,77	556,81	735,36	563,56	395,20	559,55	769,50	494,00
Volqueta 1	464,38	359,38	231,22	445,41	401,60	320,68	613,58	489,81	233,70	327,75	368,60	249,85
Volqueta 2	433,42	233,01	245,56	0,00	126,11	0,00	564,29	306,46	243,20	329,65	70,30	157,70
Volqueta 3	234,77	231,22	93,20	426,59	427,57	461,51	213,35	332,80	147,25	307,80	346,75	235,60
Tractor	678,24	601,35	634,51	1657,07	0,00	322,09	1328,26	1491,77	565,25	1127,65	1540,90	1422,15
TOTAL (GAL)	5.247,74	5.243,67	4.622,60	6.536,88	4.678,34	4.279,27	6.318,63	5.629,91	4.224,65	6.131,30	6.238,65	4.752,85
producción (TON)	46.524,00	46.867,00	45.496,00	50.327,00	54.648,00	46.878,00	63.587,00	55.881,00	36.107,00	62.507,42	63.847,00	46.137,00
TASA DE PRODUCCIÓN (GAL/TON)	0,11279641	0,11188405	0,10160454	0,12988813	0,08560862	0,09128525	0,09936984	0,100748197	0,11700363	0,09808915	0,0977125	0,10301602

Crespo J, 2016

Los datos obtenidos en el 2015 se muestran en la tabla N°7.

Tabla N° 7: Consumo de combustible por equipos correspondiente al 2015

EQUIPOS	MESES											
	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
Excavadora	2.972,55	1266,35	2143,20	2422,50	1369,90	2661,90	3244,25	3110,80	2922,20	2480,45	3211,00	2988,70
Perforador	371,45	204,25	261,25	469,30	442,70	564,30	539,60	200,00	595,65	358,15	496,85	515,85
Volqueta 1	320,15	87,40	106,40	208,05	285,95	233,70	310,65	685,40	361,95	66,50	267,90	187,15
Volqueta 2	92,15	0,00	188,10	152,95	183,35	209,00	349,60	149,20	81,70	266,00	303,05	217,55
Volqueta 3	459,80	0,00	178,60	280,25	138,70	216,60	239,40	389,75	303,05	363,85	339,15	298,30
Tractor	0,00	0,00	0,00	610,85	955,70	1385,10	865,45	209,00	171,00	380,00	467,40	970,90
TOTAL (GAL)	4.216,10	1.558,00	2.877,55	4.143,90	3.376,30	5.270,60	5.548,95	4.744,15	4.435,55	3.914,95	5.085,35	5.178,45
producción (Ton)	50.479,00	21.927,00	22.321,00	39.764,00	36.798,00	46.460,50	57.947,00	54.624,00	63.250,00	62.770,00	41.545,00	45.358,00
TASA DE PRODUCCIÓN (GAL/TON)	0,08352186	0,07105395	0,12891672	0,10421235	0,09175227	0,1134426	0,09575906	0,086851018	0,07012727	0,06236976	0,12240583	0,11416839

Crespo J, 2016

En las tablas se muestran todos los equipos de cantera que están involucrados en el proceso de extracción.

2.4. ESTUDIOS ANTERIORES

En minería se han realizado varios estudios para mejorar los procesos de extracción, producción, tratamiento de aguas residuales, optimización del

transporte ^[11], métodos de extracción, etc. Pero con respecto a la disminución de Gases de Efecto Invernadero (GEI) no se han realizado estudios, en general solo ha sido contemplado la optimización de procesos, pero sin tomar en cuenta las demás variables que implica este concepto, este trabajo está basado en disminuir las emisiones de GEI mejorando el proceso de extracción del agregado.

Se han realizado estudios en el país en los últimos años de optimización de perforación y voladura en minería a cielo abierto, en los cuales se han revisado y calculado los parámetros que intervienen en la perforación, Burden, espaciamiento, retacado, y sobre perforación, que son los principales factores que influyen en la voladura y óptima fragmentación de la roca.

En el 2015 se realizaron trabajos para optimización de la voladura en una cantera de caliza para cemento ^[25], en este se determina la manera de calcular y obtener los parámetros de perforación, adicional se trata las características de los explosivos a ser utilizados, pero no se enfoca en la fragmentación del macizo rocoso, un tema importante para las siguientes partes del proceso de obtención de material.

También existen en la actualidad métodos computarizados para calcular los parámetros de perforación y modelar la malla de perforación y voladura ser utilizada en los bancos de extracción, todo basado en la optimización de las explotaciones mineras tanto a cielo abierto como subterránea.

En la actualidad es una herramienta que ayuda y permite a las empresas mineras aumentar la vida útil de sus operaciones e incrementar las reservas probadas del material. Adicional se conoce que la operación de perforación y voladura afectan directamente los costos de la operación y los costos operativos totales ^[26], para poder lograr la optimización es necesario evaluar y analizar cada una de las operaciones por separado.

De igual manera existen estudios en lo concerniente a la mejora u optimización del transporte de material en minería. En el sector de la minería es uno de las que más se puede trabajar en la optimización de los procesos, y entre ellos el del transporte, y que es en muchas ocasiones el menos estudiado y más despreciado, pero es uno de los más influye en el costo final de los productos ^[27].

En el 2010 en Ecuador el Ministerio de Ambiente del Ecuador y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo Global, dentro del proyecto “Fortalecimiento de la Capacidad Nacional para Evaluar y Desarrollar opciones de Políticas sobre Cambio Climático que sirvan de Sustento para las Negociaciones sobre el Plan de Acción de Bali” ^[28], se enfocaron en el sector del transporte, la importancia que tienen en el cambio climático.

Dentro del estudio se caracterizó el transporte en el país, se dieron propuestas de mitigación, etc. En el 2004 la Secretaría de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC), estimó que el transporte había generado aproximadamente 5,8 GTON de CO₂ a nivel global, un 14% de todas las emisiones de GEI en el planeta.

En Ecuador el transporte se solventa en su totalidad por medio de vehículos en carreteras, calles, etc, y ha crecido de manera muy significativa en los últimos años. Según el MTOP en 1990 existían un total de 320.000 vehículos matriculados, en 1998 existían 590.000 y en el 2008 aproximadamente 990.000, casi un 70% más que hace 10 años.

Pero el mayor crecimiento ha sido en los vehículos destinados al transporte de personas en comparación a los vehículos destinados para el transporte de carga. Este aumento de la flota generó que el consumo de combustible fósil aumente de una forma desmesurada, y por consiguiente las emisiones de GEI a la atmósfera, trayendo los problemas ya conocidos en la actualidad.

CAPÍTULO 3

3. EL PROBLEMA

3.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Todo lo que se puede denominar fuentes móviles (Transporte) producen emisiones de gases de efecto invernadero, tales como CO₂, NO_x, Compuestos orgánicos volátiles, PM, SO₂ como las más importantes. En este capítulo nos vamos a centrar en determinar e identificar la causa raíz del problema y las fuentes que las emiten en los diferentes procesos. Es necesario iniciar indicando que dentro de las normativas ambientales está el control de las emisiones de gases contaminantes al ambiente, en la actividad minera pocas son las instituciones que tratan de minimizar el impacto generado por sus actividades. Los principales impactos que se tienen identificados son: Impacto visual, contaminación del aire por material articulado y emisiones, vibraciones, impacto por ruido y contaminación del agua por efluentes, estos en mayor medida en la minería de metálicos.

El problema de las emisiones también está afectando las operaciones de la cantera de agregados de Pifo, es decir el consumo de combustible en las diferentes etapas de producción no ha sido controlado y tampoco han sido cuantificados las GEI, emitidos por esta actividad, debido a esto el estudio está centrado en determinar la contaminación por emisiones al ambiente, producto de la extracción, transporte y producción de agregados pétreos para ser aprovechados en la construcción, adicional al ser una zona seca durante el verano el material particulado es una agente importante de contaminación, pero este problema específico no es tratado en este estudio.

Para poder determinar la causa raíz del problema y sus fuentes por la actividad minera, es necesario analizar cada proceso para obtener los agregados y luego

de haber determinado la fuentes de contaminación poder cuantificar la cantidad de gases de efecto invernadero que se han emitido a la atmósfera.

Para esto es necesario como se indicó en el capítulo anterior identificar los procesos para la obtención del agregado, los cuales son:

- Perforación y voladura
- Acarreo
- Carga
- Transporte

Cada uno de estos procesos genera una contaminación y va a ser determinada en base al diagrama de trabajo que se muestra en la tabla 8.

Tabla N° 8: Tipos de contaminantes generados

PROCESOS	EQUIPO A UTILIZAR	FUENTE DE ENERGÍA	CONTAMINANTES GENERADOS	TIPOS DE CONTAMINANTES
PERFORACIÓN Y VOLADURA	PERFORADORA	DIESEL	GASES Y LÍQUIDOS	RUIDO, VIBRACIÓN, EMISIONES DE GEI Y ACEITES
CARGA	TRACTOR Y EXCAVADORA	DIESEL	GASES Y LÍQUIDOS	RUIDO, VIBRACIÓN, EMISIONES DE GEI Y ACEITES
TRANSPORTE	VOLQUETES	DIESEL	GASES Y LÍQUIDOS	RUIDO, VIBRACIÓN, EMISIONES DE GEI Y ACEITES
TRITURACIÓN PRIMARIA	TRITURADOR DE MANDÍBULA	ELÉCTRICA	NO GENERA	MATERIAL PARTICULADO
TRITURACIÓN SECUNDARIA	TRITURADOR CÓNICO	ELÉCTRICA	NO GENERA	MATERIAL PARTICULADO
TRITURACIÓN TERCIARIA	TRITURADOR CÓNICO	ELÉCTRICA	NO GENERA	MATERIAL PARTICULADO
DESPACHO	PALA CARGADORA	DIESEL	GASES Y LÍQUIDOS	EMISIONES DE GEI Y ACEITES

Crespo J, 2016

Como se puede observar los diferentes procesos para la obtención del agregado generan contaminantes, los principales determinados son emisiones

de gases de efecto de invernadero y aceites, estos últimos son entregados a gestores ambientales para su posterior deposición o eliminación, pero el primero no se puede entregar y siempre va a estar ocasionando problemas. Ya identificado el principal problema, la única manera de minimizar el daño es disminuyendo o eliminando totalmente las emisiones de GEI hacia la atmósfera, pero para esto es necesario primero determinar la causa raíz del evento y luego de esto cuantificar cuanto se está emitiendo y en base a esto diseñar un modelo que ayude a mitigar esta afectación.

3.2 IDENTIFICACIÓN DE FUENTES CONTAMINANTES

Como se determinó en el numeral anterior, las emisiones son el problema principal a mitigar, pero es necesario identificar en que parte del proceso se están generando, en que cantidad y luego como mitigar. Ya se tiene identificado los procesos para la extracción del material que son: Perforación, voladura, carga y transporte.

3.2.1 PERFORACIÓN Y VOLADURA

En el proceso de perforación y voladura el único equipo que interviene es el perforador. El mismo que realiza las barrenaciones en el frente de trabajo, que luego son cargados con sustancia explosiva, para su posterior detonación y fragmentación. Este equipo es mecánico y utiliza combustible fósil para su funcionamiento, como no existe otro equipo o maquinaria para esta labor, entonces se puede determinar a este como principal fuente de contaminación, ya que al consumir combustible, este debe convertirse en energía mecánica para realizar el trabajo, y para esto debe existir una combustión interna, que genera gases que son emitidos a la atmósfera.

Llevando un control de consumo de combustible durante el 2014 para el proceso de perforación y voladura, se obtuvo los datos que se muestran en la tabla N° 9.

Tabla N°9: Consumo de combustible de perforadora durante 2014

CONSUMO PERFORADORA			
MESES	Metros perforados	tasa de consumo (gal/m)	consumo de diesel (gal)
Enero	2.050,000	0,247	506,901
Febrero	2.528,000	0,247	625,095
Marzo	2.383,000	0,247	589,241
Abril	444,000	0,247	109,787
Mayo	2.118,000	0,247	523,715
Junio	2.433,000	0,247	601,604
Julio	1.537,000	0,247	380,052
Agosto	3.212,000	0,247	794,227
Septiembre	919,000	0,247	227,240
Octubre	2.857,000	0,247	706,446
Noviembre	3.756,000	0,247	928,741
Diciembre	2.683,000	0,247	663,422
TOTAL	26.920,00	0,247	6.656,47

Crespo J, 2016

Como se observa durante el 2014 se consumieron 6,656.47 galones de diésel durante el proceso de perforación y voladura, y se barrenaron 26.920 m es decir se obtuvo una tasa de 0,24 gal/m barrenado, pero existe un problema por la malla de perforación que se utiliza, se tiene un sobre tamaño del 10% aproximadamente. Durante el 2014 esos 26,920 m extrajeron 611, 027.37 ton. Pero el 10% de ese material fue de sobre tamaño (bloques mayores a 1 m de diámetro), entonces en realidad se aprovecharon 549,924.63 ton. de material, para tener una tasa de producción de 0,012 gal/ton extraída.

3.2.2 CARGUÍO DEL MATERIAL

Al tener un material no muy homogéneo luego de la explotación, el primer equipo en entrar al frente a realizar trabajos es el bulldozer, con la excavadora, con la finalidad de separar los bloques y trasladar el material de sobre tamaño a la escombrera, como se puede leer los equipos que están en esta actividad son 2 y de igual manera que en la perforación, estos equipos son mecánicos y utilizan combustible fósil para su funcionamiento, entonces se puede determinar a estos equipos como principales fuentes de contaminación, como consumen

combustible este debe convertirse en energía mecánica para realizar el trabajo, y para esto debe existir una combustión interna, que genera gases que son emitidos a la atmósfera, para efecto de nuestro cálculo se asumirá que todo el combustible se consume y los gases emitidos son CO₂.

También se llevó un control del consumo de diésel durante el 2014 para estas actividades, los datos se muestran en la tabla N°10.

Tabla N°10: Consumo de combustible proceso de carguío 2014

DATOS PARA PROCESO DE CARGUÍO						
Meses	Material extraído (ton)	EXCAVADORA		TRACTOR		TOTAL
		tasa de consumo (gal/ton)	consumo de diesel (gal)	tasa de consumo tractor (gal/ton)	consumo de diesel (gal)	Consumo de diesel carguío (gal)
Enero	46.961,42	0,06	2705,71	0,02	873,80	3579,51
Febrero	41.313,75	0,06	2380,32	0,02	768,72	3149,03
Marzo	45.964,02	0,06	2648,24	0,02	855,24	3503,49
Abril	48.984,53	0,06	2822,27	0,02	911,44	3733,72
Mayo	47.897,11	0,06	2759,62	0,02	891,21	3650,83
Junio	52.751,95	0,06	3039,34	0,02	981,54	4020,88
Julio	71.195,62	0,06	4101,98	0,02	1324,72	5426,70
Agosto	53.724,55	0,06	3095,37	0,02	999,64	4095,01
Septiembre	42.210,55	0,06	2431,99	0,02	785,40	3217,39
Octubre	58.377,99	0,06	3363,48	0,02	1086,23	4449,71
Noviembre	66.855,88	0,06	3851,94	0,02	1243,97	5095,91
Diciembre	34.790,00	0,06	2004,45	0,02	647,33	2651,78
TOTAL	611.027,37	0,0576156	35204,71	0,0186068	11369,24	46573,95

Crespo J, 2016

El consumo de combustible durante el 2014 fue de 46.573,95 galones para una extracción de 611.027,37 ton, es decir se tuvo una tasa de 0,076 gal/ton, pero en realidad el 90% solo fue aprovechado para la producción entonces la tasa real es de 0,085 gal/ton. de material extraído.

3.2.3 TRANSPORTE

En el proceso de transporte del material se utilizan volquetes de 22 ton. de capacidad, estas sirven para llevar el material desde el frente de explotación hasta la tolva de acumulación de la trituradora primaria,

entonces se puede definir que esta es la única fuente de contaminación, también son equipos mecánicos y utilizan combustible fósil para su funcionamiento, como consumen combustible este debe convertirse en energía mecánica para realizar el trabajo, y para esto debe existir una combustión interna, que genera gases que son emitidos a la atmósfera, de igual manera para efecto de nuestro cálculo se asumirá que todo el combustible se consume y los gases emitidos son CO₂. Con el control realizado durante el 2014 los datos de consumo de combustible se muestran en la tabla N°11.

Tabla N°11: Consumo de combustible en transporte durante el 2014

CONSUMO DE COMBUSTIBLE TRANSPORTE			
Meses	Material extraído (ton)	tasa de consumo (gal/ton)	Consumo de diesel (gal)
Enero	46.961,42	0,01746905	820,37
Febrero	41.313,75	0,01746905	721,71
Marzo	45.964,02	0,01746905	802,95
Abril	48.984,53	0,01746905	855,71
Mayo	47.897,11	0,01746905	836,72
Junio	52.751,95	0,01746905	921,53
Julio	71.195,62	0,01746905	1243,72
Agosto	53.724,55	0,01746905	938,52
Septiembre	42.210,55	0,01746905	737,38
Octubre	58.377,99	0,01746905	1019,81
Noviembre	66.855,88	0,01746905	1167,91
Diciembre	34.790,00	0,01746905	607,75
TOTAL	611.027,37	0,0174691	10674,07

Crespo J, 2016

Durante el 2014 se consumieron 10.674,07 gal. de diésel para transportar 611.027,37 ton de material, dando una tasa de 0,018 gal/ton, pero en realidad solo fueron transportados 549.924,633 ton, entonces la tasa real fue de 0,019 gal/ton.

En la figura N°18 se muestra como fue el comportamiento durante el 2014 en el consumo de combustible.

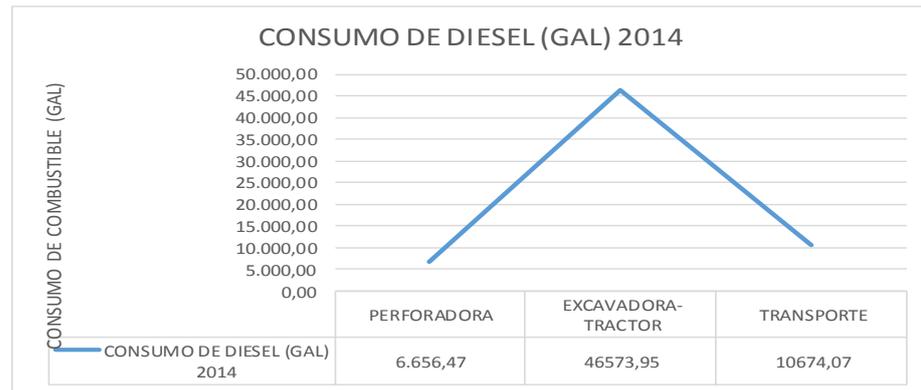


Figura N° 18: Consumo de combustible por equipos 2014. (Crespo J, 2016)

Como se puede observar el mayor consumo de combustible se debe al carguío ya que en gran parte el material debe ser cargado a los volquetes y el 10% del material que no va al proceso debe ser arrastrado por el tractor hasta la escombrera, este trabajo hace que el consumo de combustible sea alto.

3.3 DETERMINACIÓN DE LA CAUSA RAÍZ DEL PROBLEMA

Como se pudo observar el mayor problema que se tiene es el de las emisiones, pero este factor se lo puede mitigar, entonces tenemos que definir cuál es la causa raíz que generan estas emisiones, para esto utilizaremos una técnica para revisar todos los involucrados en el proceso, tanto personas, ambiente, equipos y procesos, determinaremos quien provoca ciertas emisiones, en la figura N° 19, observaremos el diagrama donde detalla el análisis de causa raíz utilizada.

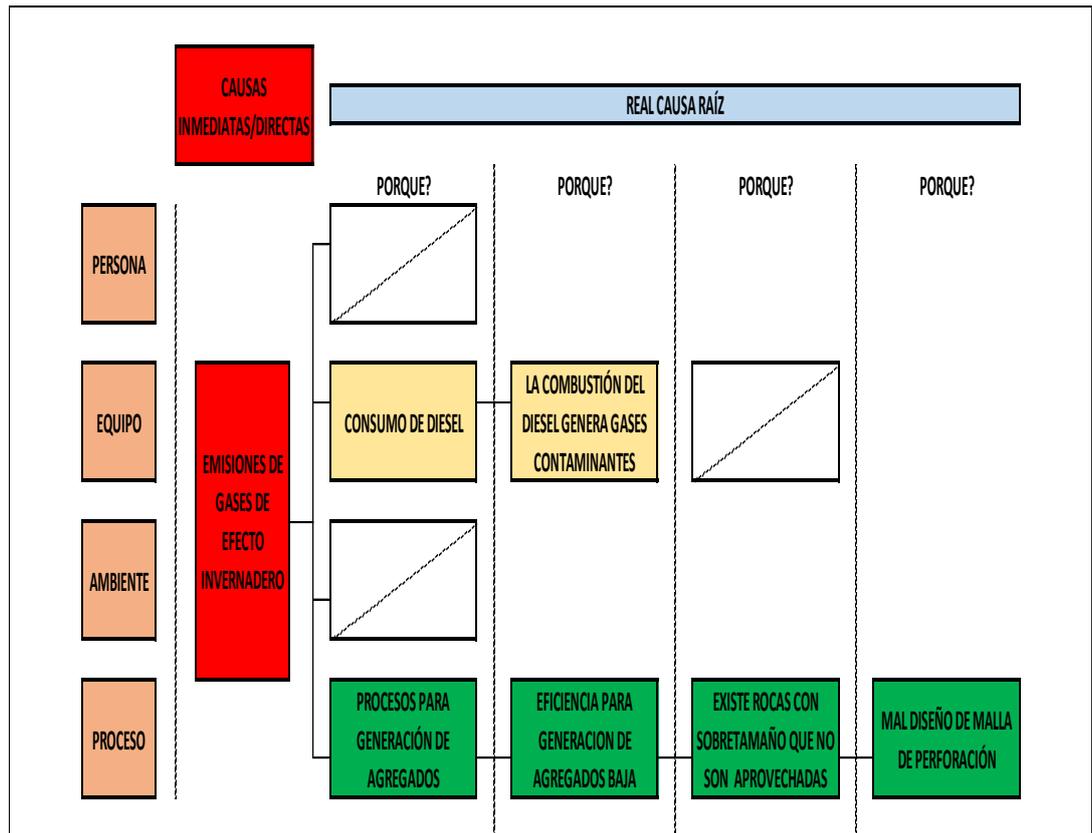


Figura N° 19: Análisis de Causa raíz (Crespo J, 2016)

De acuerdo al gráfico de análisis de causa raíz utilizado, podemos observar que los equipos si generan emisiones de GEI, por la combustión, pero este en realidad es un proceso básico de funcionamiento, pero de manera definitiva se puede identificar que la causa del problema es la poca eficiencia del proceso de perforación y voladura.

El problema surge en gran medida por el sobre tamaño de la roca obtenido luego del proceso de voladura, esto es producto del mal diseño de la malla de perforación que se está llevando a cabo, entonces de acuerdo al diagrama de causa raíz podemos concluir que la influencia directa de las emisiones de efecto invernadero se deben al mal diseño de la malla de perforación.

Al tener poca eficiencia en la voladura obteniéndose bloques de sobretamaño, provoca que el proceso de transporte y carguío sea más largo y hace que se consuma más combustible para poder producir el material requerido, esto a la vez se transforma en gases que se están generando y emitiendo a la atmósfera.

Ya determinada la causa raíz del problema podemos concluir que el proyecto va a estar enfocado en la mejora del diseño de la malla de perforación, para aprovechar en su totalidad el material que es extraído del macizo y disminuir el sobre tamaño que se tiene al momento, esto provocará que no exista material de desperdicio, los equipos y personal trabajen menos horas, lo que produce menor consumo de combustible.

CAPÍTULO 4

4. METODOLOGÍA DESARROLLADA

Cabe indicar que en el capítulo anterior se determinó la causa raíz del problema, desde luego en la metodología se verificará cual será la óptima a utilizar, para esto se va a desarrollar un diagrama, en el que se detallará los pasos a seguir para obtener un mejor resultado.

4.1 PROCESOS DE METODOLOGÍA A DESARROLLAR.

En la figura N° 20 se muestra el diagrama de la metodología que se llevará a cabo para desarrollar el proyecto y al final poder recopilar información y desde luego la verificación de un mejor proceso en la actividad de la cantera.

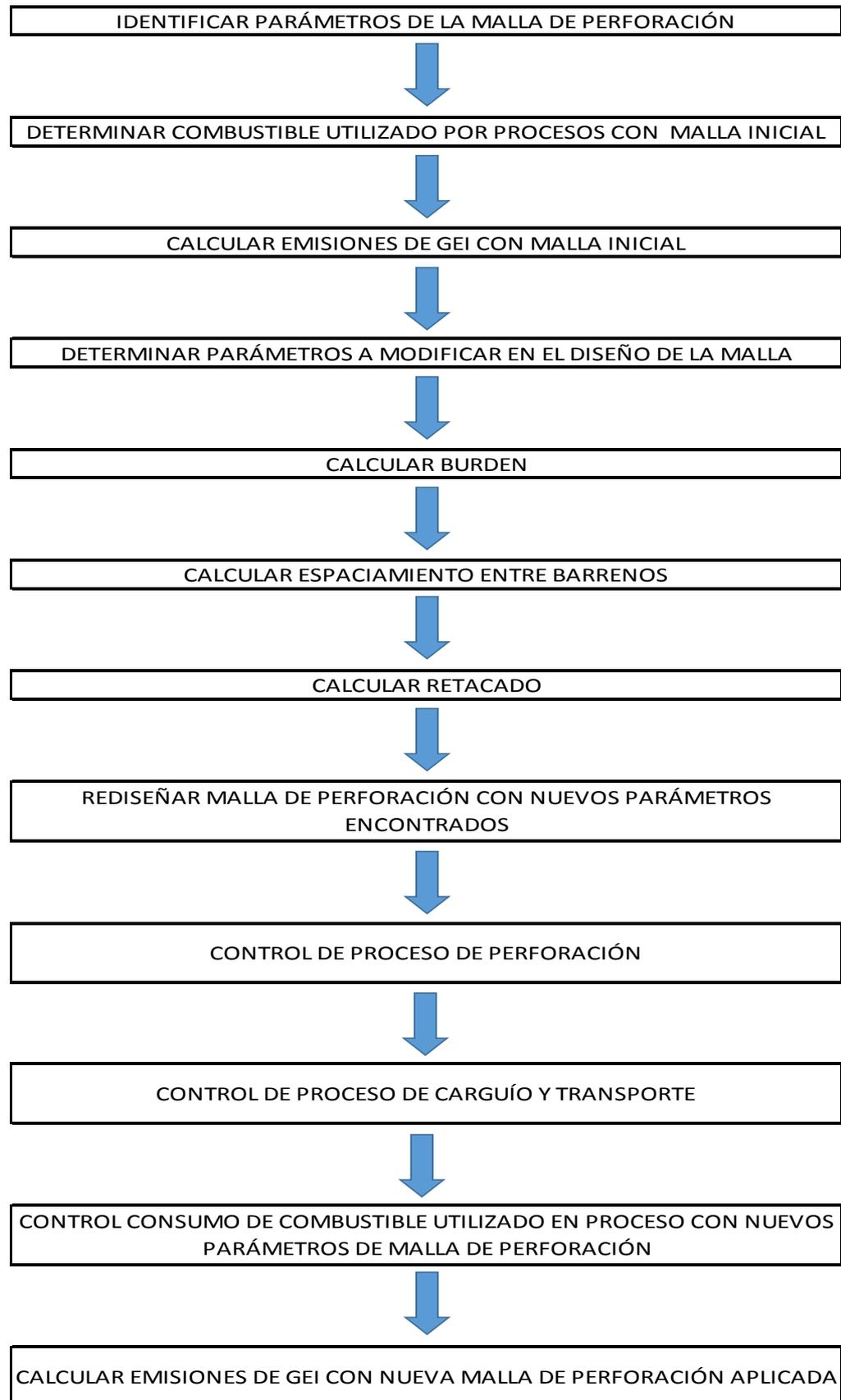


Figura N° 20. Diagrama de Metodología de trabajo para desarrollo de proyecto (Crespo J, 2016)

4.2 PARÁMETROS UTILIZADOS EN MALLA DE PERFORACIÓN

Los parámetros a tener en cuenta dentro de una malla de perforación son:

- Borde o Burden.
- Espaciamiento
- Longitud de perforación
- Sobreperforación.

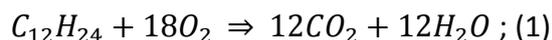
4.3 CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN PROCESO DE PRODUCCIÓN CON MALLA ESTÁNDAR

Un dato importante para poder determinar la cantidad de GEI emitidos a la atmósfera, durante los procesos es el consumo de combustible, en nuestro caso el consumo de diésel realizado durante el 2014, para esto se tomaron los datos por mes para cada proceso que estaba involucrado el consumo de combustible.

4.4 ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO A LA ATMÓSFERA

Las estimaciones de las emisiones de GEI, se van a realizar por 2 métodos. En el primer caso se va tomar en cuenta el principio de conservación de la materia, en el cual se presupone que todo el carbono de los combustibles fósiles (diésel en nuestro caso) pasará al ambiente como dióxido de Carbono (CO₂), y que la combustión es completa ^[16].

Como el combustible utilizado es diésel, la reacción a utilizar es la se muestra en la ecuación 1:



De acuerdo con las suposiciones mencionadas, se puede realizar una estimación propia de las emisiones CO₂ por la quema de los combustibles fósiles. Este valor obtenido será contrastado con el valor obtenido en el segundo método. El segundo método consiste en determinar las emisiones por

el combustible consumido, y el kilometraje recorrido, el primero es el mejor para determinar el CO₂ y el segundo para el N₂O. La mejor manera para determinar las emisiones de CO₂, según la “2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programmees” es por la cantidad y combustible consumido. De acuerdo a esto se calcula las emisiones de CO₂ multiplicando el combustible estimado consumido con un factor de emisión de CO₂ por defecto, la ecuación (2) es la siguiente:

$$emisión = \sum_a combustible_a * EF_a ; (2)$$

Donde:

Emisión = emisiones de CO₂ (kg)

Combustible_a = combustible consumido (ton)

EF_a = factor de emisión (kg/ton)

a = tipo de combustible.

El factor de emisión de CO₂ toma en cuenta todo el carbono del combustible, incluido el que se emite en forma de CO₂, CH₄, CO, COVDM y PM ^[17, 19].

4.5 CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS QUE SERÁN UTILIZADOS EN NUEVA MALLA DE PERFORACIÓN

Para determinar los nuevos valores de los parámetros a ser utilizados en la nueva malla de perforación, se van a revisar las metodologías de cálculo Sueca, de Konya y de la Resistencia de la Compresión. Ya obtenido los nuevos valores para cada parámetro, se procederá a diseñar la nueva malla de perforación.

4.6 DISEÑO DE NUEVA MALLA DE PERFORACIÓN

Luego de haber calculado y validado los datos de los parámetros de perforación, se procede a crear una matriz donde están involucrados todos los parámetros y se diseña la malla de perforación para cada frente de trabajo que se tiene en la cantera.

4.7 CONTROL DEL PROCESO DE PERFORACIÓN, CARGUÍO Y TRANSPORTE DE MATERIAL UTILIZANDO NUEVO DISEÑO DE MALLA DE PERFORACIÓN

Luego de haber diseñado la malla de perforación con los nuevos parámetros, se va a realizar un control exhaustivo en campo de los procesos de perforación, carguío y transporte de material, con la finalidad de verificar si al cambiar el proceso de perforación se obtuvo algún beneficio en los siguientes proceso, ya que se tiene identificado que la causa raíz del problema de emisiones de GEI es la malla de perforación.

4.8 CONTROL DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN PROCESO DE PRODUCCIÓN CON NUEVA MALLA DE PERFORACIÓN.

De igual manera que se realizó con la malla estándar, se procede recolectar los datos durante todo el 2015 mes a mes en cada uno de los procesos, y en base a estos datos poder determinar en qué parte del proceso se genera la reducción de consumo de combustible.

Al mejorar la malla de perforación el número de las barrenaciones en los frentes disminuye, lo que se traduce en menos horas de uso de la perforadora, por lo tanto menos consumo de combustible y se reduce las emisiones por el proceso de perforación.

Al obtener una mejor fracturación del macizo y bloques de tamaño menores a 1 metro, el proceso de carguío será más rápido y el cucharón de carga de la excavadora ocupará su capacidad de carga nominal, esto se traduce en menos horas de trabajo de la excavadora, menos consumo de combustible.

Al aumentar la capacidad de carga el transporte de igual manera disminuirá, provocando menor consumo de combustible.

4.9 ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE GEI A LA ATMÓSFERA CON NUEVA MALLA DE PERFORACIÓN

El cálculo para la estimación de las emisiones se la realizará por los 2 métodos anteriormente descritos, conociendo los nuevos valores obtenidos por consumo de combustible, y finalmente se compararán los datos del 2014 con el 2015.

Con los datos de consumo de combustible de los 2 años en comparación, en los procesos de perforación, carguío y transporte, se determina las emisiones y se realiza un cuadro comparativo por proceso y se determina si existió disminución de las emisiones al mejorar la malla de perforación.

CAPÍTULO 5

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 GASES DE EFECTO INVERNADERO GENERADOS EN EL 2014.

Luego que se ha determinado las fuentes de contaminación y la causa raíz del problema, es necesario determinar la cantidad de contaminantes que se están generando en los procesos, como se indicó en el capítulo anterior, existen 2 maneras de determinar las emisiones de gases de efecto invernadero, los cuales se van a calcular para todos los procesos donde es utilizado combustible fósil.

5.2 ESTIMACIÓN DE LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO EN PROCESO DE PERFORACIÓN Y VOLADURA

Como ya se ha identificado la fuente de contaminación en los diferentes procesos vamos a cuantificar la cantidad de combustible que se ha estado utilizando, y con esto determinar la cantidad de contaminantes emitidos. Para poder determinar los contaminantes se controló durante todo el 2014 el consumo de combustible de los equipos y la tasa de producción por mes. En el proceso de perforación durante el año 2014, se estaba llevando a cabo el control de la voladura con la matriz diseñada de manera única para todos los frentes, es decir era la misma malla para cada voladura, la cual estaba diseñada de la siguiente manera, (ver tabla N° 12)

Tabla N°12: Parámetros de perforación malla estándar 2014

DISEÑO DE PERFORACIÓN Y VOLADURA						
AGREGADOS						
PERFORACIÓN			VOLADURA			
			FONDO		COLUMNA	
Altura de banco (m)	12		Densidad del explosivo (gr/cm ³)	1,6	Densidad del explosivo (gr/cm ³)	0,8
Inclinación vertical del barreno	10		Diametro del explosivo inicial (cm)	5,4	Diametro del explosivo (cm)	7,62
Diametro de perforación (pulgadas)	3	0,0762	Diametro del explosivo sometido a la carga de columna (cm)	5,94	Concentración lineal de carga (Kg/m)	3,65
Numero de huecos	33		Concentración lineal de carga (Kg/m)	3,66	Longitud de carga de columna (m)	6,8
Densidad de la roca (gr/cm ³)	2,7		Longitud de carga de fondo (m)	3,05	Retacado (m)	3,0
			Carga de Fondo (Kg)	11,2	Carga de Columna (kg)	24,88
Burden (m)	2,29					
Espaciamiento (m)	2,7		Consumo específico de explosivos(Kg/Ton)	0,181	Volumen Arrancado (m ³)	73
Sobreperforación (m)	0,9		Carga de Barreno (kg)	36,0	Volumen volado (m ³)	2414
Longitud de Barreno (m)	12,9		Retardos de barreno a barreno (ms)	12	Toneladas extraídas	6519
Perforación Especifica (ml/m ³)	0,1640		Retardos entre filas (ms)	26	parámetros de entrada	parámetros calculados
Metros lineales a perforar	396,00					
Horas trabajadas perforadora	16,5		SUPERVISOR:		FECHA:24/02/2014	HORA: 13:00

Crespo J, 2016

Con este diseño la malla de perforación a utilizar era cuadrada, con una separación de 2,7 m entre perforaciones y además un burden de 2,5 m en promedio.

Como se indicó anteriormente el consumo de combustible al año fue de 6656 galones de diésel por el proceso de perforación, con este dato podemos calcular la cantidad de material contaminante que fue emitido al ambiente, y se lo va a determinar de las 2 maneras, los resultados obtenidos se compararán entre ellos.

5.2.1 GASES DE EFECTO INVERNADERO DETERMINADOS POR MÉTODO ESTEQUIOMETRICO.

Conociendo la cantidad de combustible consumido procederemos a calcular los gases emitidos como CO₂, de acuerdo a la ecuación 1:



De acuerdo a los criterios anteriormente descritos, se asume que todo el combustible se combustiona y se transforma en CO₂ que es emitido al ambiente ^[18].

$$emisión\ CO_2(ton) = \frac{Cantidad\ de\ Combustible\ Consumido\ (ton) * 12 * Peso\ molecular\ CO_2}{Peso\ molecular\ Diesel}$$

Los valores que se obtuvieron por estequiometria se muestran en la tabla N° 13.

Tabla N°13: Emisiones de GEI por estequiometria proceso de perforación

CÁLCULO DE EMISIONES DE CO2 AL AMBIENTE POR PERFORACIÓN	
Densidad del diesel (kg/m3)	850,00
Volumen de diesel consumido (m3)	25,20
Consumo de combustible (Ton)	21,42
Peso Molecular CO2	44,00
Peso Molecular Diesel	168,00
Emisión de CO2 (ton)	67,31

Crespo J, 2016

5.2.2 GASES DE EFECTO INVERNADERO DETERMINADO POR MÉTODO DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE.

Ahora se procederá a calcular las emisiones por Consumo de combustible, la ecuación es la siguiente:

$$emisión = \sum_a combustible_a * EF_a$$

De acuerdo a la EPA el factor de emisión para equipos pesados en la construcción es de 74100 (Kg/TJ) ^[18]. Con este valor y conociendo la

capacidad calorífica del diésel se calcula las emisiones de CO₂ al ambiente, y se muestran en la tabla N°14.

Tabla N° 14: Emisiones de GEI por consumo de combustible proceso de perforación

CÁLCULO DE EMISIONES DE CO₂ AL AMBIENTE 2DO MÉTODO	
Poder calorífico diesel (MJ/ton)	43000
Combustible consumido (TJ)	0,92
Factor de emisión (Kg/TJ)	74100
Emisiones CO₂ (ton)	68,24

Crespo J, 2016

Los valores obtenidos por los 2 métodos se muestran a continuación en la tabla N° 15:

Tabla N°15. Cuadro comparativo entre los 2 métodos proceso perforación

EQUIPO	CONSUMO DE COMBUSTIBLE (GAL/AÑO)	CÁLCULO DE EMISIONES AL AÑO (TON) POR BALANCEO	CÁLCULO DE EMISIONES AL AÑO (TON) POR CONSUMO DE COMBUSTIBLE	VARIACIÓN (%)
PERFORADOR	6656,47	67,31	68,24	99%

Crespo J, 2016

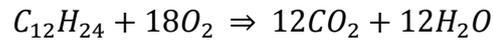
Como se puede observar los valores obtenidos son muy cercanos teniéndose una diferencia del 1%. En total el año 2014 se emitió al ambiente 68,24 ton. De CO₂ al ambiente por el proceso de voladura.

5.3 ESTIMACIÓN DE LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO EN PROCESO DE CARGUÍO

Al utilizar la malla de perforación ya establecida, se observaba que existía un 10% de material de sobre tamaño producto de la voladura, el cual no era aprovechado y tenía que ser movido a la zona de escombros por el tractor, lo que generaba un consumo de combustible alto por el movimiento de carga.

5.3.1 GASES DE EFECTO INVERNADERO DETERMINADOS POR MÉTODO ESTEQUIOMETRICO.

Conociendo la cantidad de combustible consumido procederemos a calcular los gases emitidos como CO₂, de acuerdo a la ecuación:



De acuerdo a los criterios anteriormente descritos, se asume que todo el combustible se combustiona y se transforma en CO₂ que es emitido al ambiente.

$$emisión\ CO_2(ton) = \frac{Cantidad\ de\ Combustible\ Consumido\ (ton) * 12 * Peso\ molecular\ CO_2}{Peso\ molecular\ Diesel}$$

Los valores que se obtuvieron por estequiometria se muestran en la tabla N° 16.

Tabla N°16: Emisiones de GEI por estequiometria proceso de carguío

CÁLCULO DE EMISIONES DE CO2 AL AMBIENTE POR CARGUÍO	
Densidad del diesel (kg/m3)	850,00
Volumen de diesel consumido (m3)	176,30
Consumo de combustible (Ton)	149,86
Peso Molecular CO2	44,00
Peso Molecular Diesel	168,00
Emisión de CO2 (ton)	470,98

Crespo J, 2016

5.3.2 GASES DE EFECTO INVERNADERO DETERMINADOS POR MÉTODO DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE.

Ahora se procederá a calcular las emisiones por Consumo de combustible, la ecuación es la siguiente:

$$emisión = \sum_a combustible_a * EF_a$$

Los datos obtenidos se muestran en la tabla N° 17.

Tabla N°17: Emisiones de GEI por consumo de combustible proceso de carguío

CÁLCULO DE EMISIONES DE CO2 AL AMBIENTE 2DO MÉTODO	
Poder calorífico diesel (MJ/ton)	43000
Combustible consumido (TJ)	6,44
Factor de emisión (Kg/TJ)	74100
Emisiones CO2 (ton)	477,49

Crespo J, 2016

Los valores obtenidos por los 2 métodos se muestran en la tabla N°18:

Tabla N°18: Cuadro comparativo entre los 2 métodos proceso de carguío

EQUIPO	CONSUMO DE COMBUSTIBLE (GAL/AÑO)	CÁLCULO DE EMISIONES AL AÑO (TON) POR BALANCEO	CALCULO DE EMISIONES AL AÑO (TON) POR CONSUMO DE COMBUSTIBLE	VARIACIÓN (%)
EXCAVADORA-TRACTOR	46573,95	470,98	477,49	99%

Crespo J, 2016

De igual manera la diferencia es del 1%. El año 2014 se emitió al ambiente 477,49 ton. De CO2 al ambiente por el proceso de carguío.

5.4 ESTIMACIÓN DE LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO EN PROCESO DE TRANSPORTE

El transporte de material desde el frente de extracción hasta la planta es realizado mediante volquetes, se tiene 4 volquetes en planta, pero solo son 2 las que se usan de manera continua, esto debido a la pérdida de tiempo por carguío que se da por el sobretamaño de los bloques luego de la voladura. Los bloques grandes producto de la voladura en primer lugar son separados y luego que se han eliminado todos, se procede a cargar el material a los volquetes.

5.4.1 GASES DE EFECTO INVERNADERO DETERMINADOS POR MÉTODO ESTEQUIOMÉTRICO.

Siguiendo la misma metodología se procede a determinar la cantidad de contaminantes de acuerdo a la estequiometria.

Los valores que se obtuvieron se muestran en la tabla N°19.

Tabla N° 19: Emisiones de GEI por estequiometria proceso de transporte

CÁLCULO DE EMISIONES DE CO2 AL AMBIENTE POR TRANSPORTE	
Densidad del diesel (kg/m3)	850,00
Volumen de diesel consumido (m3)	40,41
Consumo de combustible (Ton)	34,34
Peso Molecular CO2	44,00
Peso Molecular Diesel	168,00
Emisión de CO2 (ton)	107,94

Crespo J, 2016

5.4.2 GASES DE EFECTO INVERNADERO DETERMINADOS POR CONSUMO DE COMBUSTIBLE.

De igual manera se procederá a calcular las emisiones por Consumo de combustible, los datos obtenidos se muestran en la tabla N°20.

Tabla N°20: Emisiones de GEI por consumo de combustible proceso de transporte

CÁLCULO DE EMISIONES DE CO2 AL AMBIENTE 2DO MÉTODO	
Poder calorífico diesel (MJ/ton)	43000
Combustible consumido (TJ)	1,48
Factor de emisión (Kg/TJ)	74100
Emisiones CO2 (ton)	109,43

Crespo J, 2016

Los valores obtenidos por los métodos se muestran en la tabla N°21:

Tabla N°21: Cuadro comparativo entre los 2 métodos proceso de transporte

EQUIPO	CONSUMO DE COMBUSTIBLE (GAL/AÑO)	CÁLCULO DE EMISIONES AL AÑO (TON) POR BALANCEO	CÁLCULO DE EMISIONES AL AÑO (TON) POR CONSUMO DE COMBUSTIBLE	VARIACIÓN (%)
TRANSPORTE	10674,07	107,94	109,43	99%

Crespo J, 2016

Al total el año 2014 se emitió al ambiente 109,43 ton. De CO2 al ambiente por el proceso de carguío.

5.5 RESUMEN DE CONTAMINANTES EMITIDOS POR LOS PROCESOS

Luego de haber determinado las emisiones por proceso, los datos se muestran en la tabla N°22.

Tabla N°22: Resumen de GEI por proceso durante 2014.

EQUIPO	CONSUMO DE COMBUSTIBLE (GAL/AÑO)	CALCULO DE EMISIONES AL AÑO (TON) POR BALANCEO	CALCULO DE EMISIONES AL AÑO (TON) POR CONSUMO DE COMBUSTIBLE	VARIACIÓN (%)
PERFORADOR	6656,47	67,31	68,24	99%
EXCAVADORA-TRACTOR	46573,95	470,98	477,49	99%
TRANSPORTE	10674,07	107,94	109,43	99%
TOTAL	63904,49	646,23	655,16	99%

Crespo J, 2016

De acuerdo a los resultados obtenidos, por cada tonelada de material extraído de la cantera, se está emitiendo 1,1 kg de CO2 al ambiente.

5.6 NUEVOS DISEÑOS DE MALLAS DE PERFORACIÓN

Como se identificó en el capítulo anterior, el problema raíz es el mal diseño de la malla de perforación que se estaba llevando a cabo para el arranque de la roca de la cantera, ya conociendo el problema se procedió a diseñar las mallas de acuerdo a la zona que se iba a extraer. La cantera presenta 3 características en su macizo que son muy marcadas una coloración rojiza en su parte

superficial cuya potencia bordea desde los 12 m hasta los 20 m y la textura es maciza, le sigue un color gris cuya potencia es de 26 m a 48 m de textura laminar en forma de “laja”, y dentro de esta capa en forma intercalada una textura maciza, en general estas 3 clases corresponden la misma roca Andesita. Por este motivo las mallas de perforación para extraer el macizo se la diferencio para cada parte y frente.

5.6.1 CÁLCULO DE PARÁMETROS PARA NUEVA MALLA DE PERFORACIÓN

El nuevo diseño de la malla toma en consideración en que zona de la cantera nos encontramos y en base a eso se determinan los diferentes parámetros a tener en cuenta al momento de barrenar, como se muestra en la figura N° 21 [12].

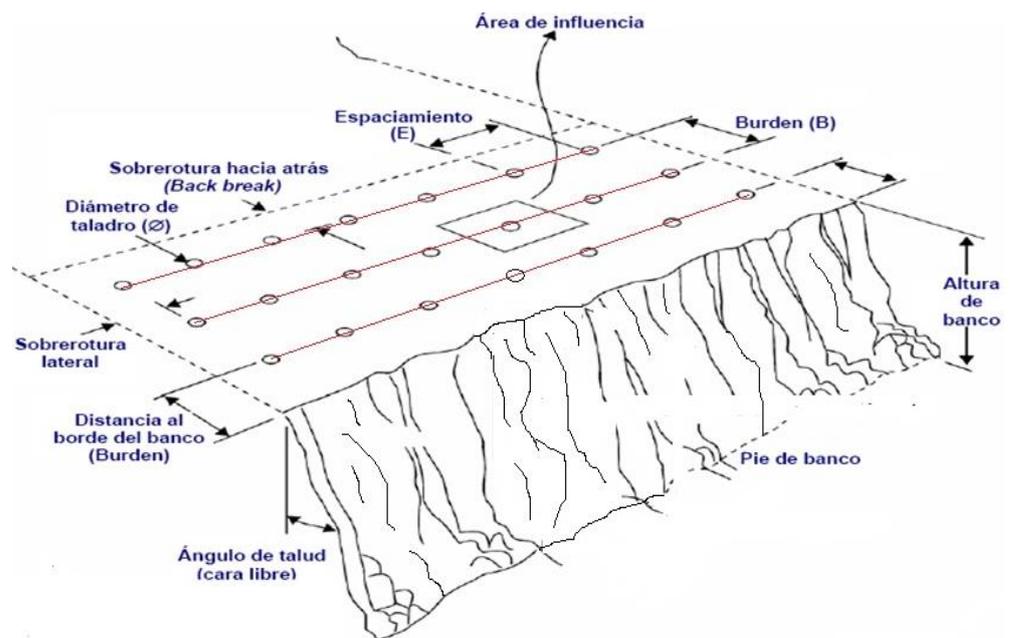


Figura N° 21: Parámetros a determinar en una malla de perforación (Centro Tecnológico de Voladura EXSA S.A 2009)

De acuerdo a la definición de teoría de explosivos, el área de influencia de una perforación ya cargada con explosivo es de 1 m de radio, es decir que si lo vemos en forma tridimensional un barreno al momento de explotar expulsa el contenido de un cilindro de 1 m de radio de material.

Teniendo en cuenta esta premisa y los parámetros a calcular para obtener la nueva malla de perforación son:

- Borde o Burden.
- Espaciamiento
- Longitud de perforación
- Sobre-perforación.

5.6.1.1 CÁLCULO DEL BURDEN

Existen muchas metodologías para calcular los diferentes parámetros de la perforación, pero Atlas Copco diseñadora de perforadoras, en base a sus prácticas ha desarrollado una tabla de relaciones de campo para determinar las variables de diseño en base a la dureza de la roca, dichas relaciones se muestran en la tabla N° 23.

Tabla N° 23: Relaciones de campo para determinar los parámetros de perforación.

VARIABLES DE DISEÑO	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE Mpa			
	BLANDA < 70	MEDIA 70 - 120	DURA 120 - 180	MUY DURA >180
BURDEN	39 D	37 D	35 D	33 D
ESPACIAMIENTO	51 D	47 D	43 D	38 D
RETACADO	35 D	34 D	32 D	30 D
SOBREPERFORACIÓN	10 D	11 D	12 D	12 D

Crespo J, 2016

Donde D es el diámetro del barreno.

De acuerdo a esta tabla la cual ha sido validada en campo, el burden para nuestro caso debería ser calculado para roca muy dura, pero como se explicó anteriormente, en el mismo macizo se presentan varias características, el material Andesita rosada se comporta como material de resistencia media, mientras Andesita lajosa gris como material de resistencia blanda y macizo gris se comporta como material de resistencia dura. Pero no solo

existe esta manera de acuerdo a a Konya ^[12] el burden se calcula de acuerdo a la ecuación 3, como se muestra.

$$B = 0,012 * \left(\left(\frac{2dx}{dro} \right) + 1,5 \right) * De \quad (3)$$

Donde:

B = burden (m).

Dx = densidad del explosivo a utilizar

Dro= densidad de la roca

De= diámetro del explosivo, que en nuestro caso es diámetro del barreno en pulg.

Otra técnica denominada sueca ^[12] indica que el burden se calcula de acuerdo a la ecuación 4 como se detalla a continuación.

$$B = 45 * De \quad (4)$$

Donde:

B = Burden (m)

De = diámetro del barreno (m).

A continuación, se calcula el valor del burden por los diferentes métodos, los valores obtenidos se muestran en la tabla N° 24.

Tabla N° 24: Valores de burden obtenidos por los diferentes métodos

Material	Diámetro del barreno (")	Densidad del explosivo (g/cm3)	Densidad de la roca (g/cm3)	Burden (m)		
				Método Sueco	Método Konya	Método Resistencia a la compresión
Rosado	3	0,86	2,7	3,43	1,95	2,82
Gris Laja	3	0,86	2,7	3,43	1,95	2,97
Gris Macizo	3	0,86	2,7	3,43	1,95	2,67

Crespo J, 2016

El explosivo a utilizar en todos los casos es Anfo Aluminizado, como se observa los valores dependiendo del método varían, por esto es necesario determinar la distribución de la energía al momento de realizar la voladura y así poder seleccionar el método a utilizar para calcular el burden y el espaciado entre barrenos.

5.6.1.2 CÁLCULO DEL ESPACIAMIENTO ENTRE BARRENOS

Luego que se ha determinado la distancia del burden, se debe determinar el espaciamiento que se debe tener entre barrenos, de igual manera existen varios métodos para poder encontrarlo. Según Konya el espaciamiento depende de la iniciación de la voladura a utilizar y la altura de los bancos, como se muestra en la tabla N° 25.

Tabla N°25: Espaciamiento entre barrenos según Konya

ESPACIAMIENTO	INICIACIÓN RETARDADA Y BANCOS ALTOS	INICIACION INSTANTANEA Y BANCOS BAJOS	INICIACION INSTANTANEA Y BANCOS ALTOS	INICIACION RETARDADA Y BANCOS BAJOS
		$1,4 * B$	$(L+2B) / 3$	$2 * B$

Crespo J, 2016

Se puede observar que el espaciamiento está claramente ligado al Burden. Según la técnica sueca el espaciamiento no depende del tipo de iniciación a utilizar ni del tipo de banco como se muestra en la ecuación 5.

$$S = 1,25 * B \quad (5)$$

Donde B es el burden.

De igual manera se puede obtener debido a la resistencia a la compresión, la relación para calcular el espaciamiento se muestra en la tabla N° 26.

Tabla N° 26: Espaciamiento según la resistencia a la compresión de la roca

ESPACIAMIENTO	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE (MPa)			
	ROCA BLANDA < 70	ROCA MEDIA (70 - 120)	ROCA DURA (120 - 180)	ROCA MUY DURA > 180
	51 * D	47 * D	43 * D	38 * D

Crespo J, 2016

Donde D es el diámetro del barreno. Conociendo las tres maneras más comunes de determinar el espaciamento y ya teniendo el valor del burden, procedemos a calcular el espaciamento de las 3 maneras, los valores se muestran en la tabla N° 27.

Tabla N° 27: Resumen espaciamento entre barrenos

Material	Diámetro del barreno (")	METODO SUECO		KONYA		RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE	
		BURDEN (m)	ESPACIAMIENTO (m)	BURDEN (m)	ESPACIAMIENTO (m)	BURDEN (m)	ESPACIAMIENTO (m)
Rosado	3	3,43	4,29	1,95	2,74	2,82	3,58
Gris Laja	3	3,43	4,29	1,95	2,74	2,97	3,89
Gris Macizo	3	3,43	4,29	1,95	2,74	2,67	3,28

Crespo J, 2016

Como podemos observar el espaciamento varía en las tres maneras de obtenerlo. Para poder determinar cual debemos utilizar, se debe conocer cuál es la disposición que deben tener los barrenos en la malla, y existen dos patrones para disponerlos, patrón cuadrado y tres bolillos ^[20], se muestra la disposición en la figura N° 22.

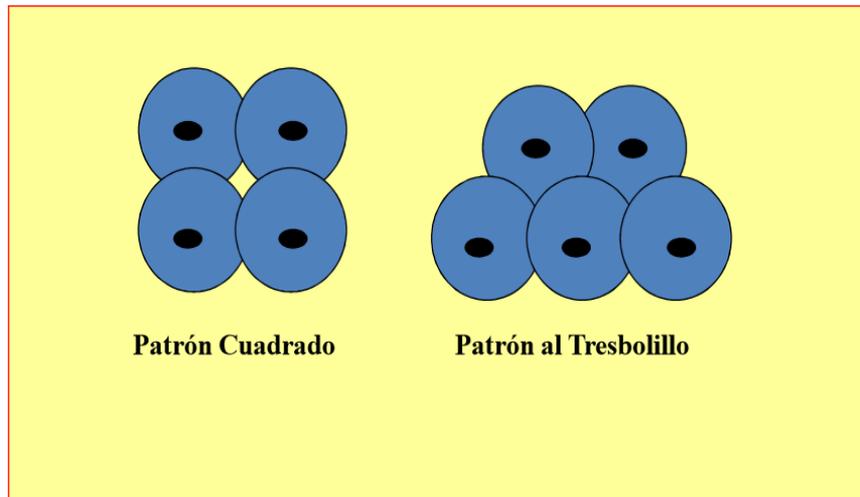


Figura N° 22: Disposición entre Barrenos (Crespo J, 2016)

El patrón a utilizar depende en gran medida del factor de fragmentación del explosivo en la roca. Como se indicó anteriormente por definición se conoce que el poder rompedor del explosivo es de 1 m alrededor del barreno.

Siguiendo esta definición si realizamos la malla de perforación cuadrada o tres bolillos de acuerdo a la técnica sueca, en la cual no diferencia tipo de roca, se van a obtener roca de sobre tamaño en la primera fila al momento de realizar la voladura, por este motivo queda descartado.

Si realizamos la malla de perforación siguiendo lo que indica Konya, si es una disposición cuadrada, al momento que ocurre el rompimiento de la roca el bloque central que queda en cada cuadro tendrá un diámetro de 1,87 m, los cuales no van a poder ser aprovechados ya que la abertura de la mandíbula como se indica en capítulos anteriores, acepta bloques de máximo un metro.

Si se utiliza tres bolillos en cambio hay demasiada energía para romper los bloques, ósea más consumo de explosivos. Si se

diseña la malla de acuerdo a la resistencia de la roca, se observa de acuerdo a los cálculos que la malla depende del lugar que vayamos a barrenar, esto es importante porque podemos controlar el explosivo a utilizar, también se puede determinar que si se utiliza la malla cuadrada, el bloque central al momento de realizar la voladura va a tener 3,5 m algo que no se puede aprovechar, pero si se utiliza tres bolillos, se van a tener bloques de roca entre 0,9 m y 1m, es decir todo el material de la voladura puede ser aprovechado para la producción.

Además, un punto importante que con la técnica de la resistencia a la compresión además de disminuir el consumo de explosivos, se disminuye el número de barrenos a perforar, lo que se transforma en menos consumo de combustible por el uso de la perforadora.

Con este nuevo diseño de malla y disposición de los barrenos la roca está mejor fragmentada, y es aprovechada en un 98%, lo que indica que los volquetes van cargados a su capacidad nominal, lo que también se transforma en menos viajes, lo que se traduce en menos consumo de combustible por volquetes y para culminar no hay material que deba ser trasladado a la escombrera por la forma irregular de los bloques, lo que implica menos uso de excavadora y tractor.

5.6.1.3 CÁLCULO DE LA SOBUPERFORACIÓN

De igual manera para sobre-perforación se va a utilizar los tres métodos descritos, los valores para sobre-perforación obtenidos por los cálculos se muestran a continuación en la tabla N° 28.

Tabla N° 28: Valores calculados para la sobre-perforación.

Material	Diámetro del barreno (")	METODO SUECO			KONYA			RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE		
		BURDEN (m)	ESPACIAMIENTO (m)	SOBREPERFORACION (m)	BURDEN (m)	ESPACIAMIENTO (m)	SOBREPERFORACION (m)	BURDEN (m)	ESPACIAMIENTO (m)	SOBREPERFORACION (m)
Rosado	3	3,43	4,29	1,0	1,95	2,74	0,59	2,82	3,58	0,84
Gris Laja	3	3,43	4,29	1,0	1,95	2,74	0,59	2,97	3,89	0,76
Gris Macizo	3	3,43	4,29	1,0	1,95	2,74	0,59	2,67	3,28	0,91

Crespo J, 2016

La sobre perforación es muy importante ya que evita que queden “patas” en el banco luego de la perforación y voladura, por la experiencia adquirida en el terreno, el valor que se acerca es el obtenido por la resistencia.

5.6.1.4 CÁLCULO DEL RETACADO

Para el retacado de igual manera se lo calcula mediante los 3 métodos descritos, los valores se muestran en la tabla N° 29.

Tabla N° 29: Valores calculado para el retacado.

Material	Diámetro del barreno (")	METODO SUECO				KONYA				RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE			
		BURDEN (m)	ESPACIAMIENTO (m)	SOBREPERFORACION (m)	RETACADO (m)	BURDEN (m)	ESPACIAMIENTO (m)	SOBREPERFORACION (m)	RETACADO (m)	BURDEN (m)	ESPACIAMIENTO (m)	SOBREPERFORACION (m)	RETACADO (m)
Rosado	3	3,43	4,29	1,03	3,43	1,95	2,74	0,59	1,37	2,82	3,58	0,84	2,59
Gris Laja	3	3,43	4,29	1,03	3,43	1,95	2,74	0,59	1,37	2,97	3,89	0,76	2,67
Gris Macizo	3	3,43	4,29	1,03	3,43	1,95	2,74	0,59	1,37	2,67	3,28	0,91	2,44

Crespo J, 2016

Ya conociendo las dimensiones de burden, espaciamento, sobre-perforación, retacado a utilizar y dependiendo del patrón a seguir, se procede a diseñar la nueva malla de perforación.

5.6.2 DISEÑO DE LA NUEVA MALLA DE PERFORACIÓN

Ya se definió que el patrón a utilizar en la malla de perforación es 3 bolillos y conociendo ya los valores de los parámetros, se procede a

diseñar la nueva malla de perforación. En la tabla N° 32, se muestra la nueva malla para la Andesita de coloración rosada.

DISEÑO DE PERFORACIÓN Y VOLADURA					
MATERIAL ROSADO					
AGREGADOS					
PERFORACIÓN		0.0762	VOLADURA		
			FONDO	COLUMNA	
Altura de banco (m)	12	Densidad del explosivo (gr/cm ³)	1,6	Densidad del explosivo (gr/cm ³)	0,8
Inclinación vertical del barreno	10	Diametro del explosivo inicial (cm)	5,4	Diametro del explosivo (cm)	7,62
Diametro de perforación (pulgadas)	3	Diametro del explosivo sometido a la carga de columna (cm)	5,94	Concentración lineal de carga (Kg/m)	3,65
Numero de huecos	40	Concentración lineal de carga (Kg/m)	3,66	Longitud de carga de columna (m)	7,7
Densidad de la roca (gr/cm ³)	2,7	Longitud de carga de fondo (m)	2,59	Retacado (m)	2,6
Burden (m)	2,82	Carga de Fondo (Kg)	9,5	Carga de Columna (kg)	27,93
Espaciamiento (m)	3,6	Consumo especifico de explosivos(Kg/Ton)	0,114	Volumen Arrancado (m ³)	121
Sobreperforación (m)	0,8	Carga de Barreno (kg)	37,4	Volumen volado (m ³)	4847
Longitud de Barreno (m)	12,8	Retardos de barreno a barreno (ms)	16	Toneladas extraidas	13086
Perforación Especifica (ml/m ³)	0,0990	Retardos entre filas (ms)	32	parámetros de entrada	parámetros calculados
Metros lineales a perforar	480,00	SUPERVISOR:		FECHA:24/02/2015	HORA: 13:00
Horas trabajadas perforadora	20				

ESQUEMA DE PERFORACIÓN

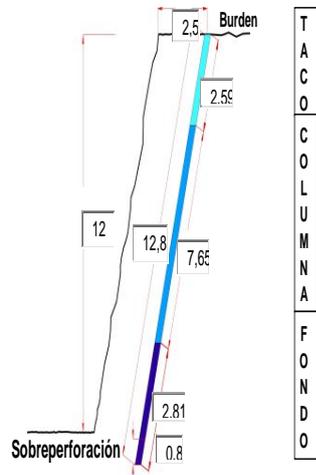


Figura N° 23: Nuevo diseño de malla de perforación para Andesita Rosada (Crespo J, 2016)

Con la Andesita rosada la malla de perforación a utilizar contiene los siguientes parámetros que se detallan en la tabla N° 30.

Tabla N° 30: Parámetros de malla de perforación Andesita rosada.

Material	Diámetro del barreno (")	BURDEN (m)	ESPACIAMIENTO (m)	SOBREPERFORACION (m)	RETACADO (m)
Rosado	3	2,82	3,58	0,84	2,59

Crespo J, 2016

El diagrama de perforación se muestra a continuación en la figura N° 24.

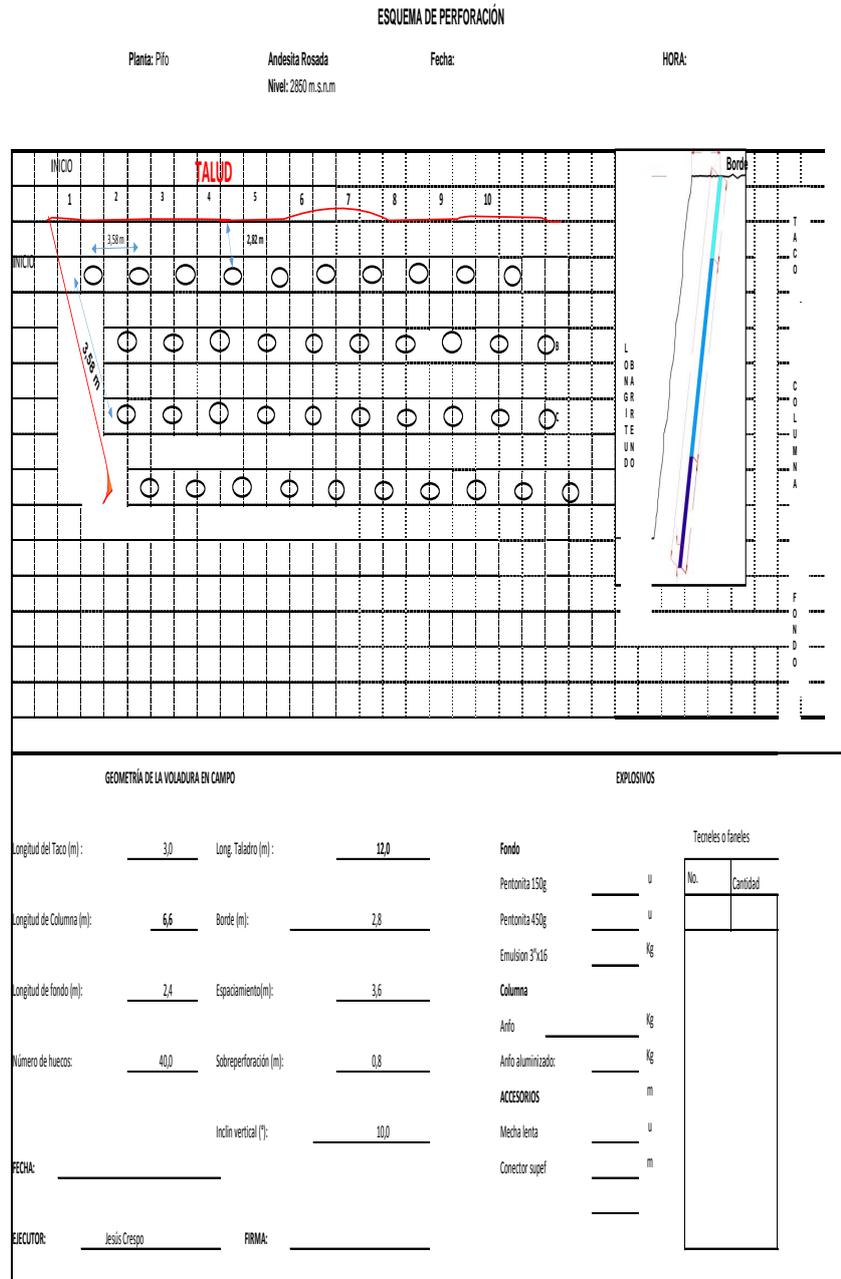


Figura No. 24 Diagrama de perforación Andesita rosada (Crespo J, 2016)

Se generaron esquemas para los distintos tipos de material, a continuación, se muestra el esquema de perforación para Andesita de coloración gris y de estructura lajosa, el mismo que es similar muy al rosado, lo que cambian son las dimensiones de los parámetros, como se muestra en la tabla N° 31.

Tabla N° 31: Parámetros de malla de perforación Andesita gris lajoso

Material	Diámetro del barreno (")	BURDEN (m)	ESPACIAMIENTO (m)	SOBREPERFORACION (m)	RETACADO (m)
Gris Laja	3	2,97	3,89	0,76	2,67

Crespo J, 2016

El diseño de la malla para la Andesita gris lajosa se muestra en la figura N° 25.

DISEÑO DE PERFORACIÓN Y VOLADURA					
MATERIAL LAJA GRIS					
AGREGADOS					
PERFORACIÓN		0,0762	VOLADURA		
			FONDO	COLUMNA	
Altura de banco (m)	12	Densidad del explosivo (gr/cm ³)	1,6	Densidad del explosivo (gr/cm ³)	0,8
Inclinación vertical del barreno	10	Diametro del explosivo inicial (cm)	5,4	Diametro del explosivo (cm)	7,62
Diametro de perforación (pulgadas)	3	Diametro del explosivo sometido a la carga de columna (cm)	5,94	Concentración lineal de carga (Kg/m)	3,65
Numero de huecos	40	Concentración lineal de carga (Kg/m)	3,66	Longitud de carga de columna (m)	7,5
Densidad de la roca (gr/cm ³)	2,7	Longitud de carga de fondo (m)	2,59	Retacado (m)	2,7
Burden (m)	2,97	Carga de Fondo (Kg)	9,5	Carga de Columna (kg)	27,38
Espaciamiento (m)	3,9	Consumo específico de explosivos(Kg/Ton)	0,098	Volumen Arrancado (m ³)	139
Sobreperforación (m)	0,8	Carga de Barreno (kg)	36,9	Volumen volado (m ³)	5544
Longitud de Barreno (m)	12,8	Retardos de barreno a barreno (ms)	17	Toneladas extraídas	14968
Perforación Especifica (ml/m ³)	0,0866	Retardos entre filas (ms)	34	parámetros de entrada	parámetros calculados
Metros lineales a perforar	480,00	SUPERVISOR:		FECHA:24/02/2015	HORA: 13:00
Horas trabajadas perforadora	20				

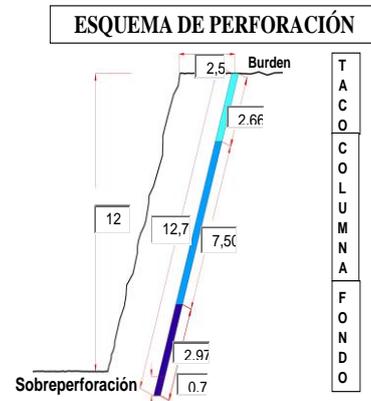


Figura No. 25 Nuevo diseño de malla de perforación para Andesita gris lajosa (Crespo J, 2016)

En base a los datos obtenidos se diseña la malla de perforación que se muestra en la figura N° 26.

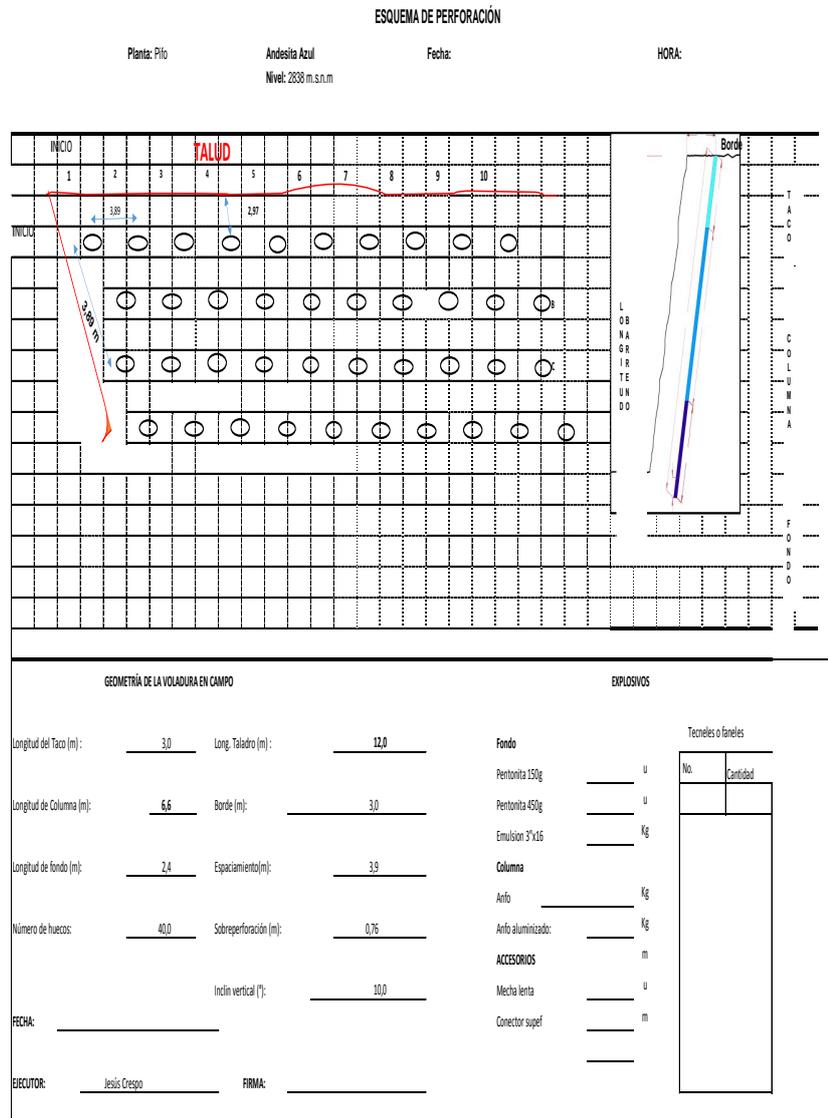


Figura N° 26 Diagrama de perforación para Andesita gris lajosa (Crespo J, 2016)

Finalmente se muestra para Andesita gris macizo, en la tabla N° 32 los valores de los parámetros para este tipo de roca.

Tabla N° 32: Parámetros de malla de perforación Andesita gris macizo

Material	Diámetro del barreno (")	BURDEN (m)	ESPACIAMIENTO (m)	SOBREPERFORACION (m)	RETACADO (m)
Gris Macizo	3	2,67	3,28	0,91	2,44

Crespo J, 2016

A continuación, los parámetros para Andesita gris macizo en la figura N° 27.

DISEÑO DE P+B5:122ERFORACIÓN Y VOLADURA					
MATERIAL GRIS MACIZO					
AGREGADOS					
PERFORACIÓN		0,0762	VOLADURA		
			FONDO	COLUMNA	
Altura de banco (m)	12	Densidad del explosivo (gr/cm3)	1,6	Densidad del explosivo (gr/cm3)	0,8
Inclinación vertical del barreno	10	Diametro del explosivo inicial (cm)	5,4	Diametro del explosivo (cm)	7,62
Diametro de perforación (pulgadas)	3	Diametro del explosivo sometido a la carga de columna (cm)	5,94	Concentración lineal de carga (Kg/m)	3,65
Numero de huecos	40	Concentración lineal de carga (Kg/m)	3,66	Longitud de carga de columna (m)	8,0
Densidad de la roca (gr/cm3)	2,7	Longitud de carga de fondo (m)	2,44	Retacado (m)	2,4
Burden (m)	2,67	Carga de Fondo (Kg)	8,9	Carga de Columna (kg)	29,32
Espaciamiento (m)	3,3	Consumo específico de explosivos(Kg/Ton)	0,134	Volumen Arrancado (m3)	105
Sobreperforación (m)	0,9	Carga de Barreno (kg)	38,3	Volumen volado (m3)	4195
Longitud de Barreno (m)	12,9	Retardos de barreno a barreno (ms)	15	Toneladas extraídas	11325
Perforación Especifica (ml/m3)	0,1144	Retardos entre filas (ms)	31	parámetros de entrada	parámetros calculados
Metros lineales a perforar	480,00	SUPERVISOR:		FECHA:24/10/2015	HORA: 13:00
Horas trabajadas perforadora	20				

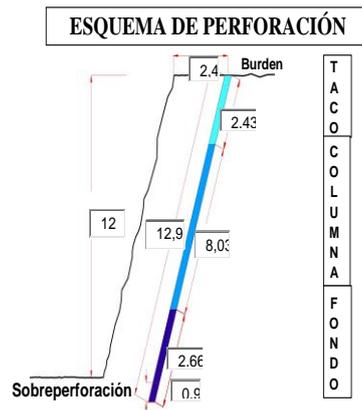


Figura N° 27 Nuevo diseño de malla de perforación para Andesita gris maciza (Crespo J, 2016)

En base a los datos obtenidos se diseña la malla de perforación que se muestra en la figura N° 28.

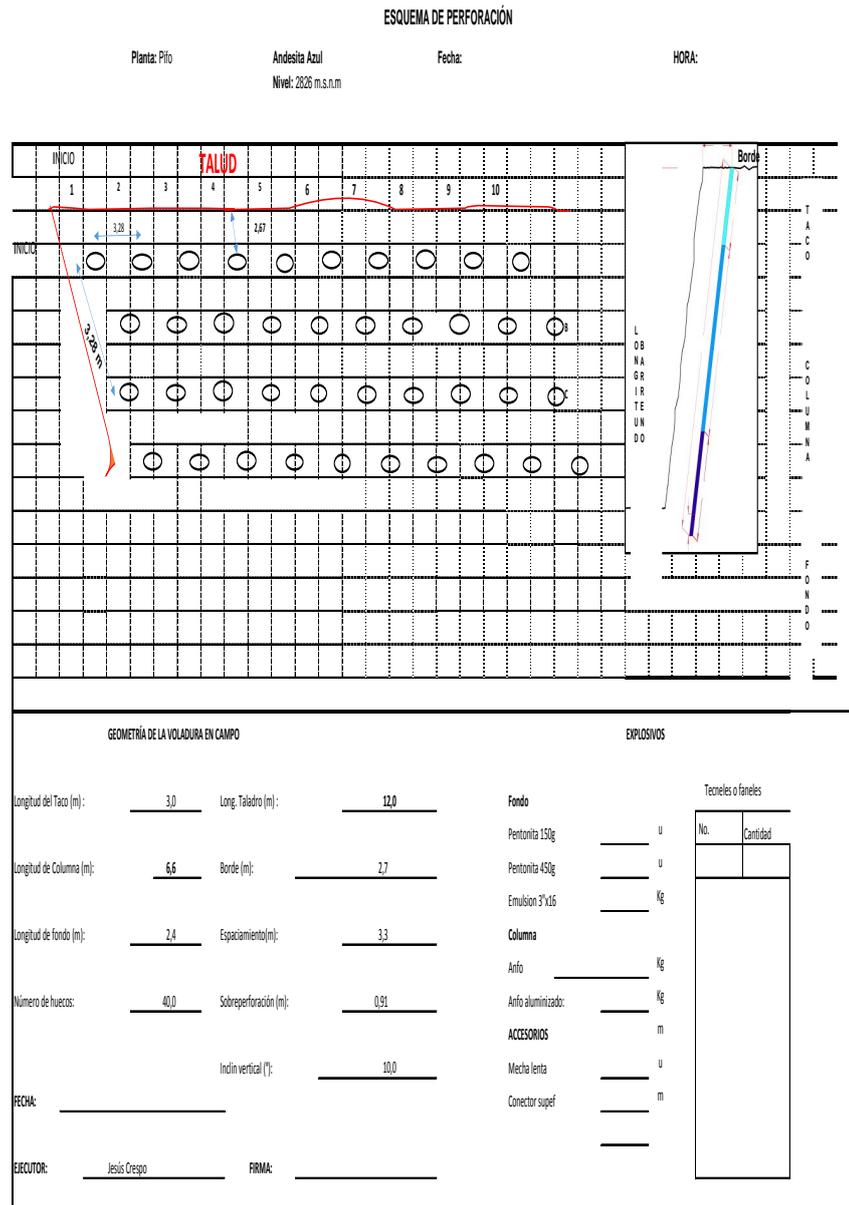


Figura N° 28 Diagrama de perforación Andesita gris macizo (Crespo J, 2016)

Ya teniendo la malla correcta para cada tipo de roca se aplica en todos los frentes y se determina la cantidad de combustible que se ha utilizado en el proceso luego del cambio de malla.

5.7 CONSUMO DE COMBUSTIBLE POR PROCESOS CON NUEVOS DISEÑOS DE MALLAS DE PERFORACIÓN.

Una vez determinado el tipo de mallas a utilizar para los frentes, estas fueron establecidas para ser utilizadas durante todo el 2015, de igual manera se llevó a

cabo un control del consumo de combustible para todos los procesos involucrados. Los consumos por el proceso de perforación y voladura se detallan en la tabla N° 33.

Tabla N° 33: Consumo de combustible mensual por proceso de perforación en el 2015

CONSUMO DE DIESEL PERFORADORA			
MESES	Metros perforados	tasa de consumo (gal/m)	consumo de diesel (gal)
Enero	1.967,000	0,195	383,264
Febrero	1.176,000	0,195	229,140
Marzo	1.332,000	0,195	259,536
Abril	2.200,000	0,195	428,663
Mayo	2.868,000	0,195	558,821
Junio	1.234,000	0,195	240,441
Julio	2.047,000	0,195	398,852
Agosto	1.988,000	0,195	387,356
Septiembre	3.120,500	0,195	608,020
Octubre	3.724,000	0,195	725,610
Noviembre	1.714,000	0,195	333,968
Diciembre	2.390,000	0,195	465,684
TOTAL	25.760,50	0,19	5.019,36

Crespo J, 2016

El consumo de diésel fue de 5019,36 galones para una producción de 543.243,450 ton durante el 2015, esto da una tasa de 0,0092 gal/ton, vs. 0,012 gal/ton correspondiente al 2014, es decir se redujo en un 23,33% el consumo de combustible con el nuevo diseño de malla, y el material aprovechado de la voladura fue del 98%, las pérdidas por sobre tamaño se redujeron en 2%.

El consumo de combustible para carguío durante el 2015 se detalla en la tabla N° 34.

Tabla N° 34: Consumo de combustible mensual por proceso de carguío en el 2015

CONSUMO DE DIESEL EN CARGA Y ACARREO						
Meses	Material extraído (ton)	EXCAVADORA		TRACTOR		TOTAL
		tasa de consumo (gal/ton)	consumo de diesel (gal)	tasa de consumo tractor (gal/ton)	consumo de diesel (gal)	Consumo de diesel carga y acarreo (gal)
Enero	50.479,00	0,0567	2861,41	0,01107	558,96	3420,37
Febrero	21.927,00	0,0567	1242,93	0,01107	242,80	1485,73
Marzo	22.321,00	0,0567	1265,27	0,01107	247,16	1512,43
Abril	39.764,00	0,0567	2254,03	0,01107	440,31	2694,34
Mayo	36.798,00	0,0567	2085,90	0,01107	407,47	2493,37
Junio	46.460,50	0,0567	2633,62	0,01107	514,46	3148,08
Julio	57.947,00	0,0567	3284,73	0,01107	641,65	3926,38
Agosto	54.624,00	0,0567	3096,37	0,01107	604,86	3701,22
Septiembre	63.250,00	0,0567	3585,33	0,01107	700,37	4285,71
Octubre	62.770,00	0,0567	3558,12	0,01107	695,06	4253,18
Noviembre	41.545,00	0,0567	2354,98	0,01107	460,03	2815,01
Diciembre	45.358,00	0,0567	2571,12	0,01107	502,25	3073,38
TOTAL	543.243,50	0,06	30.793,80	0,01	6015,4	36809,2

Crespo J, 2016

El consumo de diésel fue de 36809,2 galones para una producción de 543.243,450 ton durante el 2015, esto da una tasa de 0,068 gal/ton, vs. 0,085 gal/ton correspondiente al 2014, es decir se redujo 20% el consumo de combustible, esto en gran medida a que el material estuvo fragmentado y no se tuvo que realizar traslado con el tractor de los bloques con sobre tamaño.

El consumo de combustible por transporte se muestra en la tabla N° 35.

Tabla N° 35: Consumo de combustible mensual por proceso de transporte en el 2015

CONSUMO DE DIESEL POR TRANSPORTE			
Meses	Material extraído (ton)	tasa de consumo (gal/ton)	Consumo de diesel (gal)
Enero	50.479,000	0,016	791,812
Febrero	21.927,000	0,016	343,946
Marzo	22.321,000	0,016	350,126
Abril	39.764,000	0,016	623,737
Mayo	36.798,000	0,016	577,212
Junio	46.460,500	0,016	728,778
Julio	57.947,000	0,016	908,955
Agosto	54.624,000	0,016	856,830
Septiembre	63.250,000	0,016	992,137
Octubre	62.770,000	0,016	984,608
Noviembre	41.545,000	0,016	651,674
Diciembre	45.358,000	0,016	711,484
TOTAL	543.243,50	0,016	8521,30

Crespo J, 2016

El consumo de diésel fue de 8521,30 galones para una producción de 543.243,450 ton durante el 2015, esto da una tasa de 0,016 gal/ton, vs. 0,019 gal/ton correspondiente al 2014, es decir se redujo en un 17,44% el consumo de combustible, los volquetes realizaron menos viajes porque iban prácticamente cargados a su capacidad nominal, por la mejor fragmentación de la roca por la voladura.

En la figura N° 29, se muestra las curvas de consumo entre 2014 y 2015 por proceso.

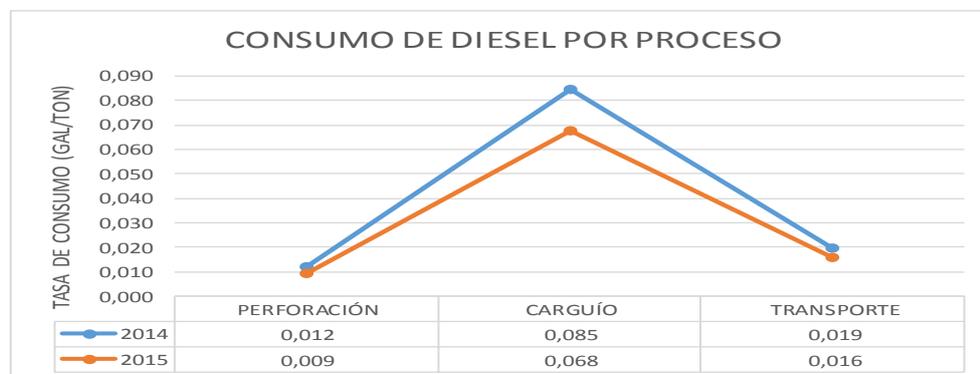


Figura N° 29: Consumo de combustible entre 2014 y 2015 (Crespo J, 2016)

Como se observa en la curva la tasa de consumo de combustible por proceso disminuyó en el 2015, luego de haber modificado la malla de perforación que en realidad era la causa raíz del problema. El total de combustible quemado por todos los procesos en el 2015 fue de 50.349,86 galones dando una tasa de consumo de 0,093 gal/ton, y en el 2014 el consumo fue de 63.904,09 galones siendo la tasa de consumo de 0,116 gal/ton, es decir disminuyó en 19,82% el consumo de combustible por el rediseño de las mallas de perforación.

5.8 CÁLCULO DE LAS EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN PROCESO DE PERFORACIÓN

Ya conociendo que disminuyó el consumo de combustible al mejorar la eficiencia en la malla de perforación, vamos a determinar la cantidad de

emisiones generadas en base a los 2 métodos descritos anteriormente. Los valores obtenidos por método estequiométrico se muestran en la tabla N° 36.

Tabla N° 36: Emisiones de GEI por estequiometria proceso de perforación

CALCULO DE EMISIONES DE CO2 AL AMBIENTE POR PERFORACIÓN	
Densidad del diesel (kg/m3)	850,00
Volumen de diesel consumido (m3)	19,00
Consumo de combustible (Ton)	16,15
Peso Molecular CO2	44,00
Peso Molecular Diesel	168,00
Emisión de CO2 (ton)	50,76

Crespo J, 2016

Por consumo de combustible los datos se muestran en la tabla N° 37.

Tabla N° 37: Emisiones de GEI por consumo de combustible proceso de perforación

CALCULO DE EMISIONES DE CO2 AL AMBIENTE 2DO MÉTODO	
Poder calorifico diesel (MJ/ton)	43000
Combustible consumido (TJ)	0,69
Factor de emisión (Kg/TJ)	74100
Emisiones CO2 (ton)	51,46

Crespo J, 2016

En la tabla N° 38, se muestran los datos obtenidos por ambos métodos y existe una diferencia del 1% entre ambos ellos.

Tabla N° 38: Cuadro comparativo entre los 2 métodos para proceso de perforación

EQUIPO	CONSUMO DE COMBUSTIBLE (GAL/AÑO)	CALCULO DE EMISIONES AL AÑO (TON) POR ESTEQUIOMETRÍA	CALCULO DE EMISIONES AL AÑO (TON) POR CONSUMO DE COMBUSTIBLE	VARIACIÓN (%)
PERFORADORA	5019,36	50,76	51,46	99%

Crespo J, 2016

El proceso de perforación generó 51,46 ton de GEI, que fueron emitidos al ambiente durante el 2015, mientras que en el 2014 fueron emitidos 68,24 ton de GEI.

Si no se hubiera mejorado la malla de perforación, se hubieran emitido 67,41 ton. de GEI, debido a que se mantenía la misma tasa de consumo de combustible. Al mejorar la malla disminuyó la tasa de consumo y esto permitió que se deje de emitir 15,95 ton. de GEI a la atmosfera por el proceso de perforación.

5.9 CÁLCULO DE LAS EMISIONES DE CONTAMINANTES EN PROCESO DE CARGA Y ACARREO

Conociendo que la tasa de consumo de combustible para este proceso disminuyo, procedemos a determinar la cantidad de gases de efecto invernadero emitidos por el proceso de carga y acarreo, los datos obtenidos por estequiometría se muestran en la tabla N° 39.

Tabla N° 39: Emisiones de GEI por estequiometria proceso de carga

CALCULO DE EMISIONES DE CO2 AL AMBIENTE	
Densidad del diesel (kg/m3)	850,00
Volumen de diesel consumido (m3)	139,34
Consumo de combustible (Ton)	118,44
Peso Molecular CO2	44,00
Peso Molecular Diesel	168,00
Emisión de CO2 (ton)	372,23

Crespo J, 2016

Por el método del consumo de combustible los datos se muestran en la tabla N°40.

Tabla N° 40: Emisiones de GEI por consumo de combustible proceso de carga

CALCULO DE EMISIONES DE CO2 AL AMBIENTE 2DO MÉTODO	
Poder calorífico diesel (MJ/ton)	43000
Combustible consumido (TJ)	5,09
Factor de emisión (Kg/TJ)	74100
Emisiones CO2 (ton)	377,38

Crespo J, 2016

En la tabla N°41, se observa que la diferencia entre ambos métodos de igual manera es del 1%.

Tabla N° 41: Cuadro comparativo entre los 2 métodos proceso de carga

EQUIPO	CONSUMO DE COMBUSTIBLE (GAL/AÑO)	CALCULO DE EMISIONES AL AÑO (TON) POR BALANCEO	CALCULO DE EMISIONES AL AÑO (TON) POR CONSUMO DE COMBUSTIBLE	VARIACIÓN (%)
EXCAVADORA-TRACTOR	36809,2	372,23	377,38	99%

Crespo J, 2016

El proceso de carguío generó 377,78 ton de GEI, que fueron emitidos al ambiente durante el 2015, mientras que en el 2014 fueron emitidos 477,79 ton. de GEI.

Si no se hubiera mejorado la malla de perforación, se hubieran emitido 471,68 ton. de GEI, debido a que se mantenía la misma tasa de consumo de combustible para el carguío. Con el nuevo diseño de la malla la fragmentación de la roca mejoró, provocando que disminuya la tasa de consumo y esto permitió que se deje de emitir 100,01 ton de GEI a la atmosfera por el proceso de carguío.

5.10 CÁLCULO DE LAS EMISIONES DE CONTAMINANTES EN EL PROCESO DE TRANSPORTE

Se determinó las emisiones de contaminantes por ambos métodos, como en los anteriores casos, primero se determinó por estequiometria y los resultados se muestran en la tabla N° 42.

Tabla N° 42: Emisiones de GEI por estequiometria proceso de transporte

CALCULO DE EMISIONES DE CO2 AL AMBIENTE	
Densidad del diesel (kg/m ³)	850,00
Volumen de diesel consumido (m ³)	32,26
Consumo de combustible (Ton)	27,42
Peso Molecular CO ₂	44,00
Peso Molecular Diesel	168,00
Emisión de CO₂ (ton)	86,17

Crespo J, 2016

Y los obtenidos por el consumo de combustible se muestran en la tabla N° 43.

Tabla N°43: Emisiones de GEI por consumo de combustible proceso de transporte

CALCULO DE EMISIONES DE CO2 AL AMBIENTE 2DO MÉTODO	
Poder calorifico diesel (MJ/ton)	43000
Combustible consumido (TJ)	1,18
Factor de emisión (Kg/TJ)	74100
Emisiones CO₂ (ton)	87,36

Crespo J, 2016

La diferencia entre ambos métodos se muestra en la tabla N° 44.

Tabla N° 44: Cuadro comparativo entre los 2 métodos proceso de transporte

EQUIPO	CONSUMO DE COMBUSTIBLE (GAL/AÑO)	CALCULO DE EMISIONES AL AÑO (TON) POR BALANCEO	CALCULO DE EMISIONES AL AÑO (TON) POR CONSUMO DE COMBUSTIBLE	VARIACIÓN (%)
TRANSPORTE	8521,30	86,17	87,36	99%

Crespo J, 2016

El proceso de transporte generó 87,36 ton de GEI, que fueron emitidos a la atmósfera durante el 2015, mientras que en el 2014 fueron emitidos 109,43 ton. de GEI. Si no se hubiera diseñado la malla de perforación para cada frente y se mantenía la anterior, por el proceso de transporte se hubieran emitido 108,10 ton. de GEI, por que se mantenía la misma tasa de consumo de combustible para el transporte. Al mejorar la fragmentación los volquetes cargaban toda su capacidad, provocando que disminuya la tasa de consumo y esto permitió que se deje de emitir 20,74 ton de GEI a la atmosfera por el proceso de transporte.

5.11 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

Durante el año 2014 cuando se mantenían los mismos diseños de perforación y el proceso de extracción no era eficiente, la cantidad de contaminantes emitidos que fueron emitidos a la atmósfera se detallan en la tabla N° 45.

Tabla N° 45: Emisión de GEI por procesos durante el 2014

EQUIPO	CONSUMO DE COMBUSTIBLE (GAL/AÑO)	CALCULO DE EMISIONES AL AÑO (TON) POR BALANCEO	CALCULO DE EMISIONES AL AÑO (TON) POR CONSUMO DE COMBUSTIBLE	VARIACIÓN (%)
PERFORADOR	6656,47	67,31	68,24	99%
EXCAVADORA-TRACTOR	46573,95	470,98	477,49	99%
TRANSPORTE	10674,07	107,94	109,43	99%
TOTAL	63904,49	646,23	655,16	99%

Crespo J, 2016

Luego de realizar los estudios y determinar la malla de perforación idónea para cada tipo de roca a extraer, en el 2015, se pudo obtener los siguientes datos de emisión a la atmósfera, que se detallan en la tabla N° 46.

Tabla N° 46: Emisión de GEI por procesos durante el 2015

EQUIPO	CONSUMO DE COMBUSTIBLE (GAL/AÑO)	CALCULO DE EMISIONES AL AÑO (TON) POR BALANCEO	CALCULO DE EMISIONES AL AÑO (TON) POR CONSUMO DE COMBUSTIBLE	VARIACIÓN (%)
PERFORADORA	5019,36	50,76	51,46	99%
EXCAVADORA-TRACTOR	36809,2	372,23	377,38	99%
TRANSPORTE	8521,30	86,17	87,36	99%
TOTAL	50349,86	509,16	516,20	99%

Crespo J, 2016

En la figura N° 30, se muestra como fue el comportamiento de las emisiones por proceso.

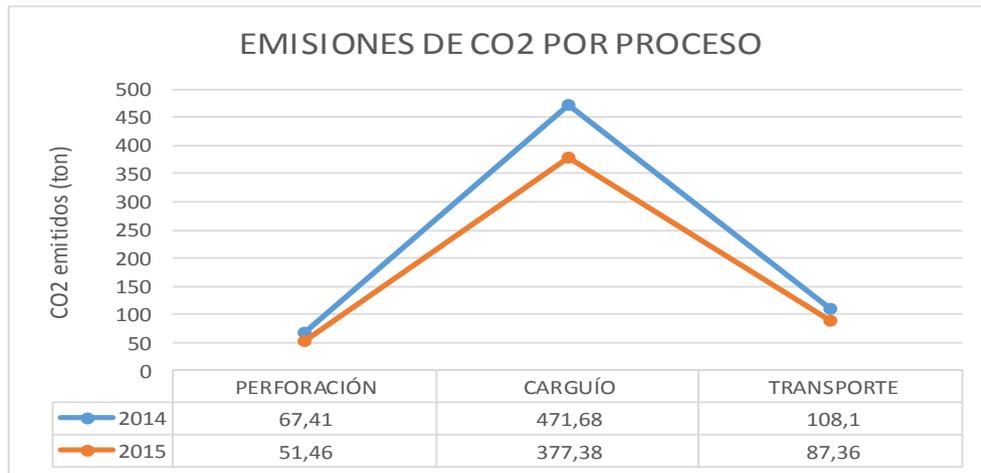


Figura N° 30: Emisiones de CO2 por proceso entre 2014 y 2015 (Crespo J, 2016)

Como se puede observar en la gráfica al cambiar los diseños de las mallas de perforación en el 2015, las emisiones del 2015 disminuyeron en 130,99 ton con respecto al 2014.

Diseñando la malla para cada frente se tuvo una mejor disposición de los barrenos y se aprovechó toda la energía explosiva en la voladura, esto provocó que la fragmentación de la roca sea mejor y existan menor pérdida de material por sobre tamaño.

Al tener una mejor fragmentación la roca, los volquetes podían cargar su capacidad nominal, lo que provocó que se disminuya el número de viajes para transportar el material desde el frente de arranque, hasta la tolva de almacenamiento de la trituradora primaria.

CAPÍTULO 6

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Las conclusiones que se desprenden del desarrollo de este proyecto de Titulación son las siguientes:

Se revisaron las diferentes texturas de la roca presentes en el macizo, esto generó que se desarrollen tres diferentes tipos de mallas de perforación, una para la Andesita de coloración rosada, otra para la Andesita de coloración gris de textura lajosa, y la última para la Andesita de coloración gris, pero de textura maciza.

Al mejorar la malla de perforación el consumo de la carga explosiva disminuyó y se logró aprovechar en su totalidad la energía de fragmentación del explosivo utilizado.

La fragmentación de la roca mejoró y se pudo aprovechar el 98 % del material extraído, obteniendo solamente un 2% de sobretamaño, es decir 532.378,63 ton. de roca fueron aprovechadas de 543.243,50 ton extraídas en el 2015, mientras que el 2014 se tuvo un 12% de sobretamaño de la extracción anual, es decir solo se aprovechó 537.704,08 ton de 611.027,37 ton. de material extraído.

Al mejorar las mallas de perforación y haberlas diferenciado para cada frente, el número de perforaciones realizadas con el equipo de perforación disminuyó en 4,3%.

Al realizar menos perforaciones por el equipo en cada frente, el consumo de diésel por esta actividad, durante el proceso de perforación con respecto al 2014 disminuyó en 23,33 %, es decir se tuvo un ahorro de 1499 galones de diésel durante el 2015.

La reducción del consumo de combustible por los nuevos diseños de las mallas de perforación, provocó que las emisiones de gases de efecto invernadero disminuyan, debido a esto se dejaron de emitir a la atmósfera por el proceso de perforación 15,95 ton. De CO₂ durante el 2015, contribuyendo a la calidad de vida de la comunidad y al medio ambiente.

El carguío del material también mejoró, ya que el material de sobretamaño disminuyó al 1%, es decir se aprovechó el 99% del material explotado. Al mejorar el carguío por la mejor fragmentación de la roca, el consumo de combustible con respecto al 2014 disminuyó en 20%, es decir se dejaron de consumir 9366 galones de diésel en el 2015.

Al obtenerse un material mejor fragmentado, la carga en los volquetes aumento a su capacidad máxima (22 Ton.), lo que provocó que el número de viajes por transporte de material disminuya en la operación.

Al disminuir el número de viajes por volqueta, disminuyó el consumo de combustible con respecto al 2014 en 17,44%, es decir se dejaron de consumir 1800 galones de diésel por transporte en el 2015, es así que este proyecto demuestra la factibilidad de la misma optimizando recursos, reutilizando, acortando tiempo y aportando al medio ambiente en las disminuciones de emisiones de gases de efecto invernadero al ambiente.

Esto provocó que las emisiones de gases de efecto invernadero se reduzcan y se dejaron de emitir 20,74 ton. de CO₂ durante el 2015 por proceso de transporte, la optimización de la malla de perforación, hace que se reduzcan las

emisiones de GEI de 140,7 ton. de CO₂ dejando de emitir y así contribuir al ambiente.

Este estudio puede evidenciar que al mejorar la parte operativa van a optimizar condiciones en cuanto a costo de operaciones mínima, mejora la economía, disminución de uso de combustible, desgates de equipos por transporte y carga, disminución de perforaciones, menor consumo de aceros de perforación y explosivos, evitando así emisiones de gases y desgaste del recurso humano.

6.2 Recomendaciones

Este trabajo se enfocó solo en los problemas producto de las emisiones de gases por el consumo de combustible en la cantera de Pifo, pero se debe continuar realizando estudios para contrarrestar los efectos producto del material particulado presente en los procesos de planta.

Con los resultados obtenidos por el mejoramiento de la malla de perforación y fragmentación de la roca, se debe realizar estudios de control de desgates de equipos y maquinarias, tanto en la vida útil de los equipos como en costos de mantenimiento.

Realizar estudios de control de la energía de los explosivos utilizados en cantera de Pifo, solo se revisó los elementos de perforación, pero no las propiedades de los diferentes tipos de explosivos que pueden ser utilizados.

Es necesario que este tipo de control y seguimiento a los procesos de extracción, sea llevado a cabo por la entidad de control a las diferentes canteras presente en la provincia de Pichincha, porque muchas de ellas llevan a cabo una explotación sin criterios técnicos.

Este estudio fue realizado solo para los equipos de cantera que apoyan el proceso de extracción en la planta de Pifo, pero se tiene vehículos adicionales que transportan material desde la planta hasta los diferentes lugares de entrega, que no se contabilizó las emisiones que estos provocan por esta actividad.

Realizar estudios de desgates y horas de vida de los elementos de corte de excavadora, aceros de perforación y sistemas de amortiguamiento de los vehículos de transporte de material de cantera, porque al mejorar la extracción el desgaste disminuye, pero en este estudio no fue cuantificado.

Adicional a lo anterior descrito realizar un estudio económico de las ventajas en costos que trajo la reducción de combustible y la optimización de los procesos de perforación, carguío y transporte.

Se espera con este trabajo poner a disposición las ventajas de realizar diferentes mallas de perforación por frentes de extracción, y así las personas que llevan a cabo actividad minera o trabajos de canteras en el Ecuador puedan optimizar sus procesos.

Al disminuir el consumo de combustible y las emisiones de GEI al ambiente, se está tratando de realizar actividades mineras económicamente sostenibles en el tiempo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Pecharomán Clemente David, Mesa Fernandez José, Gonzalez Rodríguez Juan, Andrés Vizán Sara; "Valorization of Automatic Control Systems of Machinery in Open Mining Major Projects"; Universidad de Oviedo, Área de proyectos de Ingeniería; 2014.
2. González Pernia Pablo, Díaz Aguado María, Folgueras Díaz María, Rodríguez Diéz Rafael, "Eficiencia en el transporte en minería a cielo abierto, aplicación a una cantera de Caliza"; Universidad de Oviedo; 2013-2014.
3. Sahoo L.K., Bandyopadhyay S., Benerjee R., "Benchmarking energy consumption for dump trucks in mines", applied energy 2014; 113, 1382-1396.
4. Central Institute Of Mining & Fuel Research (CIMFR), CSIR (India); "Energy audit report of Umrer open cast mine Western coalfield Ltd.", Nagpur 1998.
5. Sahoo L.K., Bandyopadhyay S., Benerjee R., "Energy Performance of dumps trucks in opencast mine."; In Proceedings of ECOS 2010; Lausanne, Switzerland; 2010.
6. López Jimeno C, Gómez de las Heras J, López Jimeno E; "Manual de Arranque, carga y transporte en minería a cielo abierto"; Instituto Geológico y Minero de España; 1995.
7. Holcim Agregados; "Informe de Producción Período Julio- Septiembre 2014 área A PICH-SIGSIPAMBA"; 2014.

8. Capservs medio; “Actualización del Plan de Ordenamiento Territorial de la Parroquia Pifo”; Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo; 2015.
9. Centro Tecnológico de Voladura EXSA S.A, Manual Práctico de Voladura; International Journals of Rock Mechanics & Mining Sciences; 2009.
10. Caguana Gutiérrez Andrés Fernando, Tenorio Tupacyupanqui Manuel Patricio; Optimización de los parámetros de perforación y voladura en la Cantera “Las Victorias”; Universidad de Cuenca, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil; 2013.
11. Sanchidrian Blanco José; “La energía de los Explosivos, calor de explosión y trabajo útil”; Ingeopres Madrid; 1998.
12. Ayabaca César; “Diseño de voladuras a cielo abierto”; Explocen; 2015.
13. Narváez Salazar Mercy Maribel; “La excesiva contaminación de los vehículos Municipales de transporte público al norte de Quito frente al derecho fundamental de vivir en un ambiente sano reconocido en el Artículo 14 de la Constitución”; Universidad Central del Ecuador, Facultad de Jurisprudencia, Ciencias Políticas y Sociales; 2014.
14. Technical Support Document for Staff proposal regarding, reduction of greenhouse gas emissions from motor vehicles; “Climate Change emissions inventory”; California air resources board; 2004.
15. Eggleston H.S., Buendía L., Miwa K., Ngara T and Tnabe K.; “2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse gas inventories Programme”; IGES, Japan; 2006.
16. Naciph Karen, Rivadeneira Laura, Cazorla María; “Cálculo de las emisiones de CO₂ de la Universidad de San Francisco de Quito

- pertencientes al rubro estudiantil del segundo Semestre 2012-2013”; Universidad San Francisco de Quito; 2013.
17. U. S. Department of Energy; “Energy Efficiency and Renewable Energy”; <http://www.fueleconomy.gov/feg/make.shtml>; 2013.
18. European Environment Agency; “Emission Inventory Guidebook-2005”; Technical report No 30, Copenhagen, Denmark; 2005.
19. Parra R.; “Factor de emisión de CO₂ debido a la generación de electricidad en el Ecuador durante el período 2001-2011”; 2013.
20. Guillen Nuñez Lennart; “Perforación y voladura aplicado a la minería a cielo Abierto”; Southern Perú; 2013.
21. David G. Streets, Kejun Jiang Xiulian, Jonathan E. Sinton, Xiao-Quan Zhang Deying, Mark Z. Jacobson; James E. Hansen; “Recent Reductions in China’s Greenhouse Gas Emissions”; www.sciencemag.org, vol 294; 2001.
22. Alcántara Escolano Vicent, Padilla Rosa Emilio; “Análisis de las emisiones de CO₂ y sus factores explicativos en las diferentes áreas del mundo”; Departamento de Economía Aplicada, Universitat Autònoma de Barcelona; 2005.
23. Recalde Chiluiza Eduardo; “Metodología de Planificación Minera a Corto Plazo y diseño Minero a Mediano Plazo en la Cantera Pifo”; Espol, Facultad de Ingeniería en Ciencias de La Tierra; 2005.
24. Ministerio del ambiente; “Plan Nacional de la Calidad del Aire”; 2010.
25. Rivadeneira Ortega Jéssica Johana; “Explotación de Caliza a cielo abierto de la concesión minera “Gretha Piedad””; Epoch, Extensión Morona Santiago, Facultad de Recursos Naturales, Carrera de Geología y Minas; 2015.

26. Díaz Martínez Juan, Guarín Arango Melisa, Jiménez Builes Jovani; “Analysis and Design of Drilling and Blasting operation on Open Pit Mining using Focus on Structured Programming”; Universidad Nacional de Colombia; 2012.

27. Arango Serna Martín, Gil Gómez Hermenegildo, Zapata Cortes Julián; “Lean Logistics Applied to Transport in the Miner Sector; Boletín Ciencias de la Tierra N° 25, Medellín; 2009.

28. Andrés Hubenthal; “Evaluación del sector Transporte en Ecuador con miras a plantear medidas de mitigación al Cambio Climático”; Ministerio del Ambiente de Ecuador y Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo Global; 2010.

ANEXO A



Figura N° 1: Vista satelital de la cantera de Pifo (Crespo J, 2016)

ANEXO B



Figura N°2: Geología de la cantera de Pifo (Crespo J, 2016)

ANEXO C



Figura N°4: Colocación de capa vegetal en bancos de extracción ya clausurados en la cantera. (Crespo J, 2016)

ANEXO D



Figura N°5: Equipo de perforación perfilando un banco en cantera (Crespo J, 2016)

ANEXO E

ESQUEMA DE PERFORACIÓN

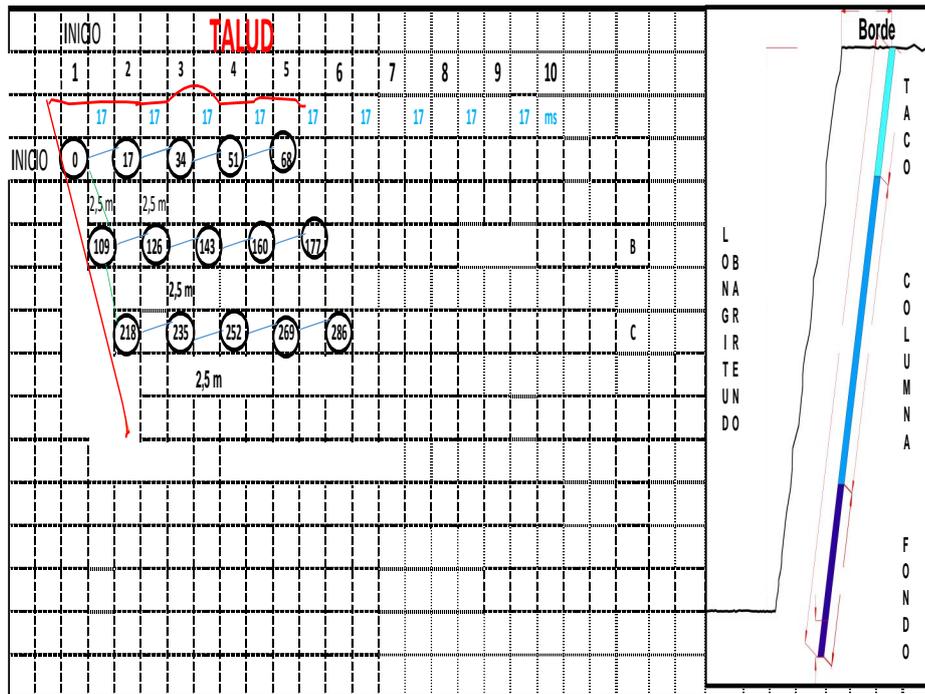
Planta: Pifo

Andesita Rosada

Fecha:

HORA:

Nivel: 2850 m.s.n.m



GEOMETRÍA DE LA VOLADURA EN CAMPO		EXPLOSIVOS	
Longitud del TACO (m):	<u>3,0</u>	Long. Taladro (m):	<u>12,0</u>
Longitud de Columna (m):	<u>6,6</u>	Borde (m):	<u>3,0</u>
Longitud de fondo (m):	<u>2,4</u>	Espaciamiento(m):	<u>2,5</u>
Número de huecos:	<u>34,0</u>	Sobreperforación (m):	<u>0,9</u>
FECHA:	_____	Inclin vertical (°):	<u>10,0</u>
EJECUTOR:	<u>Jesús Crespo</u>	FIRMA:	_____
		Fondo	Tecnelos o faneles
		Pentonita 150g	_____ u
		Pentonita 450g	_____ u
		Emulsion 3"x16	_____ Kg
		Columna	
		Anfo	_____ Kg
		Anfo aluminizado:	_____ Kg
		ACCESORIOS	m
		Mecha lenta	_____ u
		Conector supef	_____ m

Figura N°6: Esquema de perforación utilizado en cantera (Crespo J, 2016)

ANEXO F

Tabla N°2: Matriz de datos para perforación y voladura.

DISEÑO DE PERFORACIÓN Y VOLADURA					
AGREGADOS					
PERFORACIÓN		VOLADURA			
		FONDO		COLUMNA	
Altura de banco (m)	12	Densidad del explosivo (gr/cm ³)	1,6	Densidad del explosivo (gr/cm ³)	0,8
Inclinación vertical del barreno	10	Diametro del explosivo inicial (cm)	5,4	Diametro del explosivo (cm)	7,62
Diametro de perforación (pulgadas)	3	Diametro del explosivo sometido a la carga de columna (cm)	5,94	Concentración lineal de carga (Kg/m)	3,65
Numero de huecos	33	Concentración lineal de carga (Kg/m)	3,66	Longitud de carga de columna (m)	6,8
Densidad de la roca (gr/cm ³)	2,7	Longitud de carga de fondo (m)	3,05	Retacado (m)	3,0
Burden (m)	2,29	Carga de Fondo (Kg)	11,2	Carga de Columna (kg)	24,88
Espaciamiento (m)	2,7	Consumo específico de explosivos(Kg/Ton)	0,181	Volumen Arrancado (m ³)	73
Sobreperforación (m)	0,9	Carga de Barreno (kg)	36,0	Volumen volado (m ³)	2414
Longitud de Barreno (m)	12,9	Retardos de barreno a barreno (ms)	12	Toneladas extraídas	6519
Perforación Especifica (mil/m ³)	0,1640	Retardos entre filas (ms)	26	parámetros de entrada	parámetros calculados
Metros lineales a perforar	396,00	SUPERVISOR:			
Horas trabajadas perforadora	16,5	FECHA: 24/02/2015		HORA: 13:00	

Crespo J, 2016

ANEXO G

ESQUEMA DE PERFORACIÓN

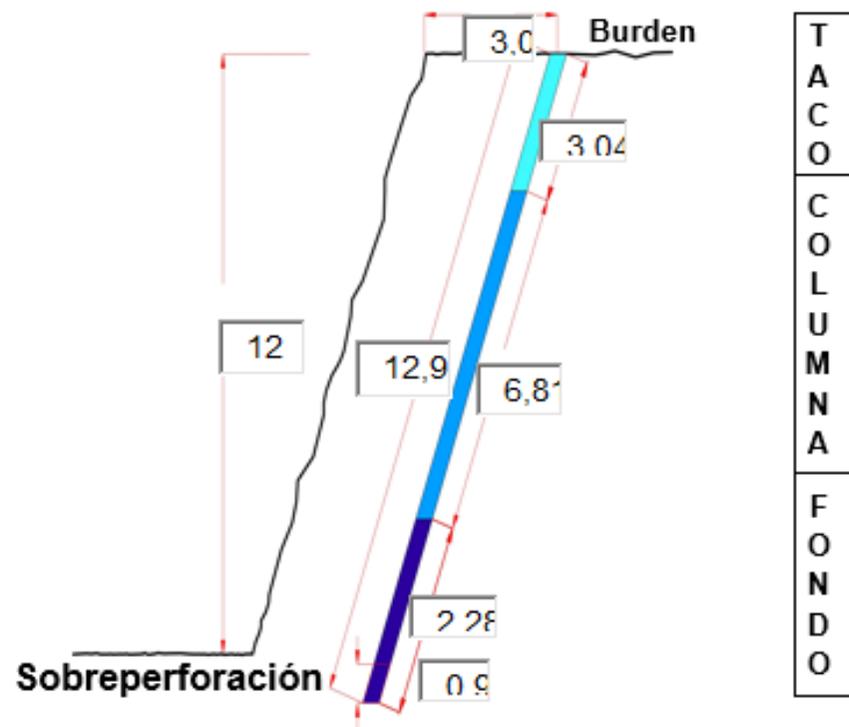


Figura N° 7: Esquema de Perforación. (Crespo J, 2016)

ANEXO H

ESQUEMA DE PERFORACIÓN

Planta: Pifo

Andesita Rosada

HORA: 13H30

Nivel: 2850 m.s.n.m

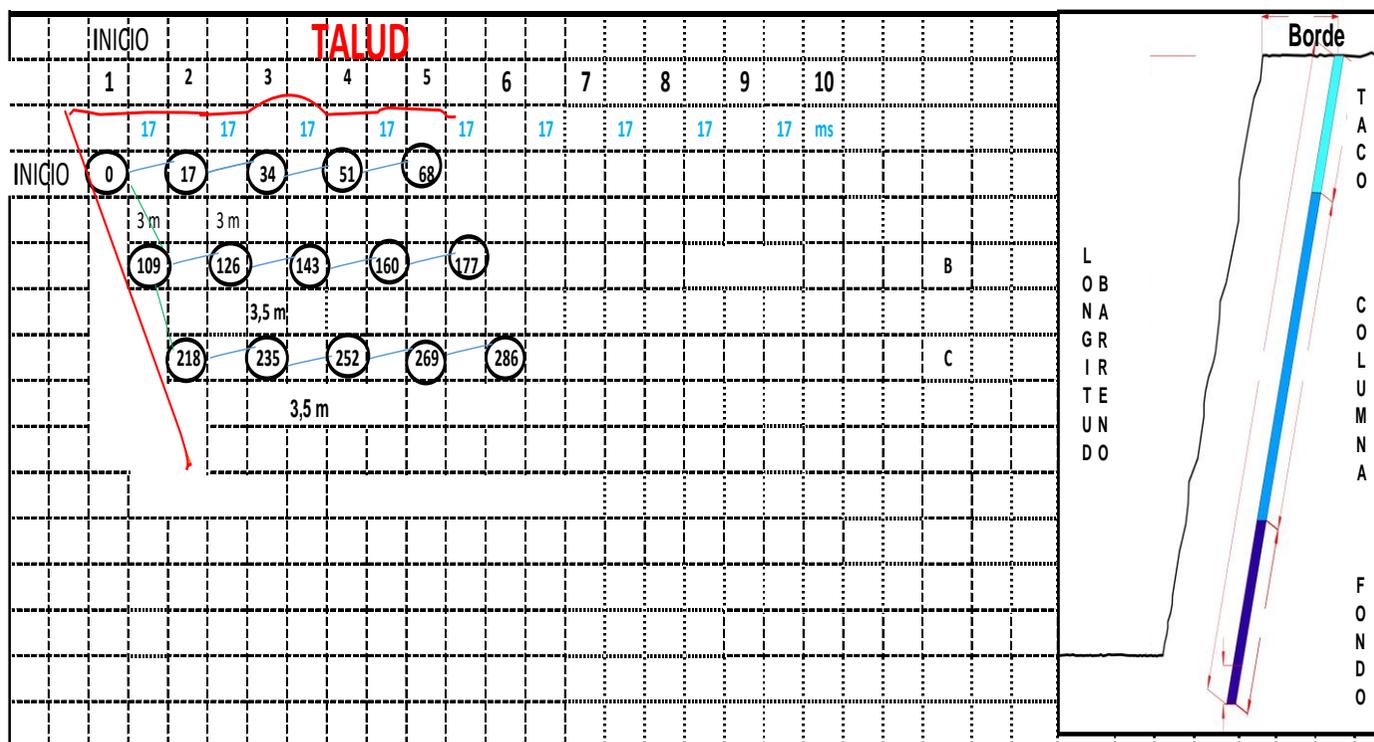


Figura N°8: Malla de perforación realizada en el frente de explotación (Crespo J, 2016)

ANEXO I

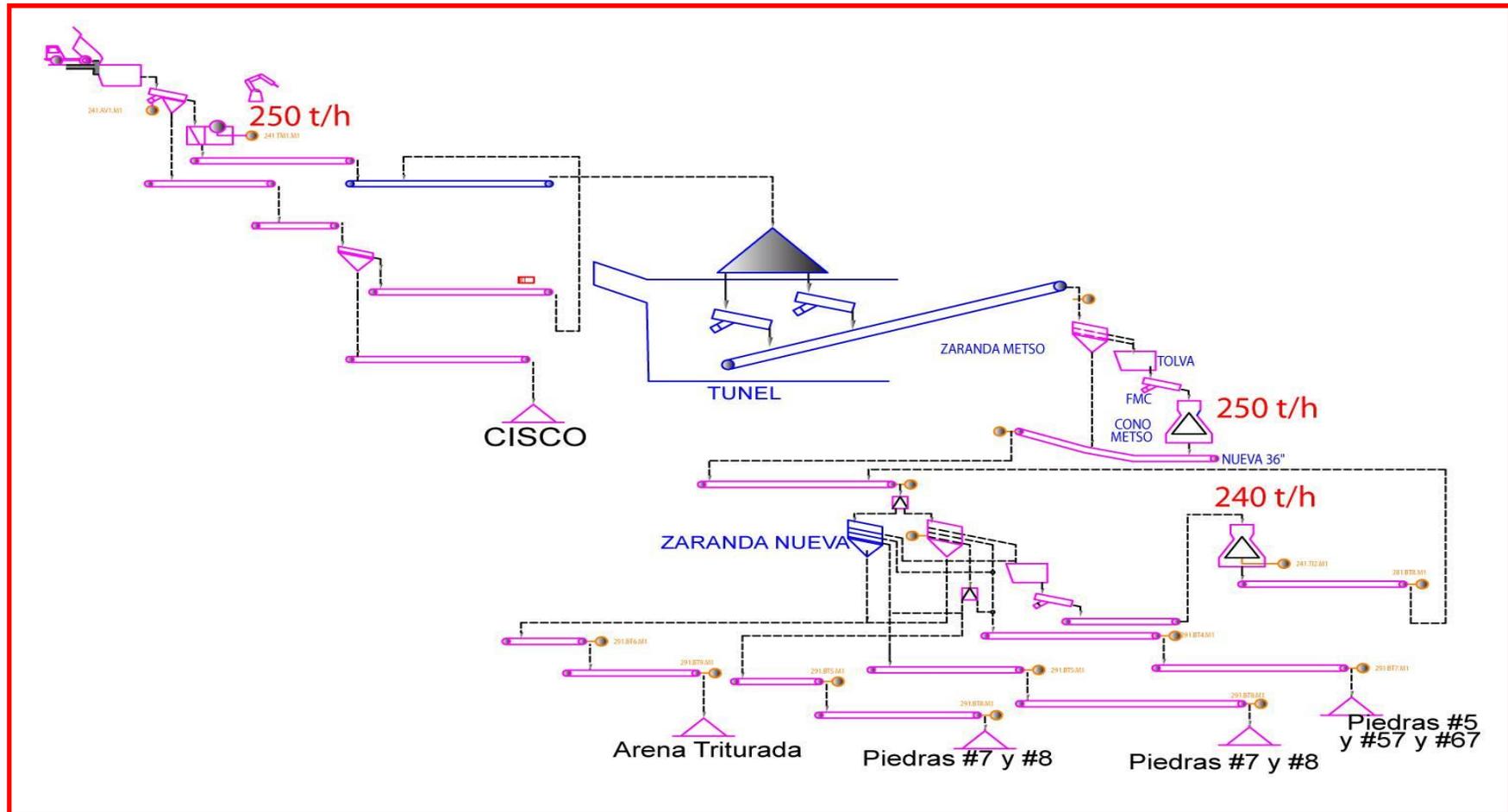


Figura N° 15. Diagrama de producción de Planta Pifo. (Crespo J, 2016)

ANEXO J

Tabla N°6: Consumo de combustible por equipos correspondiente al 2014.

		MESES											
CONSUMO DE COMBUSTIBLE 2014 (GAL)	EQUIPOS	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
	Excavadora	3.051,93	3092,79	2800,63	3587,49	3289,29	2618,18	2863,79	2445,51	2640,05	3478,90	3142,60	2193,55
	Perforador	385,00	725,92	617,48	420,32	433,77	556,81	735,36	563,56	395,20	559,55	769,50	494,00
	Volqueta 1	464,38	359,38	231,22	445,41	401,60	320,68	613,58	489,81	233,70	327,75	368,60	249,85
	Volqueta 2	433,42	233,01	245,56	0,00	126,11	0,00	564,29	306,46	243,20	329,65	70,30	157,70
	Volqueta 3	234,77	231,22	93,20	426,59	427,57	461,51	213,35	332,80	147,25	307,80	346,75	235,60
	Tractor	678,24	601,35	634,51	1657,07	0,00	322,09	1328,26	1491,77	565,25	1127,65	1540,90	1422,15
	TOTAL (GAL)	5.247,74	5.243,67	4.622,60	6.536,88	4.678,34	4.279,27	6.318,63	5.629,91	4.224,65	6.131,30	6.238,65	4.752,85
	producción (TON)	46.524,00	46.867,00	45.496,00	50.327,00	54.648,00	46.878,00	63.587,00	55.881,00	36.107,00	62.507,42	63.847,00	46.137,00
TASA DE PRODUCCIÓN (GAL/TON)	0,11279641	0,11188405	0,10160454	0,12988813	0,08560862	0,09128525	0,09936984	0,100748197	0,11700363	0,09808915	0,0977125	0,10301602	

ANEXO K

Tabla N° 7: Consumo de combustible por equipos correspondiente al 2015

	EQUIPOS	MESES												
		enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	
CONSUMO DE COMBUSTIBLE 2015 (GAL)	Excavadora	2.972,55	1266,35	2143,20	2422,50	1369,90	2661,90	3244,25	3110,80	2922,20	2480,45	3211,00	2988,70	
	Perforador	371,45	204,25	261,25	469,30	442,70	564,30	539,60	200,00	595,65	358,15	496,85	515,85	
	Volqueta 1	320,15	87,40	106,40	208,05	285,95	233,70	310,65	685,40	361,95	66,50	267,90	187,15	
	Volqueta 2	92,15	0,00	188,10	152,95	183,35	209,00	349,60	149,20	81,70	266,00	303,05	217,55	
	Volqueta 3	459,80	0,00	178,60	280,25	138,70	216,60	239,40	389,75	303,05	363,85	339,15	298,30	
	Tractor	0,00	0,00	0,00	610,85	955,70	1385,10	865,45	209,00	171,00	380,00	467,40	970,90	
	TOTAL (GAL)	4.216,10	1.558,00	2.877,55	4.143,90	3.376,30	5.270,60	5.548,95	4.744,15	4.435,55	3.914,95	5.085,35	5.178,45	
	produccion (Ton)	50.479,00	21.927,00	22.321,00	39.764,00	36.798,00	46.460,50	57.947,00	54.624,00	63.250,00	62.770,00	41.545,00	45.358,00	
TASA DE PRODUCCIÓN (GAL/TON)	0,08352186	0,07105395	0,12891672	0,10421235	0,09175227	0,1134426	0,09575906	0,086851018	0,07012727	0,06236976	0,12240583	0,11416839		

Crespo J, 2016

ANEXO L

PROCESOS	EQUIPO A UTILIZAR	FUENTE DE ENERGÍA	CONTAMINANTES GENERADOS	TIPOS DE CONTAMINANTES
PERFORACIÓN Y VOLADURA	PERFORADORA	DIESEL	GASES Y LÍQUIDOS	EMISIONES DE GEI Y ACEITES
CARGA	TRACTOR Y EXCAVADORA	DIESEL	GASES Y LÍQUIDOS	EMISIONES DE GEI Y ACEITES
TRANSPORTE	VOLQUETES	DIESEL	GASES Y LÍQUIDOS	EMISIONES DE GEI Y ACEITES
TRITURACIÓN PRIMARIA	TRITURADOR DE MANDÍBULA	ELÉCTRICA	NO GENERA	NO
TRITURACIÓN SECUNDARIA	TRITURADOR CÓNICO	ELÉCTRICA	NO GENERA	NO
TRITURACIÓN TERCIARIA	TRITURADOR CÓNICO	ELÉCTRICA	NO GENERA	NO
DESPACHO	PALA CARGADORA	DIESEL	GASES Y LÍQUIDOS	EMISIONES DE GEI Y ACEITES

Tabla N° 8: Tipos de contaminantes generados Crespo J, 2016

ANEXO M

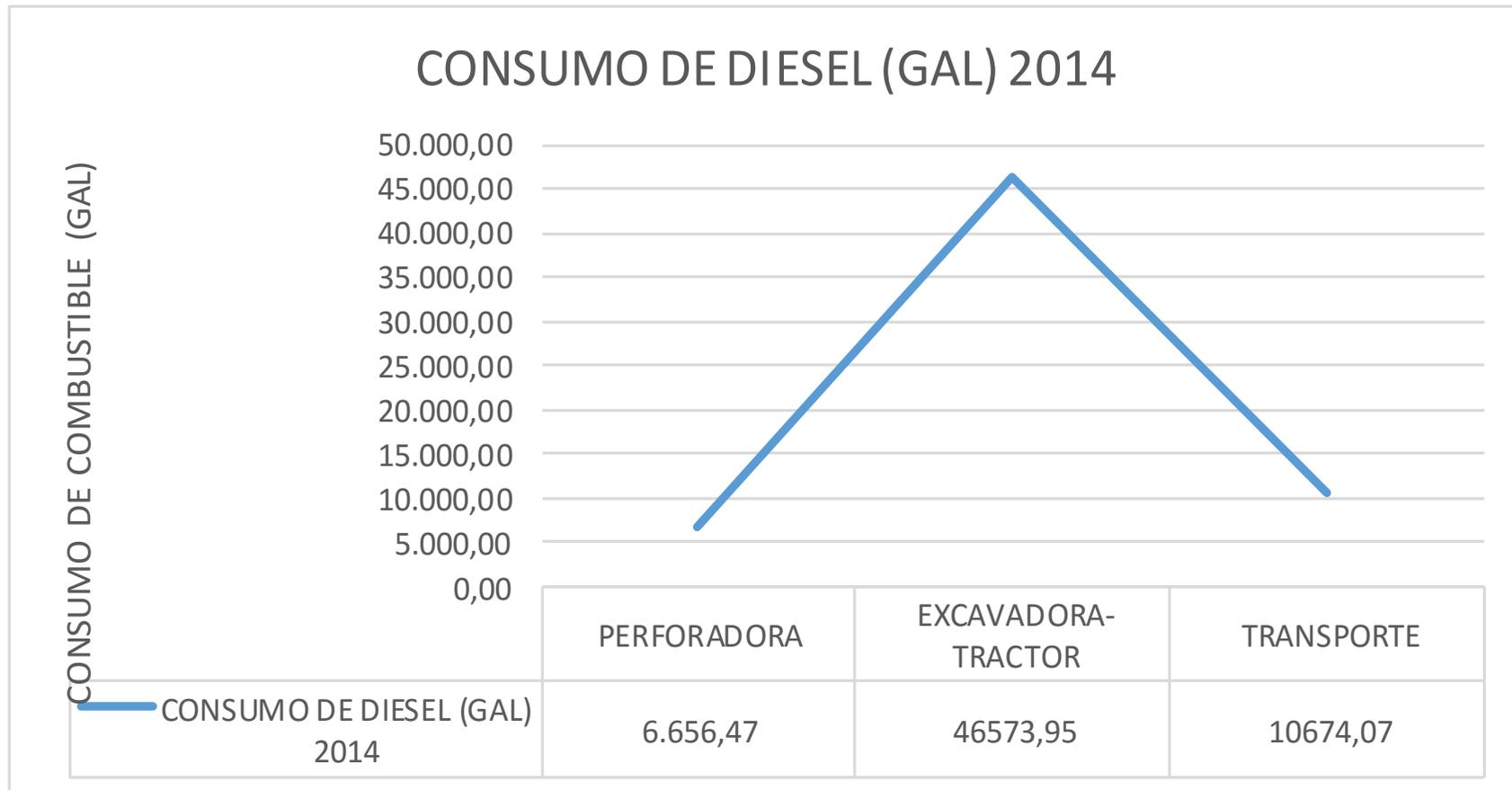


Figura N° 18: Consumo de combustible por equipos 2014. (Crespo J, 2016)

ANEXO N

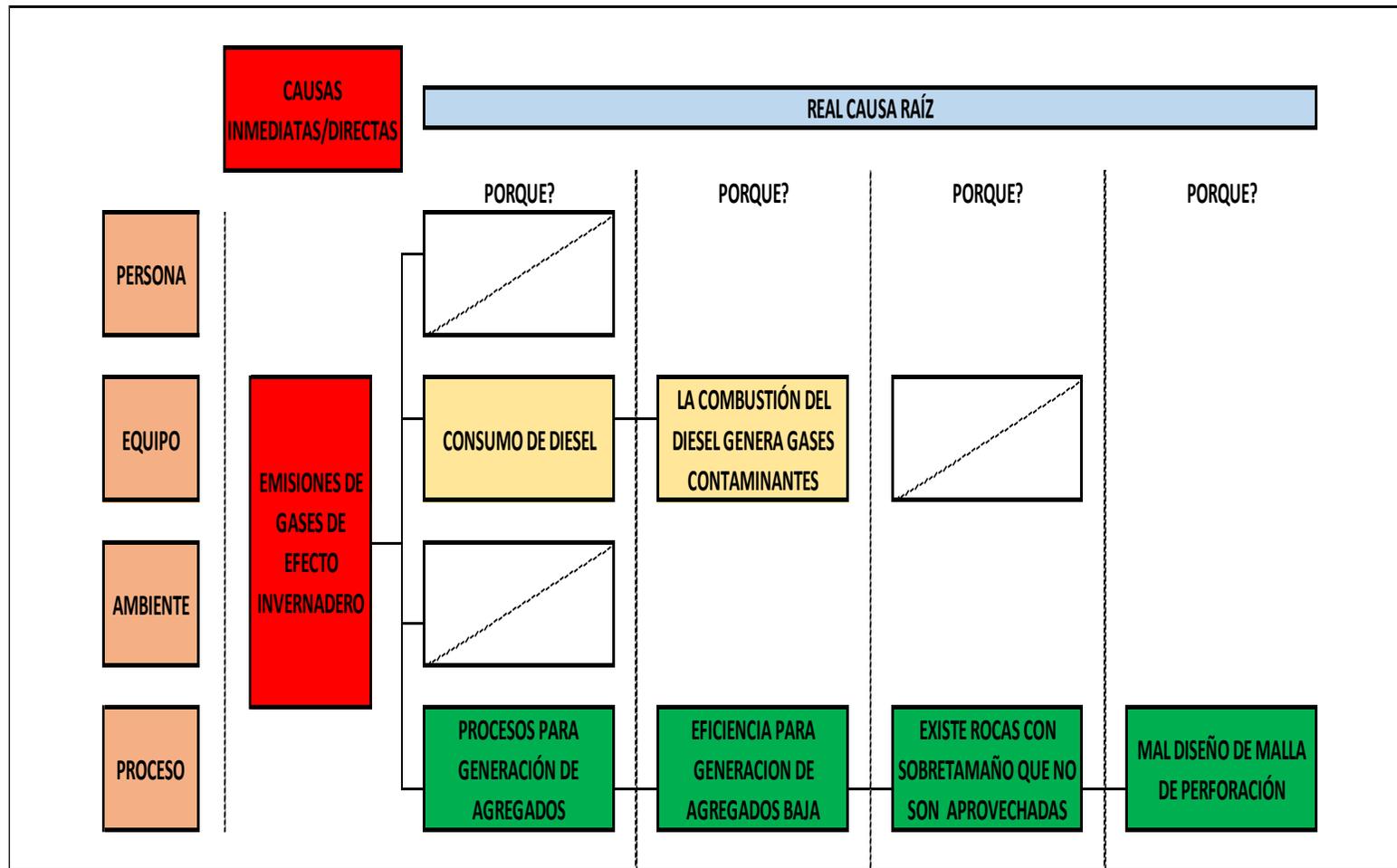


Figura N° 19: Análisis de Causa raíz (Crespo J, 2016)

ANEXO Ñ

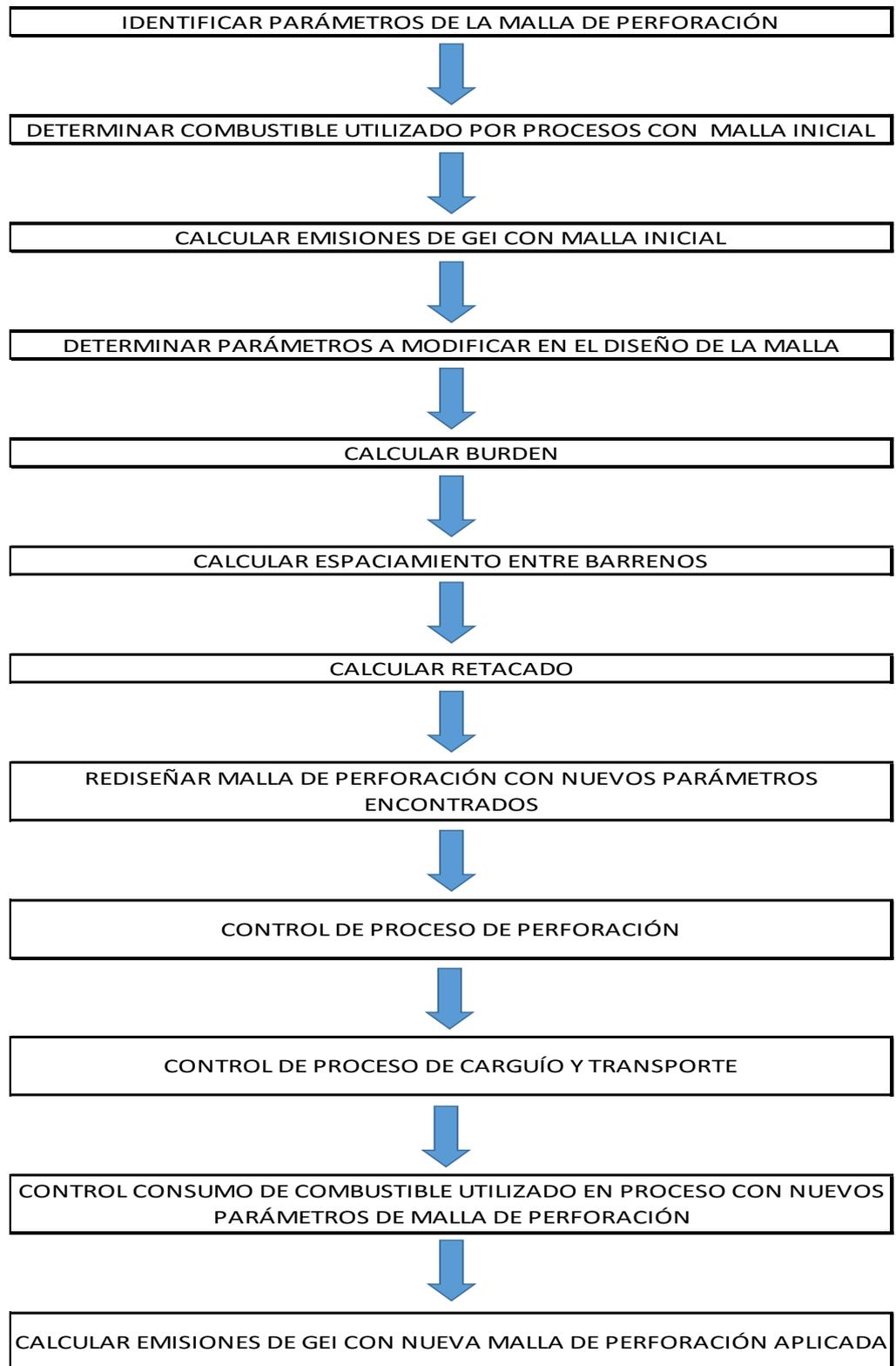


Figura N° 20. Diagrama de Metodología de trabajo para desarrollo de proyecto (Crespo J, 2016)

ANEXO O

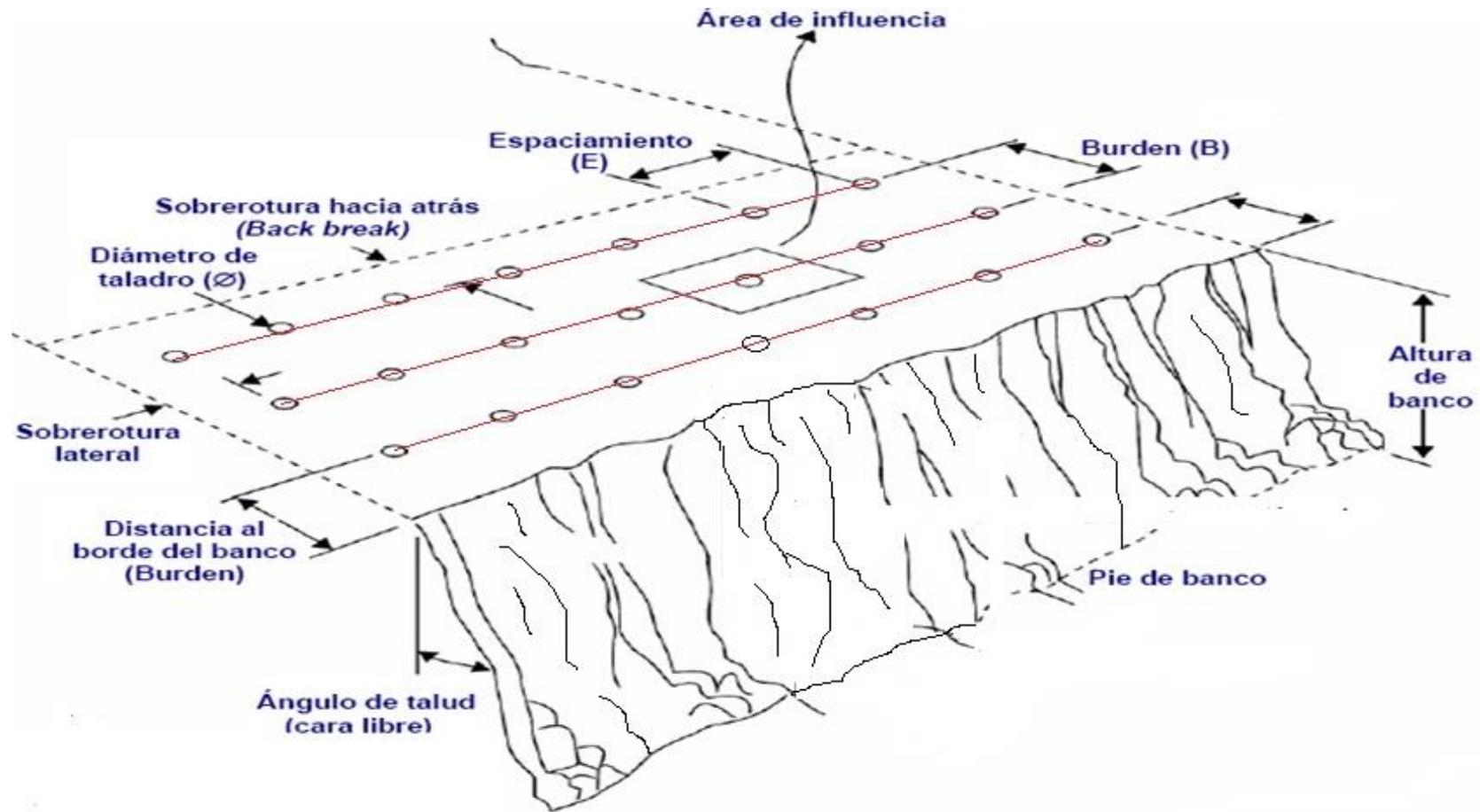


Figura N° 21: Parámetros a determinar en una malla de perforación (Centro Tecnológico de Voladura EXSA S.A 2009)

ANEXO P

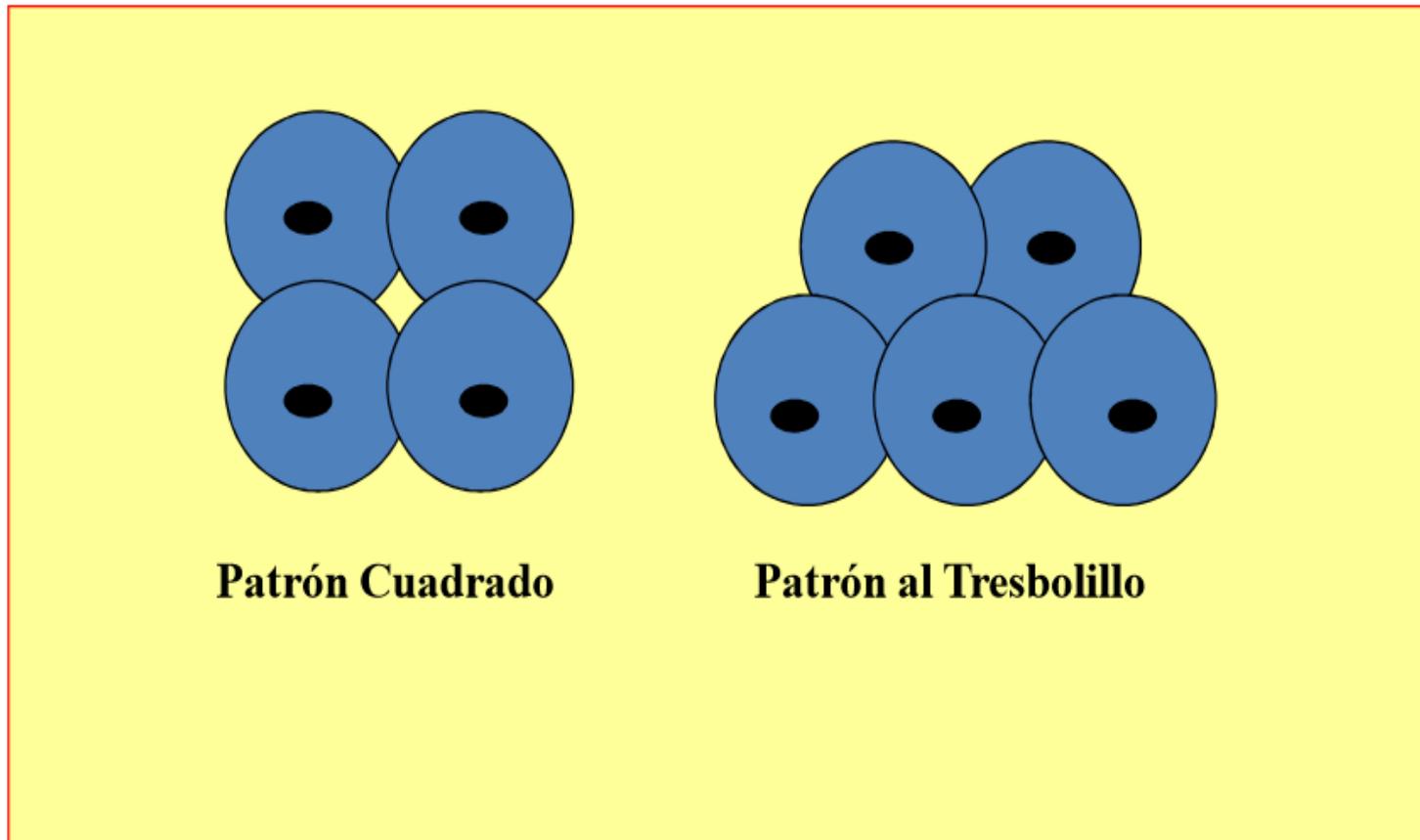


Figura N° 22: Disposición entre Barrenos (Crespo J, 2016)

ANEXO R

ESQUEMA DE PERFORACIÓN

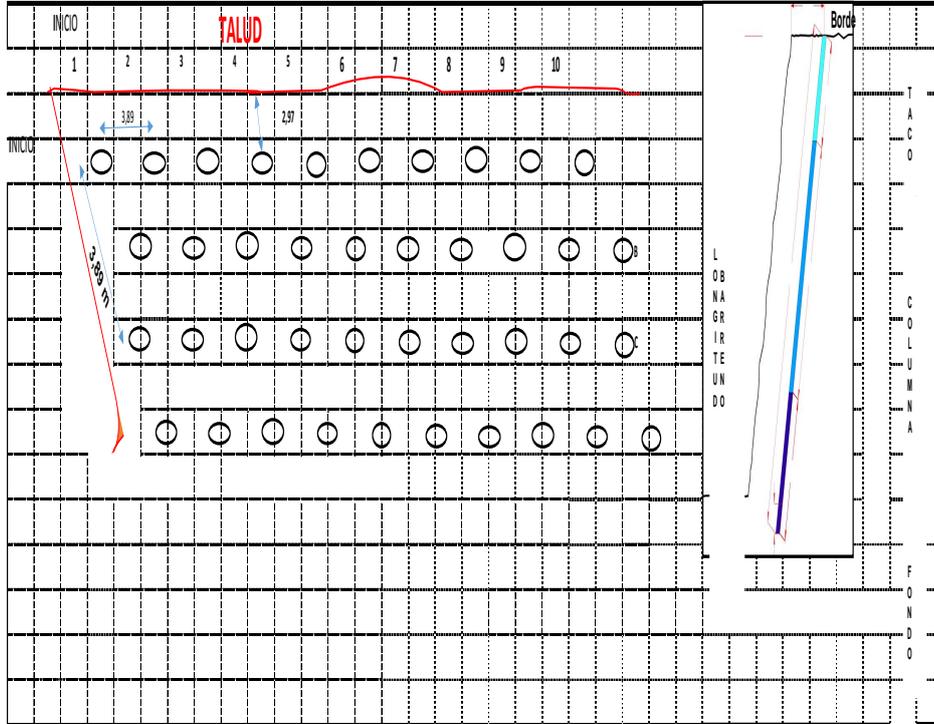
Planta: Pilo

Andesita Azul

Fecha:

HORA:

Nivel: 2838 m.s.n.m



GEOMETRÍA DE LA VOLADURA EN CAMPO		EXPLOSIVOS	
Longitud del TACO (m):	<u>3,0</u>	Long. Taladro (m):	<u>12,0</u>
Longitud de Columna (m):	<u>6,6</u>	Borde (m):	<u>3,0</u>
Longitud de fondo (m):	<u>2,4</u>	Espaciamiento(m):	<u>3,9</u>
Número de huecos:	<u>40,0</u>	Sobreperforación (m):	<u>0,76</u>
FECHA:	_____	Inclin vertical (°):	<u>10,0</u>
EXECUTOR:	<u>Jesús Crespo</u>	FRMA:	_____

FONDO		Terceros o paneles	
Pentonita 150g	_____ u	No.	Cantidad
Pentonita 450g	_____ u		
Emulsion 3"x16	_____ Kg		
Columna	_____ Kg		
Anfo	_____ Kg		
Anfo aluminizado:	_____ Kg		
ACCESORIOS	_____ m		
Mecha lenta	_____ u		
Conector supel	_____ m		

Figura N° 26 Diagrama de perforación para Andesita gris lajosa (Crespo J, 2016)

ANEXO S

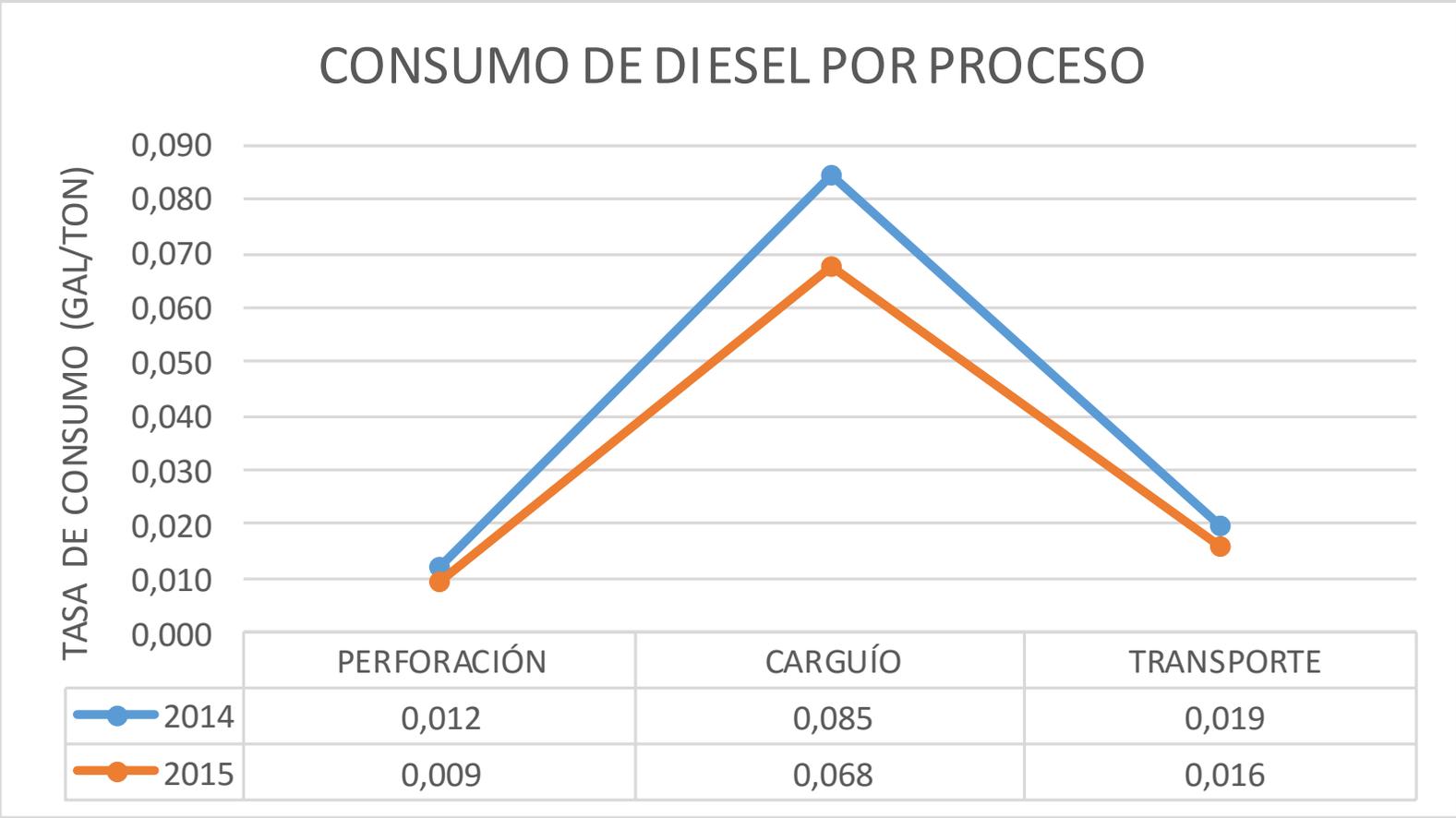


Figura N° 29: Consumo de combustible entre 2014 y 2015 (Crespo J, 2016)

ANEXO T

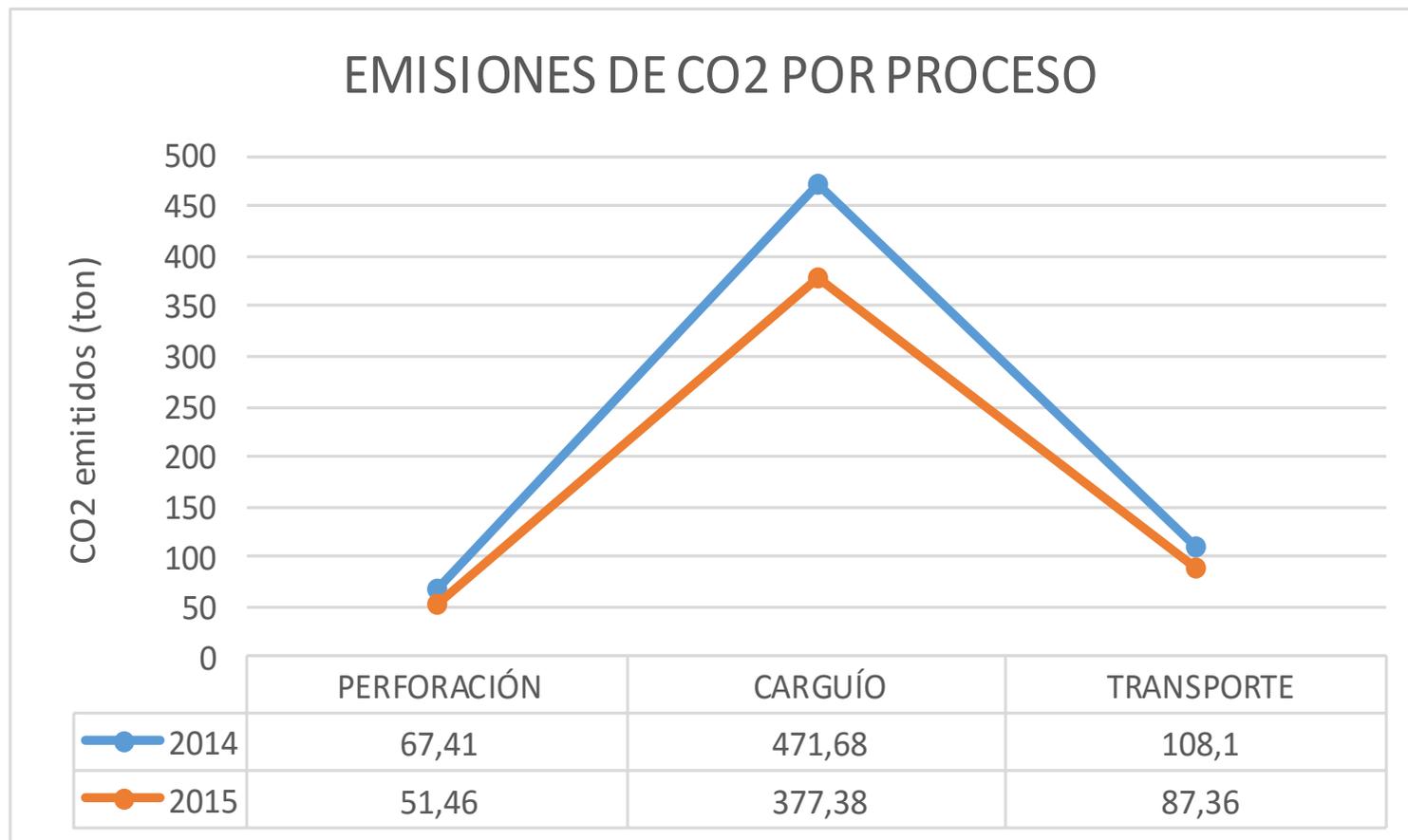


Figura N° 30: Emisiones de CO2 por proceso entre 2014 y 2015 (Crespo J, 2016)