



UNIVERSIDAD  
PRIVADA  
DEL NORTE

# FACULTAD DE INGENIERÍA

---

CARRERA DE INGENIERÍA DE MINAS

“EFECTO DE LA CÁMARA DE AIRE EN LA VOLADURA A TAJO ABIERTO PARA INCREMENTAR LA TASA DE EXCAVACIÓN (DIG RATE) EN EL TAJO TAPADO OESTE DE MINERA YANACOCCHA, CAJAMARCA 2017”.

Tesis para optar el título profesional de:

**Ingeniero de Minas**

**Autor:**

Br. Paola Yaquelin Machuca Cotrina

**Asesor:**

Mg. Ing. Danyer Stewart Girón Palomino

Cajamarca – Perú  
2018

## APROBACIÓN DE LA TESIS

El (La) asesor(a) y los miembros del jurado evaluador asignados, **APRUEBAN** la tesis desarrollada por el (la) Bachiller **Paola Yaquelin Machuca Cotrina**, denominada:

### **“EFECTO DE LA CÁMARA DE AIRE EN LA VOLADURA A TAJO ABIERTO PARA INCREMENTAR LA TASA DE EXCAVACIÓN (DIG RATE) EN EL TAJO TAPADO OESTE DE MINERA YANACocha, CAJAMARCA 2017”.**

---

Ing. Danyer Stewart Girón Palomino  
**ASESOR**

---

Ing. Daniel Alejandro Alva Huamán  
**JURADO  
PRESIDENTE**

---

Ing. Álvarez León Víctor Eduardo  
**JURADO**

---

Ing. Rafael Napoleón Ocas Boñon  
**JURADO**

## DEDICATORIA

A mis padres René y José, por ser el ejemplo de lucha constante, por sus consejos, por su infaltable dedicación en casa, el gran amor a Dios y a los demás.

A mis hermanos Iban y Diego, por quienes día a día trato de ser mejor persona, por ser ellos la rompecabezas que completa lo maravilloso de mi vida, mi familia.

A mis abuelitos, Paula y Manuel, por difundir desde pequeña en mí, el amor a Dios y a la familia, que con sus consejos diarios, enseñándome lo bueno y lo malo, ahora soy una mujer de bien y responsable.

A mis tíos, primos, y amigos por ser el pequeño aliento de motivación y superación ante las adversidades.

## AGRADECIMIENTO

En primer lugar agradezco a Dios, por sus bendiciones diarias, por darme bienestar, tranquilidad, y por todas las personas que me ha permitido conocer durante mi etapa universitaria, brindándome los conocimientos técnicos y prácticos necesarios para educarme.

Así mismo a la Universidad Privada del Norte, por ser el lugar de mi crecimiento profesional, por interesarse en el aprendizaje continuo de sus estudiantes y por brindarnos la comodidad necesaria para emprender nuevos proyectos y realizarlos exitosamente.

De igual manera agradecer a la empresa Minera Yanacocha, por permitirme aprender nuevos temas relacionados a Perforación y Voladura, por darme todo el respaldo ante algunas dudas con el desarrollo de mi tesis, un especial agradecimiento al Ing. Yorhinio León, por el gran trabajo que realiza, por ser mi soporte fundamental en el desarrollo de mi investigación y por su inmenso corazón humano. Y también gratificar a todos los trabajadores del área de Operaciones, Ing. Yuri Sáenz, Ing. Ronald Hernández y Asistencia Técnica de Exsa.

A mi director de carrera Ing. Alex Marinovic, por la paciencia y consejos durante su etapa de docente en la universidad contribuyendo a mi desarrollo profesional, así mismo a mi asesor Ing. Danyer Girón por su apoyo y compromiso en el desarrollo de mi trabajo. Y a mis amigos que fueron pieza esencial en el descubrimiento de nuevos episodios de mi vida profesional.

Finalmente agradezco a mis amados padres y hermanos, por ser mi motor para seguir adelante y cumplir con mis sueños, por permanecer en mi vida y por brindarme el aliento y apoyo necesario para culminar y empezar una meta más. A mi tía Rósula Cotrina, por su infaltable comprensión, consejos y los ánimos impartidos durante los años en la universidad. A Christa Quiroz, mi cómplice de aventuras, de divertidas experiencias, por ser parte de mi crecimiento personal y profesional, y por compartir conmigo escenarios de la vida, que forman parte de grandiosos recuerdos.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

|                                                   |             |
|---------------------------------------------------|-------------|
| <b>APROBACIÓN DE LA TESIS.....</b>                | <b>ii</b>   |
| <b>DEDICATORIA.....</b>                           | <b>iii</b>  |
| <b>AGRADECIMIENTO .....</b>                       | <b>iv</b>   |
| <b>ÍNDICE DE CONTENIDOS .....</b>                 | <b>v</b>    |
| <b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>                      | <b>vii</b>  |
| <b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>                    | <b>viii</b> |
| <b>RESUMEN.....</b>                               | <b>x</b>    |
| <b>ABSTRACT .....</b>                             | <b>xi</b>   |
| <b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....</b>              | <b>12</b>   |
| 1.1. Formulación del problema.....                | 12          |
| 1.2. Justificación.....                           | 12          |
| 1.2.1. Justificación teórica: .....               | 12          |
| 1.2.2. Justificación aplicativa o práctica: ..... | 12          |
| 1.3. Realidad problemática .....                  | 13          |
| 1.4. Limitaciones .....                           | 14          |
| 1.5. Objetivos .....                              | 14          |
| 1.5.1. Objetivo general.....                      | 14          |
| 1.5.2. Objetivos específicos.....                 | 14          |
| <b>CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.....</b>             | <b>15</b>   |
| 2.1. Antecedentes .....                           | 15          |
| 2.2. Bases teóricas.....                          | 16          |
| 2.2.1. Geología .....                             | 16          |
| 2.2.2. Cámaras de aire .....                      | 23          |
| 2.2.3. Clasificación de las cámaras de aire ..... | 28          |
| 2.2.4. Dig Rate .....                             | 32          |
| 2.2.5. Diseño de voladura en Yanacocha.....       | 33          |
| 2.3. Hipótesis: .....                             | 37          |
| <b>CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA.....</b>               | <b>38</b>   |
| 3.1. Operacionalización de variables .....        | 38          |
| 3.2. Diseño de investigación .....                | 38          |
| 3.3. Unidad de estudio .....                      | 39          |
| 3.4. Población .....                              | 39          |

|                                         |                                                                                            |           |
|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.5.                                    | Muestra .....                                                                              | 39        |
| 3.6.                                    | Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos .....                      | 39        |
| 3.6.1.                                  | <i>Instrumentos</i> .....                                                                  | 43        |
| 3.7.                                    | Métodos, instrumentos y procedimiento de análisis de datos .....                           | 44        |
| <b>CAPÍTULO 4. RESULTADOS .....</b>     |                                                                                            | <b>45</b> |
| 4.1.                                    | Recolectar información de voladuras convencionales .....                                   | 45        |
| 4.1.1.                                  | <i>Voladura TO-3432</i> .....                                                              | 45        |
| 4.1.2.                                  | <i>Voladura TO-3396</i> .....                                                              | 46        |
| 4.1.3.                                  | <i>Voladura TO-3360</i> .....                                                              | 48        |
| 4.1.4.                                  | <i>Evaluar su efecto en el Dig Rate</i> .....                                              | 49        |
| 4.2.                                    | Realizar pruebas en la voladura con el dispositivo cartuflex .....                         | 51        |
| 4.2.1.                                  | <i>Voladura TO-3420</i> .....                                                              | 51        |
| 4.2.2.                                  | <i>Voladura TO-3396</i> .....                                                              | 52        |
| 4.2.3.                                  | <i>Voladura TO-3384</i> .....                                                              | 53        |
| 4.2.4.                                  | <i>Evaluar su efecto en el Dig Rate</i> .....                                              | 55        |
| 4.3.                                    | Realizar pruebas en la voladura con el dispositivo Aquadeck .....                          | 56        |
| 4.3.1.                                  | <i>Voladura TO-3396</i> .....                                                              | 56        |
| 4.3.2.                                  | <i>Voladura TO-3432</i> .....                                                              | 57        |
| 4.3.3.                                  | <i>Voladura TO-3408</i> .....                                                              | 59        |
| 4.3.4.                                  | <i>Evaluar su efecto en el Dig Rate</i> .....                                              | 60        |
| 4.4.                                    | Comparación del Dig Rate sin usar cámaras de aire con el uso de Cartuflex y Aquadeck ..... | 62        |
| 4.4.1.                                  | <i>Voladuras TO-3432, TO-3420, TO-3396</i> .....                                           | 62        |
| 4.4.2.                                  | <i>Voladuras TO-3396, TO-3396, TO-3432</i> .....                                           | 64        |
| 4.4.3.                                  | <i>Voladuras TO-3360, TO-3384, TO-3408</i> .....                                           | 65        |
| 4.5.                                    | Dig Rate promedio final sin cámaras de aire, con cartuflex y Aquadeck .....                | 66        |
| 4.5.1.                                  | <i>Costo por taladro</i> .....                                                             | 67        |
| <b>CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN .....</b>      |                                                                                            | <b>72</b> |
| <b>CONCLUSIONES .....</b>               |                                                                                            | <b>73</b> |
| <b>RECOMENDACIONES .....</b>            |                                                                                            | <b>74</b> |
| <b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b> |                                                                                            | <b>75</b> |
| <b>ANEXOS .....</b>                     |                                                                                            | <b>77</b> |

## ÍNDICE DE TABLAS

|                                                                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| TABLA 1 ENSAMBLE CARACTERÍSTICO SEGÚN EL TIPO DE ALTERACIÓN .....                                                         | 23 |
| TABLA 2 DENSIDADES POR DUREZA DE LA ROCA .....                                                                            | 36 |
| TABLA 3 CRITERIOS BÁSICOS PARA EL DISEÑO DE MALLAS DE PERFORACIÓN Y CARGAS DE VOLADURA DEL TAJO<br>TAPADO OESTE.....      | 37 |
| TABLA 4 OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES A ESTUDIAR. ....                                                              | 38 |
| TABLA 5 FACTORES PUNTUALES DE CADA PROGRAMA PARA LA OBTENCIÓN CORRECTA DEL DIG RATE.....                                  | 43 |
| TABLA 6 RESUMEN DE LA VOLADURA TO-3432. ....                                                                              | 45 |
| TABLA 7 RESUMEN DE LA VOLADURA TO-3396. ....                                                                              | 47 |
| TABLA 8 RESUMEN DE LA VOLADURA TO-3360. ....                                                                              | 48 |
| TABLA 9 DIG RATE PROMEDIO POR POLÍGONO EN VOLADURAS SIN CÁMARAS DE AIRE. ....                                             | 49 |
| TABLA 10 DIG RATE PROMEDIO Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR SIN USAR CÁMARAS DE AIRE.....                                            | 50 |
| TABLA 11 RESUMEN DE LA VOLADURA TO-3420. ....                                                                             | 51 |
| TABLA 12 RESUMEN DE LA VOLADURA TO-3396. ....                                                                             | 52 |
| TABLA 13 RESUMEN DE LA VOLADURA TO-3384. ....                                                                             | 54 |
| TABLA 14 EFECTO DEL DIG RATE EN VOLADURAS CON CARTUFLEX. ....                                                             | 55 |
| TABLA 15 DIG RATE PROMEDIO Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR USANDO CARTUFLEX. ....                                                   | 56 |
| TABLA 16 RESUMEN DE LA VOLADURA TO-3396. ....                                                                             | 56 |
| TABLA 17 RESUMEN DE LA VOLADURA TO-3432. ....                                                                             | 58 |
| TABLA 18 RESUMEN DE LA VOLADURA TO-3408 .....                                                                             | 59 |
| TABLA 19 EFECTO DEL DIG RATE EN VOLADURAS CON AQUADECK. ....                                                              | 60 |
| TABLA 20 DIG RATE PROMEDIO Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR USANDO AQUADECK. ....                                                    | 62 |
| TABLA 21 RESULTADO DEL DIG RATE, EN MALLAS DE 6 x 7 Y ROCA DURA.....                                                      | 62 |
| TABLA 22 DIFERENCIA EN PORCENTAJE AL COMPARAR EL DIG RATE SIN CÁMARAS DE AIRE CON EL USO DE<br>CARTUFLEX Y AQUADECK. .... | 63 |
| TABLA 23 RESULTADO DEL DIG RATE, EN MALLAS DE 6.5 x 7.5 Y ROCA DURA. ....                                                 | 64 |
| TABLA 24 DIFERENCIA EN PORCENTAJE AL COMPARAR EL DIG RATE SIN CÁMARAS DE AIRE CON EL USO DE<br>CARTUFLEX Y AQUADECK. .... | 65 |
| TABLA 25 RESULTADO DEL DIG RATE, EN MALLAS DE 7 x 8 Y ROCA MEDIA. ....                                                    | 65 |
| TABLA 26 DIFERENCIA EN PORCENTAJE AL COMPARAR EL DIG RATE SIN CÁMARAS DE AIRE CON EL USO DE<br>CARTUFLEX Y AQUADECK. .... | 66 |
| TABLA 27 DIG RATE PROMEDIO FINAL UTILIZANDO CÁMARAS DE AIRE VS SIN CÁMARAS DE AIRE.....                                   | 66 |
| TABLA 28 COSTO/TALADRO SIN USAR CÁMARA DE AIRE. ....                                                                      | 70 |
| TABLA 29 COSTO/TALADRO USANDO CARTUFLEX.....                                                                              | 70 |
| TABLA 30 COSTO/TALADRO USANDO AQUADECK. ....                                                                              | 71 |
| TABLA 31 RESUMEN COSTO/TALADRO USANDO Y NO LAS CÁMARAS DE AIRE.....                                                       | 71 |
| TABLA 32 COSTO ANUAL AL UTILIZAR Y NO LAS CÁMARAS DE AIRE EN EL AÑO 2017. ....                                            | 71 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| FIGURA 1-1 RAJADURAS EN LA INSTALACIÓN DE LA CÁMARA DE AIRE.....                                                              | 12 |
| FIGURA 1-2 CÁMARA DE AIRE MAL UBICADA, SE INFLÓ ANTES DE BAJAR A LA ALTURA DESEADA.....                                       | 13 |
| FIGURA 2-1 MAPA GEOLÓGICO REGIONAL. ....                                                                                      | 17 |
| FIGURA 2-2 COLUMNA ESTRATIGRÁFICA GENERALIZADA PARA EL DISTRITO YANACocha. ....                                               | 19 |
| FIGURA 2-3 DEPÓSITO YANACocha MOSTRANDO LA HUELLA DE LA DIATREMA CENTRAL. ....                                                | 20 |
| FIGURA 2-4 SECCIÓN TRANSVERSAL MOSTRANDO ALTERACIONES DEL YACIMIENTO. ....                                                    | 21 |
| FIGURA 2-5 ALTERACIÓN ARGÍLICO AVANZADO.....                                                                                  | 22 |
| FIGURA 2-6 UBICACIÓN DE CÁMARAS DE AIRE EN LA COLUMNA EXPLOSIVA.....                                                          | 23 |
| FIGURA 2-7 PRIMERA ETAPA DEL FUNCIONAMIENTO DE LA CÁMARA DE AIRE: DISEÑO DE CARGUÍO.....                                      | 24 |
| FIGURA 2-8 SEGUNDA ETAPA DEL FUNCIONAMIENTO DE LA CÁMARA DE AIRE: PROCESO DE EQUILIBRIO.....                                  | 25 |
| FIGURA 2-9 TERCERA ETAPA DEL FUNCIONAMIENTO DE LA CÁMARA DE AIRE: TRANSMISIÓN DE LA ENERGÍA AL<br>MEDIO. ....                 | 26 |
| FIGURA 2-10 CUARTA ETAPA DEL FUNCIONAMIENTO DE LA CÁMARA DE AIRE: REFLEXIÓN DE LAS ONDAS DE<br>CHOQUE. ....                   | 27 |
| FIGURA 2-11 QUINTA ETAPA DEL FUNCIONAMIENTO DE LA CÁMARA DE AIRE: INTERACCIÓN DE TALADROS CON<br>CÁMARA DE AIRE AL FONDO..... | 27 |
| FIGURA 2-12 CÁMARA DE AIRE TAPONEX.....                                                                                       | 28 |
| FIGURA 2-13 CÁMARA DE AIRE CARTUFLEX .....                                                                                    | 29 |
| FIGURA 2-14 CÁMARA DE AIRE EXPLODECK. ....                                                                                    | 30 |
| FIGURA 2-15 CÁMARA DE AIRE AQUADECK. ....                                                                                     | 31 |
| FIGURA 3-1 UTILIZACIÓN DE LA CÁMARA DE AIRE CARTUFLEX EN CAMPO. ....                                                          | 40 |
| FIGURA 3-2 UTILIZACIÓN DE LA CÁMARA DE AIRE AQUADECK EN CAMPO. ....                                                           | 41 |
| FIGURA 4-1 CARGUÍO DE TALADROS TO -3396, 01 DE ABRIL 2017. ....                                                               | 42 |
| FIGURA 3-3PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS DE DATOS PARA OBTENER EL DIG RATE. ....                                                   | 42 |
| FIGURA 3-4 UTILIZACIÓN DE MAPTEK VULCAN, PARA LA IDENTIFICACIÓN DE LAS MALLAS CON LOS POLÍGONOS<br>RESPECTIVOS. ....          | 43 |
| FIGURA 4-2 CARGUÍO DE TALADROS, BANCO TO-3432. ....                                                                           | 46 |
| FIGURA 4-3 FOTO FRAGMENTACIÓN POST VOLADURA TO-3432. ....                                                                     | 46 |
| FIGURA 4-4 CARGUÍO DE TALADROS, BANCO TO-3396. ....                                                                           | 47 |
| FIGURA 4-5 FOTO FRAGMENTACIÓN POST VOLADURA TO 3396.....                                                                      | 47 |
| FIGURA 4-6 CARGUÍO DE TALADROS, BANCO TO-3360. ....                                                                           | 48 |
| FIGURA 4-7 FOTO FRAGMENTACIÓN POST VOLADURA TO 3360.....                                                                      | 49 |
| FIGURA 4-8 DIG RATE PROMEDIO DE LAS TRES VOLADURAS SIN USAR CÁMARAS DE AIRE. ....                                             | 50 |
| FIGURA 4-9 CARGUÍO DE TALADROS, BANCO TO-3420. ....                                                                           | 51 |
| FIGURA 4-10 FOTO FRAGMENTACIÓN POST VOLADURA TO 3420.....                                                                     | 52 |
| FIGURA 4-11 VOLADURA TO-3396, USANDO CARTUFLEX. ....                                                                          | 53 |
| FIGURA 4-12 FOTO FRAGMENTACIÓN POST VOLADURA TO 3396.....                                                                     | 53 |
| FIGURA 4-13 CARGUÍO DE TALADROS, BANCO TO-3384. ....                                                                          | 54 |
| FIGURA 4-14 FOTO FRAGMENTACIÓN POST VOLADURA TO 3384.....                                                                     | 54 |
| FIGURA 4-15 DIG RATE PROMEDIO DE LAS TRES VOLADURAS USANDO CARTUFLEX.....                                                     | 55 |
| FIGURA 4-16 VOLADURA TO-3396, USANDO AQUADECK.....                                                                            | 57 |
| FIGURA 4-17 FOTO FRAGMENTACIÓN POST VOLADURA TO 3396.....                                                                     | 57 |

|                                                                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| FIGURA 4-18 CARGUÍO DE TALADROS, BANCO TO-3432. ....                                                                                       | 58 |
| FIGURA 4-19 FOTO FRAGMENTACIÓN POST VOLADURA TO 3432.....                                                                                  | 58 |
| FIGURA 4-20 CARGUÍO DE TALADROS, BANCO TO-3408. ....                                                                                       | 60 |
| FIGURA 4-21 FOTO FRAGMENTACIÓN POST VOLADURA TO 3408.....                                                                                  | 60 |
| FIGURA 4-22 DIG RATE PROMEDIO DE LAS TRES VOLADURAS USANDO AQUADECK.....                                                                   | 61 |
| FIGURA 4-23 RESULTADO DEL DIG RATE SIN USAR CÁMARAS DE AIRE Y EMPLEANDO AQUADECK Y CARTUFLEX<br>EN MALLAS DE 6X7 EN TERRENO DURO. ....     | 63 |
| FIGURA 4-24 RESULTADO DEL DIG RATE SIN USAR CÁMARAS DE AIRE Y EMPLEANDO AQUADECK Y CARTUFLEX<br>EN MALLAS DE 6.5X7.5 EN TERRENO DURO. .... | 64 |
| FIGURA 4-25 RESULTADO DEL DIG RATE SIN USAR CÁMARAS DE AIRE Y EMPLEANDO AQUADECK Y CARTUFLEX<br>EN MALLAS DE 7X8 EN TERRENO MEDIO. ....    | 65 |
| FIGURA 4-26 DIG RATE AL USAR LAS CÁMARAS DE AIRE AQUADECK Y CARTUFLEX EN LAS VOLADURAS VS SIN<br>EL USO DE CÁMARAS DE AIRE. ....           | 67 |
| FIGURA 4-27 DISEÑO DE CARGA TRADICIONAL, SIN CÁMARAS DE AIRE.....                                                                          | 68 |
| FIGURA 4-28 DISEÑO DE CARGA UTILIZANDO CÁMARAS DE AIRE.....                                                                                | 69 |

## RESUMEN

La presente investigación se realizó en Minera Yanacocha SRL, en los bancos del tajo tapado oeste TO-3408, TO-3420, TO-3384, TO-3432, TO-3396 y TO-3360, durante el año 2017 para evaluar el efecto de las cámaras de aire en la voladura para incrementar la tasa de excavación (Dig Rate). Debido a los problemas presentes en mina como la baja de producción en los últimos años, se decidió reducir costos; y una manera de contribuir a su reducción se optó por usar cámaras de aire para comprobar y demostrar el incremento del Dig Rate. Se realizaron 9 voladuras en terrenos con alteraciones Argílico avanzado - propilítico y con dureza de roca de media a dura (45 MPa – 80 MPa), respectivamente. En 3 voladuras no se utilizó cámaras de aire y en las 6 voladuras siguientes se utilizó Cartuflex, y Aquadeck. En todas las voladuras se hicieron las evaluaciones correspondientes del Dig Rate y los resultados promedio en el Dig Rate en voladuras convencionales fueron de 2,405 t/h con una desviación estándar de  $\pm 312$  y coeficiente de variación de 13%; con Cartuflex el Dig Rate promedio fue de 3,247 t/h con una desviación estándar de  $\pm 284$  y su coeficiente de variación de 9% y finalmente con Aquadeck el Dig Rate promedio fue de 4,549 t/h con su desviación estándar de  $\pm 549$  y su coeficiente de variación de 12%. El estudio demostró que el uso de cámaras de aire en la voladura tiene un efecto positivo incrementando el Dig Rate en 35% con el uso de Cartuflex y un 85% con Aquadeck, el uso de estos dispositivos generó un ahorro anual de US\$154,850.00 usando Aquadeck y US\$144,350.00 con Cartuflex.

## ABSTRACT

This study was developed in Yanacocha mine, in Tapado Oeste pit, benches TO-3408, TO-3420, TO-3384, TO-3432, TO-3396 and TO-3360, during 2017 to evaluate the effect of air decks in blasting to increase the dig rate. Due to several problems in the mine, such as decreasing production in recent years, and in order to lower costs; two types of air decks were tested to prove their impact in increasing the dig rate. Nine blasts were carried out on areas with advanced Argilic - propylitic alterations and with medium to hard rock hardness (45 MPa - 80 MPa), respectively. In 3 blasts, no air decks were used, and in the following 6 blasts, Cartuflex and Aquadeck air decks were used. In all the tests, the corresponding evaluations of the Dig Rate were made, and the average results in the Dig Rate in conventional blasts were 2,405 t / h. with a standard deviation of  $\pm 312$  and coefficient of variation 13%; with Cartuflex the average Dig Rate was 3,247 t / h with a standard deviation of  $\pm 284$  and coefficient of variation 9% and with Aquadeck the average Dig Rate was 4,549 t / h with a standard deviation of  $\pm 549$  and coefficient of variation 12%. The study showed that the use of air decks in blasting, have a positive effect, by increasing Dig Rate in 36% with the use of Cartuflex and 85% with Aquadeck. The use of these decks generated an annual saving of US \$ 154,850.00 using Aquadeck and US \$ 144,350.00 with Cartuflex

## **CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN**

### **1.1. Formulación del problema**

¿Cuál es el efecto de la cámara de aire en la voladura a tajo abierto para incrementar la tasa de excavación (Dig Rate) en el tajo tapado oeste de Minera Yanacocha, Cajamarca 2017?

### **1.2. Justificación**

#### **1.2.1. Justificación teórica:**

La presente investigación se justifica teóricamente porque no existe información bibliográfica relacionada al impacto de las cámaras de aire en el Dig Rate.

#### **1.2.2. Justificación aplicativa o práctica:**

Los resultados de este tema de investigación serán de mucha importancia para el área Operaciones mina; en Yanacocha, porque el dispositivo elegido será muy bueno, cumplirá con todas sus funciones dentro del taladro, tendrá un costo aceptable y será el pilar principal a que se obtenga una buena fragmentación post voladura generándose un aumento en el Dig Rate. Así mismo ya no se harán nuevos pedidos, no se desperdiciará tiempo ni dinero realizando pruebas con los distintos dispositivos, el carguío y llenado de taladros será más rápido, debido a que su armado no necesitará de mucho esfuerzo, además de ser práctico y eficiente.



Figura 1-1 Rajaduras en la instalación de la cámara de aire.

Así mismo, generar cámaras de aire en taladros irregulares y con presencia de agua, ya sea por temas climáticos o por las mismas condiciones de terreno es uno de los mayores problemas en Yanacocha; es importante mencionar que cuando creas espacios libres de aire dentro del taladro hay un menor costo por taladro, y una buena fragmentación; debido a esto es de vital importancia encontrar una cámara de aire que

funcione perfectamente en taladros irregulares, y que realice el mismo trabajo en taladros secos, con sus mismas acciones y beneficios.



Figura 1-2 Cámara de aire mal ubicada, se infló antes de bajar a la altura deseada.

### 1.3. Realidad problemática

El área de operaciones mina es la columna vertebral dentro del desarrollo de un proyecto minero, y una de las actividades importantes que necesita tomar decisiones minuciosas y complejas es el área de perforación y voladura, en Yanacocha actualmente se realizan voladuras convencionales y son muchas las empresas contratistas que ofrecen sus productos para realizar pruebas con los dispositivos, esto implica inversión de tiempo y dinero para conocer cómo es que trabaja cada cámara de aire y si su uso contribuye a lo esperado en la voladura, es decir, obtener una buena fragmentación, minimizar costos, e incrementar la productividad de los equipos de carguío y transporte. Una excelente opción es usar dispositivos que generen espacios vacíos dentro del taladro llamadas cámaras de aire, según Chiappetta (2004), una nueva técnica de voladura ha sido desarrollada por International Technologies, para eliminar la sobreperforación, las vibraciones, mejorar la fragmentación y reducir el costo por explosivo. Esta técnica se refiere al uso de las cámaras de aire, los resultados han sido buenos: se eliminó la sobreperforación, se redujo las vibraciones hasta 33%, el consumo de explosivo de un 16 a 25%, y la fragmentación en un 25%, pruebas realizadas en Pennsylvania, EE.UU. Así mismo Ortiz, Canchari y Postigo (2007), en su trabajo de investigación “Incremento de la rentabilidad de operaciones mineras a cielo abierto por la eliminación de la sobreperforación”, manifiestan que la eliminación de la sobreperforación mediante el uso de cámaras de aire en taladros de producción incrementa la rentabilidad de las operaciones mineras superficiales debido a menor costo de perforación y voladura, disminución de la vibraciones dentro y fuera del taladro, mayor estabilidad en bermas y

taludes, incremento de la productividad de los equipos de perforación, carguío, acarreo y chancado por mejora en la fragmentación del mineral de mina.

Optimizar procesos y reducir costos en Yanacocha en sus últimas etapas de producción, es contribuir a un ahorro muy bueno de la mina, y una buena forma de ahorrar dinero, manteniendo la productividad o incrementando sus índices de producción es haciendo uso de estos dispositivos en la voladura, gracias al avance de la tecnología a nivel internacional como nacional se cuenta con variados dispositivos especializados en formar espacios de aire en el interior del taladro adecuándose perfectamente a las paredes de este, en su mayoría son diseñados para terrenos secos o inundados, y que ayudan a generar un ahorro considerado de explosivo. Ayala, Cabrera y Cruzado (s.f), en su investigación “Uso de cámaras de aire para la minimización de costos y optimización de resultados en voladura” determinaron una disminución de costo de diseño de perforación y voladura obteniendo un 15.88% menos del costo al diseñar sin cámaras de aire, además de reducir las vibraciones de 2.62 mm/s a 2.41 mm/s.

#### **1.4. Limitaciones**

La limitación principal que presenta este tema de investigación es el tiempo y presupuesto limitado para el desarrollo de la indagación, debido a que se estableció un tiempo límite para la realización de las pruebas respectivas; y el presupuesto necesario para emplear las cámaras de aire en las voladuras.

#### **1.5. Objetivos**

##### **1.5.1. Objetivo general**

Determinar el efecto de la cámara de aire en la voladura a tajo abierto para incrementar la tasa de excavación (Dig Rate) en el tajo tapado oeste de minera Yanacocha, Cajamarca 2017.

##### **1.5.2. Objetivos específicos**

- ❖ Recolectar y analizar información de voladuras convencionales para evaluar su efecto en el Dig Rate.
- ❖ Realizar pruebas en la voladura con el dispositivo Cartuflflex para evaluar los efectos en el Dig Rate.
- ❖ Realizar pruebas en la voladura con el dispositivo Aquadeck para evaluar los efectos en el Dig Rate.
- ❖ Comparar costo/taladro y el ahorro anual con la utilización de cámaras de aire.

## CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes

- Montiel (2014), menciona que con la implementación adecuada de la cámara de aire en la voladura, se reduce la cantidad de explosivo. Para cada tipo de roca donde se pretenda efectuar la cámara de aire deberá efectuarse pruebas para encontrar la altura óptima, el nivel de eliminación de la sobreperforación y la nueva configuración de la carga explosiva.
- Chiappetta (2004), en su investigación demuestra que hace dos años y medio, los operadores de minas de todo el mundo han logrado importantes ahorros de costos y aumentos de productividad. . En una mina de América del Sur, el consumo de explosivos se ha reducido hasta en un 50% sin cambios significativos en los resultados generales de la explosión. Pero la reducción explosiva promedio suele ser entre 10 y 40%.
- Jhanwar y Jethwa (2000), manifiestan que la técnica de voladura con cámaras de aire fue muy efectiva en rocas blandas y medianas en una mina de carbón a cielo abierto en la India. El costo explosivo se redujo en un 10-35% dependiendo del tipo de masa rocosa.
- Ortiz, Canchari y Postigo (2007), consideraron que la sobreperforación en la malla de perforación de producción en minería superficial puede reducirse o eliminarse mediante el uso de cámaras de aire en el fondo de los taladros de producción. La eliminación de la sobreperforación incrementará la rentabilidad de las operaciones mineras superficiales debido a: menor costo de perforación y voladura, incremento de la productividad de los equipos de perforación, carguío y acarreo. Las pruebas efectuadas en una cantera de caliza con roca de dureza media demuestran la factibilidad del método.
- Quispe (2014), demuestra que el uso de cámaras de aire en el Proyecto Constancia, permitió ahorrar \$119,282.00 en el periodo Julio a septiembre 2014 utilizando el tapón Taponex.
- Quispe (2016), concluye que los costos unitarios para los procesos de perforación y voladura son menores con el uso de las cámaras de aire, debido al menor consumo específico por columna explosiva. El promedio está alrededor de 0,48 US\$/t muy por debajo de los costos estándar de otras compañías que bordean los 0,80 US\$/TM en yacimientos similares al de las pruebas.
- Vásquez (2017), manifiesta que al implementar el uso de cámaras de aire en la columna explosiva permite optimizar el proceso de voladura empleando 23 kg menos de explosivo, disminuyendo el factor de potencia de 0,39 kg/TM para taladro tradicional a 0.33 kg/TM para taladro con cámara de aire, asimismo se mejoró la fragmentación de mineral al reducir el tamaño de 4.83 pulg a 3.84 pulg, facilitando notablemente las operaciones de carguío y

transporte; se redujo el costo de 0,28 a 0.24 US\$/TM, significando un ahorro de orden de 14.3%.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Geología**

El tipo de terreno en donde se realizaron las pruebas presenta alteraciones Argílica avanzado y propilítico, un factor importante para determinar el tipo de alteración es la coloración del material, pero no es determinativo; por ejemplo las alteraciones propilíticas muestran coloraciones verdosas debido a la clorita, el ensamble característico es Epidota-clorita-calcita-pirita, es común encontrar los minerales frescos o semi alterados. Comúnmente se encuentra relacionadas las coloraciones opacas con la sílice masiva mientras tanto que las blanquecinas a ligeramente rojizas (presencia de óxidos) son propios de la alteración sílice granular o sílice suave a argílico avanzado. La coloración plomiza oscura es propia de la alteración argílica (presencia de sulfuro, mayormente pirita), se tiene presente que esta característica es repetitiva en los tajos, pero no son determinativas, hay que estar al tanto de cualquier cambio mineralógico y tener presente el ensamble que caracterice a cada tipo de alteración.

#### **2.2.1.1. Geología regional**

Según Vilela (2014), en su tesis menciona sobre la geología: “La litología del basamento de la región de Yanacocha está caracterizada por una secuencia deformada de sedimentos de edad cretácica, los cuales fueron erosionados hasta lograr una superficie de bajo relieve, antes de la deposición del Complejo Volcánico Yanacocha del Mioceno medio”.

El Complejo Volcánico Yanacocha (CVY: 11-12.5 Ma) ha sido subdividido en una serie de cinco ciclos magmáticos eruptivo/intrusivos. El CVY se encuentra generalmente confinado dentro de una depresión volcano-tectónica alargada (24 km de diámetro), con tendencia NE-SW. El distrito Minero de Yanacocha se ubica en la intersección de fallas regionales andinas, con dirección NW-SE, y el corredor estructural Transandino Chicama – Yanacocha que tiene tendencia NE-SW, como se puede observar en la (Figura 2-1):

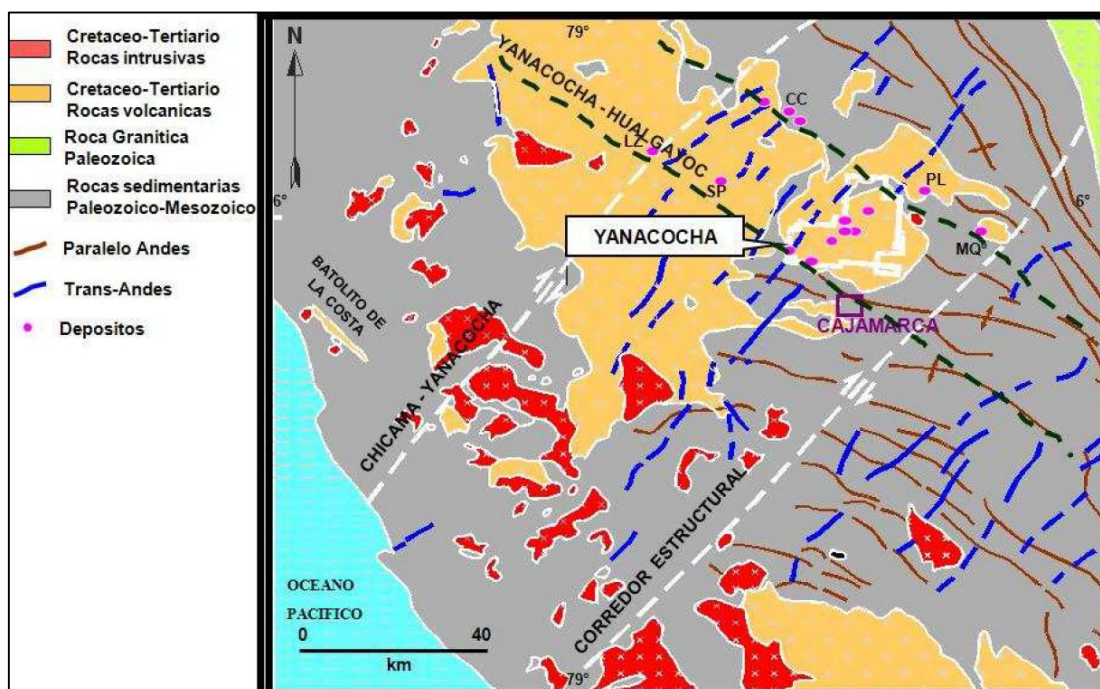


Figura 2-1 Mapa geológico regional.

Fuente: Merino, 2005, p. 16.

La Secuencia Basal Andesítica inferior del CVY envuelve una serie de lavas andesíticas y complejos de domos de flujo andesítico con menos cantidades de flujos piroclásticos intercalados. Luego de una fase inicial de volcanismo ocurrió un periodo de reposo, sin erupciones, durante el cual se produce actividad hidrotermal ácida temprana alterando la Secuencia Basal Andesítica antes mencionada. La sedimentación durante este periodo estuvo caracterizada por ocurrencias locales de sílice coloidal bandeada, la cual fue depositada en lagos ácidos que se formaron en ligeras depresiones topográficas o cráteres, asociados a la actividad hidrotermal temprana y a chimeneas volcánicas.

El periodo de reposo fue seguido por una intensa actividad de explosiones volcánicas, las cuales resultaron en la deposición extensa de flujos ignimbríticos pobremente cristalizados con componentes andesíticos ricos en cuarzo perteneciente a la Secuencia Piroclástica Superior. Esta litología fragmental incluye clastos de rocas volcánicas previamente alteradas, lo que hace suponer que la fase inicial de alteración tipo "Alta sulfuración" y la silicificación ocurrieron antes de la erupción.

Algunos domos dacíticos del siguiente ciclo magmático fueron emplazados dentro de la Secuencia Piroclástica Superior. Cristales de cuarzo y piroclastos líticos están espacialmente asociados con estos domos dacíticos. Esta etapa magmática se superpone

a un segundo periodo de alteración tipo “Alta sulfuración” y silicificación en las litologías del CVY.

El ciclo magmático final del CVY fue caracterizado por erupciones freáticas violentas en múltiples etapas, las cuales produjeron brechas heterolíticas que cortaron a través de todas las litologías y alteraciones previas. Posteriormente, en varias etapas, diques fluidizados de baja y alta pendiente cortaron las primeras etapas de brechas freáticas. En la etapa final, una fase volcánica resurgente concluyó con el emplazamiento de diatremas andesítico-latíticas y complejos de domos de flujos de textura porfírica ricos en feldespatos.

Tobas formadas por flujos de cenizas post-mineralización de la Formación Huambos (8.4 – 9.9 Ma), se encuentran expuestas alrededor del perímetro exterior del CVY estando también representadas por cuerpos menores intrusivos riolíticos contemporáneos en el área de la Laguna Yanacocha. Finalmente, la actividad glacial ha erosionado especialmente a las rocas débilmente argilizadas, así como también a las alteraciones de cuarzo granular compacto, mientras que litologías silicificadas masivamente y la “vuggy silica” se han preservado como elevaciones topográficas. Extensas morrenas han sido construidas exclusivamente en base a derrubios por alteración tipo “Alta sulfuración”, provenientes del CVY.

La (Figura 2-2) muestra una columna estratigráfica generalizada para el distrito Yanacocha.

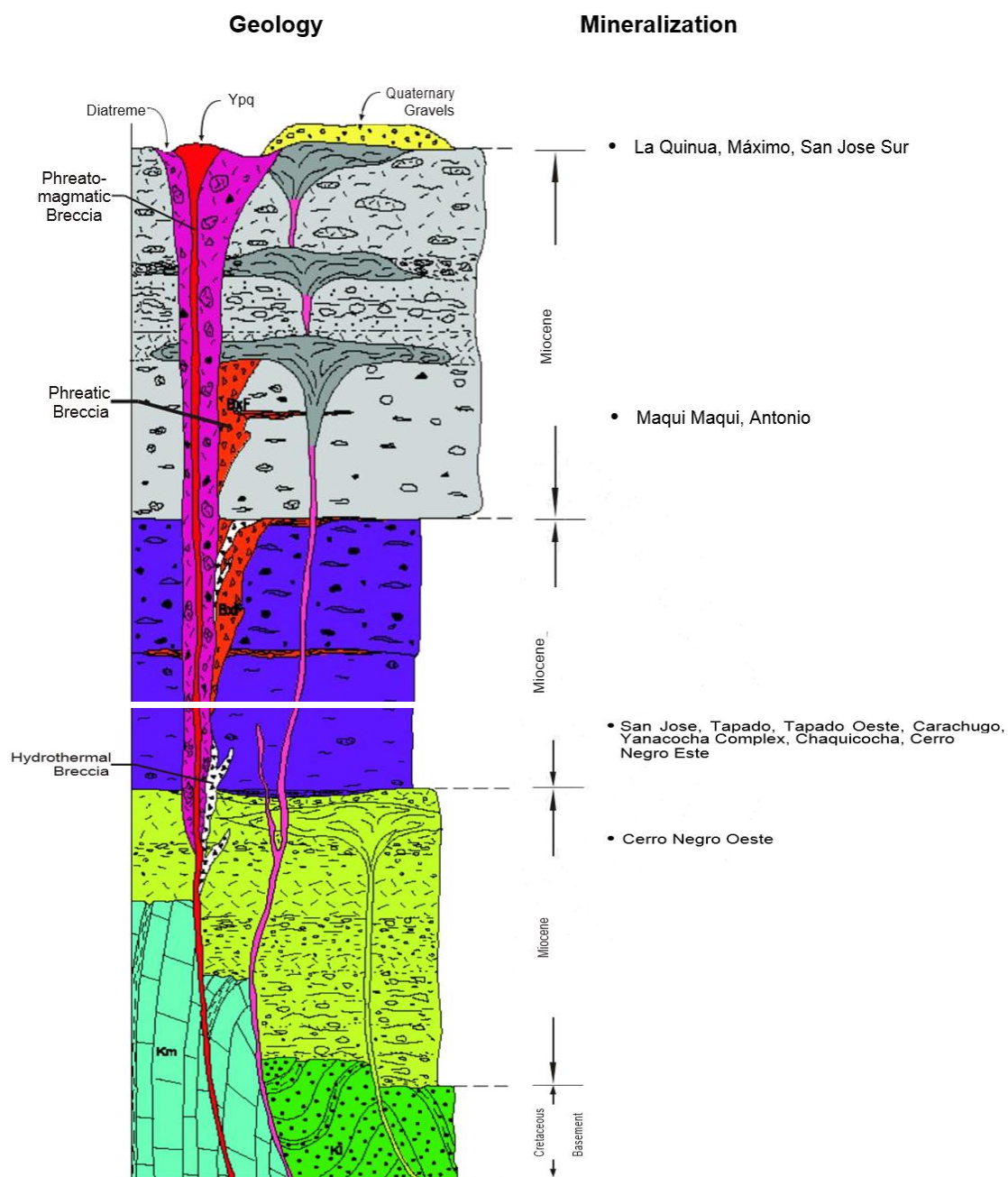


Figura 2-2 Columna estratigráfica generalizada para el distrito Yanacocha.

Fuente: Teal & Benavides, 2010.

### 2.2.1.2. Geología local

La mena en el distrito minero de Yanacocha está alojada dentro de las secuencias piroclásticas superiores y andesíticas inferiores pertenecientes al Complejo Volcánico Yanacocha (CVY: 11-12.5 Ma). La mineralización de alta ley de oro en Yanacocha ocurrió dentro de zonas permeables desarrolladas durante estados tempranos de alteración tipo “Alta sulfuración”, zonas de fallas, y en brechas tanto hidrotermales como freáticas. La mineralización ocurre de modo posterior a erupciones freáticas en múltiples fases, y está relacionada local y espacialmente con emplazamientos de diatremas y diques de textura porfírica ricos en feldespatos que son asociados con la fase de resurgimiento tardío de complejos de domos de flujos de andesita y latita, como se aprecia en la (Figura 2-3) a continuación.

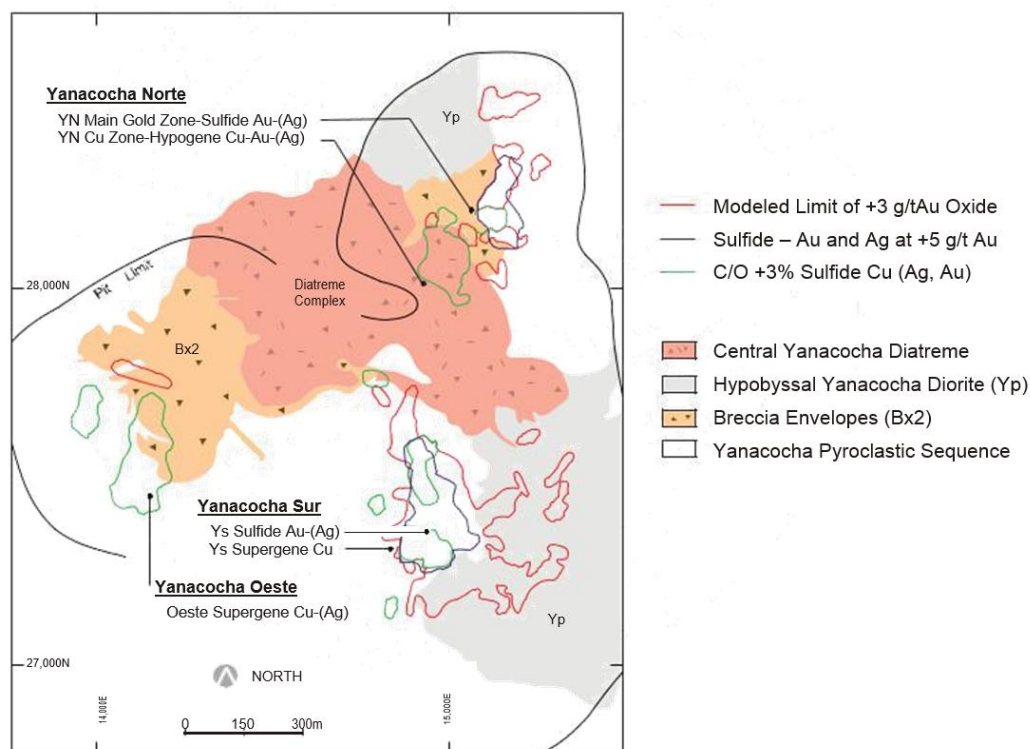


Figura 2-3 Depósito Yanacocha mostrando la huella de la diatrema central.

Fuente: Teal & Benavides, 2010.

Los cuerpos minerales auríferos en Yanacocha ocurren como cuerpos tabulares a sub-verticales en los cuales la mineralización de alta ley ( $>1$  g/t Au) está controlada por estructuras alimentadoras de gran inclinación y por brechas hidrotermales, rodeadas por halos semi-estratiformes de baja ley ( $\sim 0.15$  g/t Au). La deposición ocurrió principalmente en las zonas de tipo “vuggy silica” y sílice granular más permeables, así como también de sílice masiva fracturada o brechada.

La alteración tipo "Alta sulfuración" en Yanacocha dio lugar a la formación de grandes volúmenes de sílice residual (áreas superficiales > 10 Km<sup>2</sup>), con menores cantidades de alteración argílica avanzada a argílica (Figura 2-4). La alteración inicial ocurrió a consecuencia de lixiviación ácida y destrucción de minerales como feldespatos, piroxenos y biotitas. Esto creó una roca tipo "vuggy silica" en donde el principal componente es sílice remanente. Una alteración secundaria de sílice masiva se superpone a la "vuggy silica" anterior. Hacia la parte exterior de esta silicificación, se forma una zona de alteración argílica avanzada, caracterizada por la presencia de alunita y cuarzo, además de arcillas. Ésta transiciona hacia el exterior a alteración argílica, que típicamente consiste de caolinita, dickita y otras arcillas. La franja más externa del halo de alteración consiste de una asociación propílica de clorita, pirita y calcita.

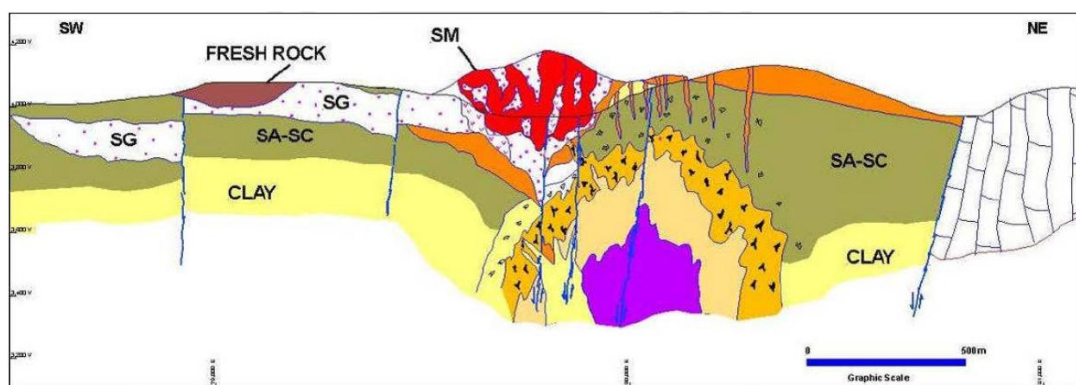


Figura 2-4 Sección transversal mostrando alteraciones del yacimiento.

Fuente: Vilela, 2014.

*Leyenda: SM: Silica Masiva, ~100% Si, alta temperatura, textura destructiva, compacto y duro; SG: Silica Granular, ~100% Si, temperatura moderada a alta, textura destructiva, poroso; SA: Silica Alunita, minerales sulfatados, menor temperatura, transición a alteración argílica; SC: Silica Clay, mezcla de arcillas y sílice, menor temperatura; C: Clay, arcillas de caolinita, textura conservada, baja temperatura, volumen más grande; PROP: Propílica, feldespatos a minerales de Magnesio, clorita, baja temperatura, más distante.*

La glaciación en el Pleistoceno permitió la erosión de las rocas volcánicas del Mioceno, la alteración asociada y la mena de tipo "Alta sulfuración", así como la deposición de sedimentos glaciares, fluviales y lacustres en todo el distrito. Estructuras tipo horst y graben formadas por movimiento a lo largo de gran cantidad de fallas con tendencia NW-SE se asocian a la alteración tipo "Alta sulfuración" y a la mineralización, creando además cuencas paleo-topográficas las cuales fueron posteriormente rellenadas con sedimentos de origen glacial. En los alrededores de los depósitos de tipo "Alta sulfuración", la mena de oro fue erosionada y depositada en las

depresiones paleo-topográficas formando depósitos de gravas mineralizadas de hasta 300 metros de grosor.

La mena de oro ocurre tanto como granos finos aislados, así como granos finos dentro de guijarros de rocas volcánicas silicificadas ubicadas en diatremas. La mena en los depósitos de gravas se encuentra diseminada y no muestra el enriquecimiento local en paleo-canales, lo cual es típico para depósitos tipo placer. En algunos casos, los depósitos transportados se superponen sin relación alguna a depósitos epitermales de tipo “Alta sulfuración” alojados en roca firme.

#### **2.2.1.3. Características geológicas de las áreas a perforar**

El material es semi suave con presencia de fragmentos gruesos silíceos, material fino arcilloso y levemente es moldeable con la mano, el blasthole tendría una Alteración Argílico Avanzado.

**Alteración.-** Se definirá a la alteración predominante en los fragmentos, si el blasthole presenta una combinación de dos tipos de alteraciones, se mapeará la alteración predominante y se agregará un breve comentario de la alteración menor indicando el porcentaje que está presente.



Figura 2-5 Alteración Argílico Avanzado

Fuente: Minera Yanacocha, 2015

**Ensamblajes.-** Cada tipo de alteración tiene un ensamble mineralógico característico en la Tabla 1, los ensambles de cada alteración son:

Tabla 1 Ensamble característico según el tipo de alteración

| Alteración        | Ensamble                                            |
|-------------------|-----------------------------------------------------|
| Sílice Masiva     | Sílice                                              |
| Sílice Granular   | Sílice                                              |
| Argílico Avanzado | Dikita-caolinita-pirofilita-diaspora-alunita-sílice |
| Argílico          | Caolinita-Dikita-Illita-Esmectita-Hallosita         |
| Propilítico       | Epidota-clorita-albita-calcita-pirita               |

Fuente: Minera Yanacocha, 2016

### 2.2.2. Cámaras de aire

Según Salas (2011) la cámara de aire es un espacio de aire que se genera por medio del “taponamiento” del taladro con un accesorio especial, el cual se ubica convenientemente dentro del taladro de la voladura, ocupa hasta un 40% por volumen del total de la columna explosiva, puede ser ubicada en la parte superior, media o inferior de la carga explosiva dependiendo del propósito y también se pueden ubicar 02 cámaras de aire en un solo taladro.

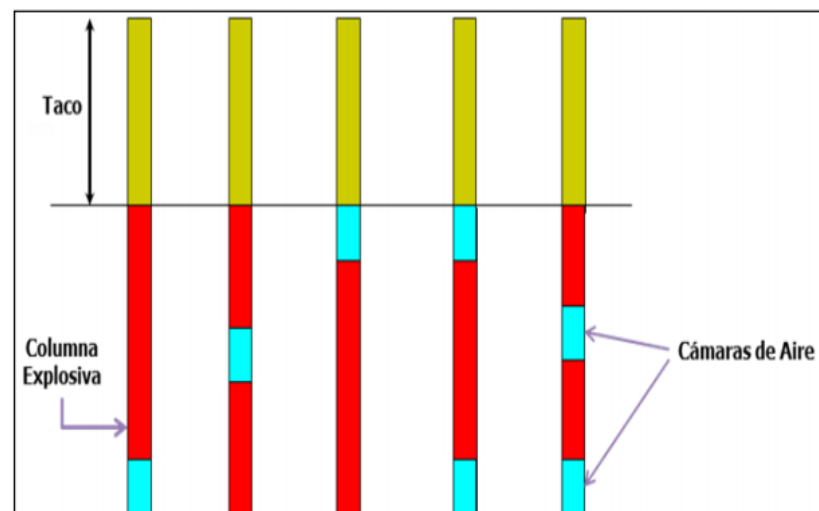


Figura 2-6 Ubicación de cámaras de aire en la columna explosiva

Fuente: Salas (2011).

#### 2.2.2.1. Acción de la cámara de aire:

- ✓ Según Salas (2011), Las cámaras de aire incrementan la duración de la acción de la onda de choque sobre el medio circundante, esto debido a una serie de pulsos causados por las

reflexiones de las ondas de presión originadas inmediatamente después de la detonación de un taladro.

- ✓ Con el uso de las cámaras de aire, la tensión máxima aplicada sobre la roca que la rodea, es menor que la tensión extrema aplicada por el explosivo en columnas continuas.
- ✓ Reduciendo la presión inicial aplicada por la carga explosiva, pero incrementando la duración del pulso de presión. Esto, efectivamente reduce la energía utilizada para quebrantar la roca cercana al taladro, al mismo tiempo, incrementa la cantidad de energía transmitiéndola a mayor distancia dentro de la roca.
- ✓ En presencia de agua, los resultados del uso de cámaras de aire es óptimo, por cuanto el agua es un excelente conductor de las ondas de choque.

### 2.2.2.2. Mecanismo de las cámaras de aire en la voladura:

Los mecanismos de las cámaras de aire en la voladura son 5:

#### 2.2.2.2.1 Primera etapa:

Diseño de carguío. Se observa la configuración de carga de un taladro con cámara de aire en el fondo y sin sobre perforación vs. Taladro con sobre perforación.

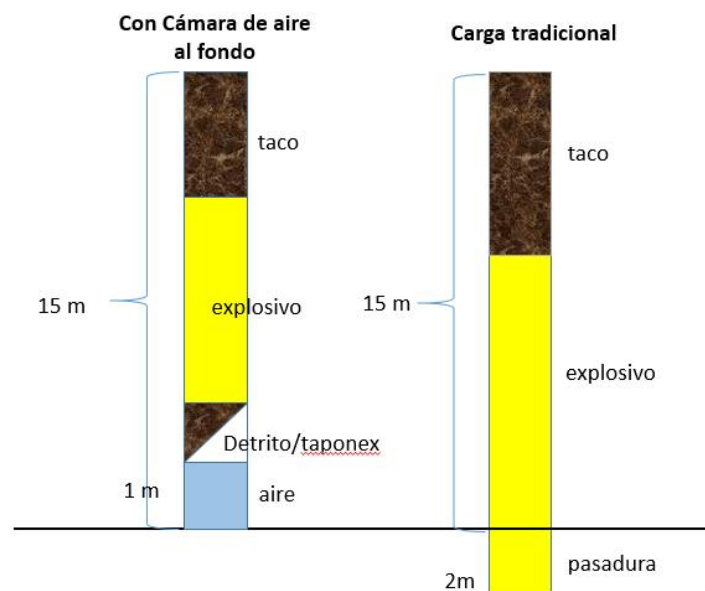


Figura 2-7 Primera etapa del funcionamiento de la cámara de aire: diseño de carguío.

Fuente: Perca (2014).

#### 2.2.2.2.2 Segunda etapa:

Proceso de equilibrio. La cámara de aire obliga a equilibrar la presión, la detonación es hacia el fondo del taladro. El retenedor de taco protegido con ½ m. de detritus, encabeza la onda de detonación al fondo del taladro, crea una fractura que se expande en forma horizontal hacia los taladros vecinos.

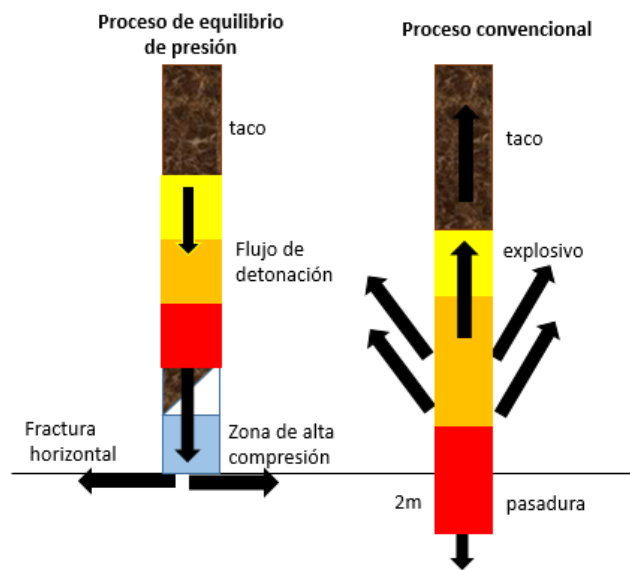


Figura 2-8 Segunda etapa del funcionamiento de la cámara de aire: proceso de equilibrio.

Fuente: Perca (2014).

#### 2.2.2.2.3 Tercera etapa:

Transmisión de la energía al medio. Las ondas reflectivas chocan con las ondas de choque provenientes de la detonación. Una multitud de ondas de choque secundarias son propagadas al medio en forma de pulsos. Debido a las ondas reflectivas ascendentes, el flujo de detonación es desviado hacia el costado y fondo del medio colindante.

Ondas de choque se propagan por las fracturas horizontales formadas con anterioridad en el fondo del taladro, se crea una forma de pre-corte al nivel de banco, simultáneamente con los taladros colindantes.

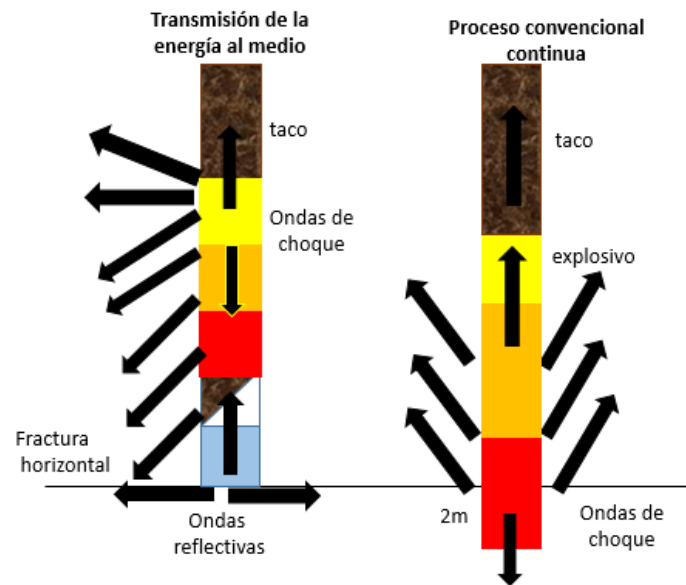


Figura 2-9 Tercera etapa del funcionamiento de la cámara de aire: transmisión de la energía al medio.

Fuente: Perca (2014).

#### 2.2.2.2.4 Cuarta etapa:

Reflexión de las ondas de choque. Las ondas de choque son reflejadas al penetrar un cambio de medio formado por la fractura horizontal al fondo de la voladura. Las ondas de choque se reflejan con mayor intensidad en forma de ondas de tensión. Las ondas de tensión ofrecen más cantidad de daño a la roca.

No olvidar que para fracturar la roca con un mínimo de esfuerzo y energía, el material debe cargarse principalmente con tensión.

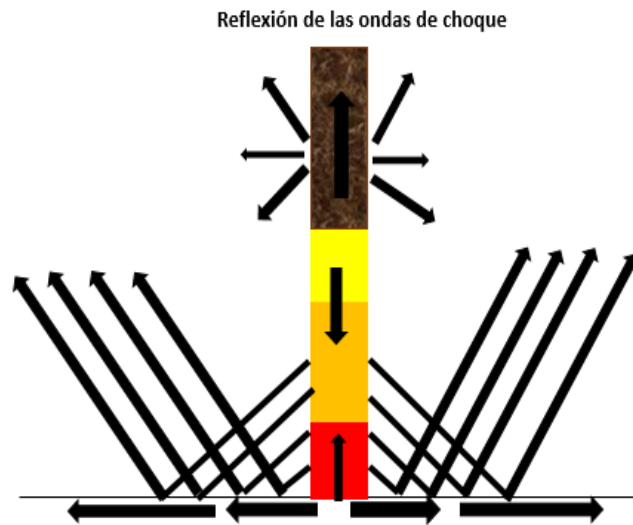


Figura 2-10 Cuarta etapa del funcionamiento de la cámara de aire: reflexión de las ondas de choque.

Fuente: Perca (2014).

#### 2.2.2.2.5 Quinta etapa:

Interacción de taladros con cámara de aire al fondo. Las ondas de tensión son reflejadas devuelta a la formación. Al mismo tiempo, interaccionan con las ondas de tensión originadas por el proceso de los taladros vecinos. Esta interacción no es bien entendida, se sospecha que una multitud de reflexiones son propagadas al medio a causa de esta interacción.



Figura 2-11 Quinta etapa del funcionamiento de la cámara de aire: interacción de taladros con cámara de aire al fondo.

Fuente: Perca (2014).

## 2.2.3. Clasificación de las cámaras de aire

### 2.2.3.1. Taponex

Según International Technologies S.A (s.f), el taponex es un accesorio de plástico con un diseño particular, que permite crear cámaras de aire en un pozo de voladura, su exclusivo diseño permite ser instalado sin necesidad de aire comprimido ni gases, su forma es auto soportante. Su diseño producto de numerosas pruebas de campo y su construcción en plástico de alta resistencia, aseguran que el Taponex quede en la posición correcta.



Figura 2-12 Cámara de aire Taponex.

Fuente: Elaboración propia

#### 2.2.3.1.1 Beneficios

- Disminución de la sobre perforación.
- Reducción de la columna explosiva.
- Contracción de la eyección de tacos.
- Reducción de "Fly Rock".
- Descenso de las vibraciones
- Disminución onda aérea.
- Fragmentación más homogénea.
- La granulometría es más fina a pesar de la disminución del factor de carga.
- No se detecta diferencia en pozos con agua y secos.
- El sistema se ha utilizado en rocas de 80 MPa hasta 230 MPa.
- Se mantiene la misma malla, secuencia de salida y tipos de explosivo.

#### 2.2.3.1.2 Modo de uso:

Para el caso de colocarlo en el fondo de los taladros el Taponex consiste de un recipiente plástico, un vástago y una vara de madera de 1 metro de longitud en la mayoría de los casos, ésta longitud dependerá de la longitud de la cámara de aire que se elija dejar en el fondo.

#### 2.2.3.2. Cartuflex (Bolsa auto inflable):

Es una bolsa de aire, utilizada como cámara de aire en voladura, está compuesta de Bicarbonato de sodio en combinación con vinagre, los cuales no son tóxicos ni inflamables. En el (Anexo N° 1), la ficha técnica del dispositivo.

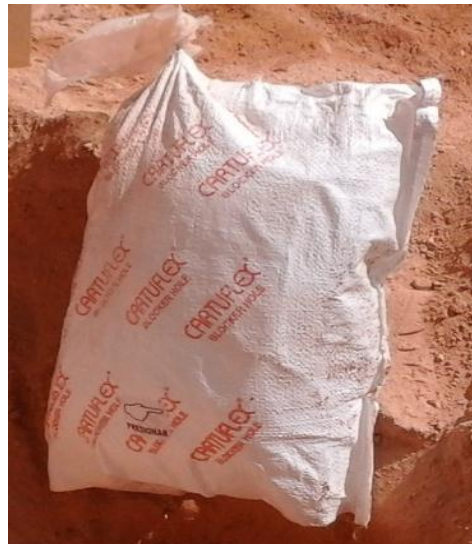


Figura 2-13 Cámara de aire Cartuflex

Fuente: Elaboración propia

#### 2.2.3.2.1 Modo de uso:

- Revisar que el producto este 100% funcional.
- Ubicar la flecha de activación en la parte inferior del producto.
- Medir la cuerda a la altura deseada, y revisar que la cuerda se encuentre libre de cualquier estancamiento.
- Coloque su mano izquierda detrás del producto a la altura de la flecha de activación y sujetándolo realice un golpe fuerte para activar adecuadamente el producto, provocando la reacción de inflado de la bolsa.

- Introduzca la bolsa inmediatamente en el taladro a la altura deseada y con ayuda de la cuerda agitar de un lado a otro hasta que el producto se encuentre sujeto en las paredes del taladro.

### 2.2.3.3. Explodeck

MTi Group (s.f), manifiesta que este nuevo propulsor de aerosoles está clasificado por la Notificación Nacional de Química Industrial del Gobierno de Australia y Evaluación Esquema (NICNAS) como un gas no inflamable y clasificado con el Código Australiano de mercancías peligrosas como Clase 2, la división 2.2 no inflamable y gas no tóxico.

Explodeck o más conocido como MTI, se utilizó en Yanacocha hasta el año 2015, su uso se suspendió debido al costo elevado que posee por ser un producto internacional, su precio unitario varía en \$11.00 aproximadamente.



Figura 2-14 Cámara de aire Explodeck.

Fuente: Elaboración propia

#### 2.2.3.3.1 Beneficios:

- Disminuir vibraciones
- Reducir el consumo de explosivos
- Mejora la fragmentación
- Disminuye o elimina la sobre perforación.
- Utilizado como cámara intermedia y de fondo.

#### 2.2.3.3.2 Modo de uso:

- Revisar que el producto este 100% funcional.
- Ubicar la flecha de activación en la parte inferior del producto.
- Medir la cuerda a la altura deseada, y revisar que la cuerda se encuentre libre de cualquier estancamiento.
- Coloque su mano izquierda detrás del producto a la altura de la flecha de activación y sujetándolo realice un golpe fuerte para activar

adecuadamente el producto, provocando la reacción de inflado de la bolsa.

- Introduzca la bolsa inmediatamente en el taladro a la altura deseada y con ayuda de la cuerda agitar de un lado a otro hasta que el producto se encuentre sujetado en las paredes del taladro.

#### **2.2.3.4. Aquadeck**

Aquadeck (2017), es un dispositivo de polietileno, con una alta resistencia a la tracción y con un diseño reforzado para trabajar en el fondo del taladro, que sirve para generar cámaras de agua en la parte superior del taladro. Ver (Anexo N° 2), la ficha técnica y manual de instalación del producto.



Figura 2-15 Cámara de aire Aquadeck.

Fuente: Elaboración propia

##### **2.2.3.4.1 Beneficios**

- Ahorro considerable en explosivo.
- Evita voladuras en forma de proyectiles.
- Su instalación es muy fácil.
- Disminuye los ruidos de explosión.
- Disminuye la vibración.
- Funciona en casi cualquier condición de pozo: pozos secos de agua estática o dinámica, protección de la capa de minerales.
- Su diseño auto portante permite que sea colocado con gran precisión en cualquier tipo de roca y el estado del pozo.

#### 2.2.3.4.2 Modo de uso

- Ubicar la longitud a la cual se amarrará la varilla de madera con la driza. Hacer un buen nudo para evitar deslizamientos.
- Extender toda la driza de manera que cuando caiga no hayan nudos preformados.
- Ubicar la varilla de madera a un lado de la boca del taladro. Es importante que quede bien sujeta la varilla de madera para que no caiga cuando se instale el Aquadeck.
- En taladros secos colocar 01 puñado de gravilla y/o detritus y colocarlo en el Aquadeck; mientras que en taladros con agua colocar 03 puñados de gravilla con piedras pequeñas, sin que supere la cuarta parte del Aquadeck.
- Coger con ambas manos (diametralmente opuestas) el Aquadeck y ubicarlo en la parte central del taladro, luego dejarlo caer hasta que se tense bien la driza. Para asegurar una buena expansión del producto, deje caer un poco más de material detritus al final del proceso.

### 2.2.4. Dig Rate

Chircca (2010), menciona que el Dig Rate es la rapidez con la que carga la pala. Esto es calculado desde el momento en que deposita el primer pase hasta que termina de depositar el último pase. Este parámetro se expresa en toneladas/hora.

Según Operaciones Mina de Yanacocha (2016), el Dig Rate es la relación entre las toneladas nominales cargadas y el tiempo de carguío.

$$Dig\ Rate\left(\frac{tn}{h}\right)=\frac{tonelaje\ nominal}{tiempo\ de\ carguio}$$

Donde:

#### 2.2.4.1. Tonelaje nominal:

Operaciones Mina de Yanacocha (2016), el tonelaje nominal es el valor que resulta de la multiplicación de la capacidad de carga útil del equipo por un factor de ajuste.

Este factor de ajuste se obtiene de la relación entre el tonelaje VIMS (toneladas húmedas) menos el % de Humedad y el tonelaje reportado por Leica (Leica siempre reporta toneladas secas). Es decir, son las toneladas que el camión puede cargar.

$$TonelajeNominal = Capacidad\ de\ carga\ útil\ del\ equipo * factor\ de\ ajuste$$

#### 2.2.4.2. Tiempo de carguío o load time:

Quiroz (2016), manifiesta que es el tiempo transcurrido desde que se inicia el carguío de un camión hasta que éste es despachado. El Dig Rate no considera tiempo de cuadrado (spot time), ni demoras (delay), es por ello que la perforación y voladura tiene incidencia directa en ella, a diferencia de la productividad que sí considera demoras operativas.

### 2.2.5. Diseño de voladura en Yanacocha

Para calcular cada factor importante en el proceso de la voladura se siguen los procedimientos establecidos en mina, los cuales son deducidos a continuación:

#### 2.2.5.1. Cálculo para la altura de taco

La altura del taco debe ser óptima para evitar eyección de rocas y de la misma forma lograr una excelente fragmentación.

Según Chiappetta, 2014, la fórmula para calcular la altura de taco es:

$$Taco = \left( SD \times \sqrt[3]{\left( \frac{\phi^3 \times \rho}{127500} \right)} \right) - \left( \frac{\phi}{200} \right)$$

Para el cálculo del taco, se consideran los siguientes datos:

- Según Quiroz (2016), la altura de taco (SD) debe estar entre 0.92 y 1.40 de modo que cada taladro rompa el mayor tonelaje, con un buen control de energía, sin proyección aérea de roca, buen esponjamiento, vibraciones y onda aérea aceptables.
- Con un diámetro de 105/8"
- Y la mezcla explosiva más común con densidad 1.10 g/cc (ME 73).

#### 2.2.5.2. Cálculo de metro de carga explosiva

La mezcla explosiva a utilizarse es HA 73, esta mezcla es gasificada por lo que tiende a esponjar luego de 20 minutos, aproximadamente 0.80 cm. La carga final se calcula con la siguiente fórmula:

$$Carga\ final\ (m) = longitud\ de\ taladro\ (m) - taco\ (m)$$

#### 2.2.5.3. Cálculo de kilogramos de explosivo por taladro

$$kg\ por\ taladro = Densidad\ inicial \times diámetro\ de\ taladro^2 \times 0.507 \\ * carga\ inicial$$

Siendo:

**Densidad inicial** = densidad inicial del explosivo establecido por el proveedor (gr/cc).

**Diámetro del taladro** = 10 5/8' (pulgadas)

**Carga inicial** = (m)

#### 2.2.5.4. Cálculo de factor de carga

Quiroz (2016), se calcula el factor de carga para determinar los kilogramos de explosivo necesarios para romper una tonelada de roca, a fin de controlar operativamente los cuidados de pared y fragmentar la roca de acuerdo a lo requerido por carguío y acarreo.

##### PROCEDIMIENTO:

$$FC = \frac{0.507 * \rho_{\text{explosivo}} * \Phi^2 * \text{carga inicial}}{B * E * h}$$

Donde:

B = burden (m)

E = espaciamiento (m)

h = altura de banco (m)

#### 2.2.5.5. Costo de taladro

**A. Altura de banco (m):** Tapado Oeste, se considera 12 m.

**B. Diámetro (Pulg):** Se efectúan todos los cálculos con diámetro 10 5/8"

**C. Sobre perforación (m):** Estándar de 1 m.

**D. Taco (m):** Estándar de 5.5 m.

**E. Carga total (m):** Tomando en cuenta la altura de la cámara de aire y la distancia establecida en diseño y cuando es carga corrida se toma en cuenta la siguiente fórmula:

$$\text{Carga total (m)} = (H_{\text{banco}} + \text{Sub drill}) - (\text{Taco})$$

**F. Esponjamiento teórico (%):**

$$\text{Esponjamiento teórico (\%)} = \frac{\text{Densidad inicial}}{\text{Densidad final}} - 1$$

**G. Esponjamiento real (%):** Esponjamiento según fabricante

**H. Metros de carga real (\$/m):**

$$\frac{\$}{m} \text{ de carga real} = \frac{\text{Carga total (m)}}{(1 + \text{Esponjamiento real})} * (\$/m)$$

Donde:

**Carga total:** (m)

**Esponjamiento real:** decimal

**\$/m:** Cálculo de costo de explosivo/ME por metro lineal: \$/m.

**I. Booster (\$/Unid.):** Todos los diseños de carga contemplan 1 booster de pentolita.

**J. Cordón detonante (\$/m):** Se considera el uso del cordón detonante 5P.

**K. Detonador electrónico (\$/Unid.):** Todos los diseños de carga consideran 1 detonador electrónico,) que sólo realiza el primado con booster y cordón detonante.

**L. Cámaras de aire:** El dispositivo debe ocupar hasta un 40% del volumen total de la columna. Abarcando aproximadamente 1m de cámara de aire.

**M. Costo por taladro tradicional (\$/taladro):**

$$\begin{aligned} \frac{\text{Costo}}{\text{taladro}} &= \text{Metros de carga real (\$)} + \text{Booster (\$)} \\ &+ \text{Cordón detonante 5P (\$)} \\ &+ \text{Detonador electrónico (\$)} \end{aligned}$$

**N. Costo por taladro en taladros con cámara de aire (\$/taladro):**

$$\begin{aligned} \frac{\text{Costo}}{\text{taladro}} &= \text{Metros de carga real (\$)} + \text{Booster (\$)} \\ &+ \text{Cordón detonante 5P (\$)} + \text{cámara de aire (\$)} \\ &+ \text{detonador electrónico} \end{aligned}$$

**O. Dólares por Kilogramo de explosivo:**

$$\frac{\$}{Kg} = \frac{(\text{Costo}/\text{Taladro})}{Kg \text{ en taladro}}$$

**P. Costo por Tonelada (\$/ton):**

$$(\$/ton) = (\$/Kg) * FC$$

#### 2.2.5.6. Diseño de burden y espaciamiento

Según lo establecido en minera Yanacocha para calcular el burden se debe considerar a la densidad de cada roca por su dureza. En el siguiente cuadro se observa el diseño base de perforación y voladura en el tajo Yanacocha. Los criterios de burden y espaciamiento se modifican y mejora el diseño en campo.

Tabla 2 Densidades por dureza de la roca

| Dureza | MPa |
|--------|-----|
| Suave  | 25  |
| Medio  | 50  |
| Duro   | 100 |

Fuente: Yanacocha, 2015.

Tabla 3 Criterios básicos para el diseño de mallas de perforación y cargas de voladura del tajo Tapado Oeste.

Fuente: Yanacocha, 2015.

| Diseño base de Perforación y Voladura del tajo Tapado Oeste. |               |                       |           |                        |             |                    |                     |                 |                    |               |              |          |           |
|--------------------------------------------------------------|---------------|-----------------------|-----------|------------------------|-------------|--------------------|---------------------|-----------------|--------------------|---------------|--------------|----------|-----------|
| Tipo de roca                                                 | Subdrill (m.) | Longitud taladro (m.) | Taco (m.) | Diámetro taladro pulg) | Burden (m.) | Espaciamiento (m.) | Toneladas / taladro | Densidad (g/cc) | Cámara de aire (m) | Longitud (m.) | Kg / taladro | Kg / ton | Retenedor |
| Suave                                                        | 0.0           | 10.0                  | 6.0       | 9 7/8                  | 8.00        | 9.00               | 1,296               | 0.80            | 1.0                | 3.0           | 118.66       | 0.092    | NO        |
| Medio                                                        | 1.0           | 11.0                  | 5.5       | 10 5/8                 | 7.00        | 8.00               | 1,120               | 1.50            | 1.0                | 4.5           | 257.56       | 0.230    | NO        |
| Duro                                                         | 1.0           | 11.0                  | 5.5       | 10 5/8                 | 6.00        | 7.00               | 924                 | 2.00            | 1.0                | 4.5           | 296.19       | 0.321    | NO        |
| Muy duro                                                     | 1.5           | 11.5                  | 5.5       | 10 5/8                 | 5.50        | 6.50               | 858                 | 2.30            | 1.0                | 5.0           | 329.10       | 0.384    | SI        |

### 2.3. Hipótesis:

Usando los dispositivos que generan cámaras de aire se incrementará la tasa de excavación (Dig Rate) en el tajo tapado oeste de Minera Yanacocha, Cajamarca 2017. Usando Aquadeck en la voladura se mejorarán los resultados en el Dig Rate en un 50% y con el Cartuflex 30%.

## CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

### 3.1. Operacionalización de variables

Tabla 4 Operacionalización de las Variables a estudiar.

| VARIABLE                                               | DEFINICIÓN<br>CONCEPTUAL                                                                                                                                    | DIMENSIONES           | INDICADORES         |
|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|---------------------|
| <b>Cámaras de aire en la Voladura. (Independiente)</b> | Es un espacio de aire que se genera en el interior del taladro, pueden ser colocadas al inicio, intermedias o de fondo, con alturas aproximadas de 1 metro. | Voladura convencional | Sin cámaras de aire |
|                                                        |                                                                                                                                                             | Dispositivo Cartuflex | Con cámaras de aire |
|                                                        |                                                                                                                                                             | Dispositivo Aquadeck  | Con cámaras de aire |
| <b>Dig Rate (dependiente)</b>                          | Es la relación entre las toneladas nominales cargadas y el tiempo de carguío.                                                                               | Tonelaje de material  | t/h                 |
|                                                        |                                                                                                                                                             | Tiempo de carguío     |                     |
|                                                        |                                                                                                                                                             | Costos                | US\$                |

Fuente: Elaboración propia.

### 3.2. Diseño de investigación

**Tipo de investigación:** Experimental, porque se realiza una modificación a la variable independiente.

**Diseño de investigación:** Cuasi experimental

Según Hernández, R., Fernández, C. & Baptista, P. A. (2010), los diseños cuasiexperimentales también manipulan deliberadamente, al menos, una variable independiente para observar su efecto y relación con una o más variables dependientes, sólo que difieren de los experimentos "puros" en el grado de seguridad o confiabilidad que pueda tenerse sobre la equivalencia inicial de los grupos. En los diseños cuasiexperimentales los sujetos no se asignan al azar a los grupos ni se emparejan, sino que dichos grupos ya están formados antes del experimento: son grupos intactos (la razón por la que surgen y la manera como se formaron es independiente o aparte del experimento).

|                |   |                |
|----------------|---|----------------|
| G <sub>1</sub> | X | O <sub>1</sub> |
|                | - | O <sub>2</sub> |

|                |   |                                                 |
|----------------|---|-------------------------------------------------|
| G <sub>1</sub> | : | Voladura convencional                           |
| X              | : | con cámaras de aire                             |
| -              | : | sin cámaras de aire                             |
| O <sub>1</sub> | : | Observación N° 1 (Dig Rate) con cámaras de aire |
| O <sub>2</sub> | : | Observación N° 2 (Dig Rate) sin cámaras de aire |

### 3.3. Unidad de estudio

Una voladura en el tajo tapado oeste.

### 3.4. Población

Todas las voladuras en el tajo tapado oeste desde el año 2015.

### 3.5. Muestra

Nueve voladuras en el tajo tapado oeste.

### 3.6. Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos

Las técnicas para la obtención de datos son el análisis documental y la experimentación de cada prueba en las voladuras establecidas. Cabe resaltar que por cada instalación de la cámara de aire se tiene que verificar que éstas sean colocadas a la altura diseñada, si por ende estas se hunden o generan algún tipo de complicación en el armado.

De acuerdo a los estudios geológicos realizados por el área de geología, y conociendo las características geológicas de las áreas a perforar se ejecutaron las pruebas en el tajo Tapado Oeste, que presenta alteraciones Argílico avanzado y propilítico, con dureza de roca de media a dura; con densidades de 1.80 gr/cc a 2.10 gr/cc respectivamente.

Para comparar en cuanto aumenta el uso de las cámaras de aire en la voladura y su efecto en el Dig Rate, se recolectó información de voladuras en donde no se emplearon los dispositivos; esta información será esencial para la discusión de resultados más adelante.

Para el desarrollo de la investigación se diseñaron mallas de voladura de 6 x 7 y 6.5 x 7.5 (burden y espaciamiento) en terreno duro, y 7 x 8 en terreno medio. Se decidió realizar pruebas con 2 cámaras de aire: usando en 3 voladuras Cartuflex y en las otras 3; Aquadeck, posteriormente se analizó fragmentación, vibraciones, y fly rock, control de taco en cada voladura, pero se puso más énfasis en evaluar el efecto de cada cámara de aire en el Dig Rate.

Para la obtención de toda la información, en primer lugar se realizaron 9 voladuras en los bancos del tapado oeste TO-3408, TO-3420, TO-3384, TO-3432, TO-3396, TO-3360 en fechas y bancos distintos (

Figura 3-1 y **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), con la aplicación de Cartuflex y Aquadeck, cargando cada taladro con el diseño establecido, con la debida seguridad del caso y tomando en cuenta las siguientes consideraciones generales en cada prueba:

- Mallas de producción.
- ME 73 Quantex.
- Densidad de explosivo 1.10 g/cc.
- Taco de 5.5m para todos los taladros en las 9 voladuras.
- Se trabajó solo con voladuras electrónicas, haciendo uso de booster y cordón detonante 5P.
- Con una longitud de taladro de 12m.
- Un diámetro del taladro de 10 5/8”.



Figura 3-1 Utilización de la cámara de aire Cartuflex en campo.



Figura 3-2 Utilización de la cámara de aire Aquadeck en campo.

Si bien es cierto el Cartuflex y el Explodeck ambas son bolsas de aire, lo que diferencia una de la otra es su costo, el precio del Explodeck es de US\$ 11,00 aproximadamente y su tiempo de armado de 1'; mientras que el Cartuflex se arma en 55" y su precio es de US\$ 8.40. Así mismo comparando el Aquadeck con el Taponex, su diseño de fabricación de ambos son muy parecidos; pero sus precios varían, el Aquadeck tiene un costo de US\$ 6,30 y se arma fácilmente en 50"; en cambio el Taponex se instala dentro del taladro en 1' y su precio es de US\$ 7,50. Es importante mencionar que los dos dispositivos elegidos en las pruebas, su diseño de fabricación es diferente, sus precios son menores que las otras cámaras no utilizadas, pero ambas cumplen con el rol de generar aire en el interior del taladro obteniendo los resultados esperados. Ver (Anexo N° 7), la dificultad para la instalación de las cámaras de aire en taladros con agua.

En las pruebas realizadas, se cumplió con todo lo indicado por el ingeniero de seguridad: señalización, ubicación correcta de las camionetas, las personas que se movilizan en el interior de la malla deben tomar distancia cuando el camión de fábrica o los pequeños cargadores frontales se transporten, hubo la presencia del área perforación y voladura de mina, Asistencia técnica y supervisión de Exsa, así mismo los asesores de venta de Cartuflex y Aquadeck, mostraron a los trabajadores la correcta instalación de cada dispositivo. Después de vaciar la carga explosiva en el taladro, se volvía a medir la altura del taco, para descartar de que la cámara de aire se haya hundido por el peso del explosivo,

finalmente los especialistas de Digishot amarran los taladros, estableciendo un tiempo de iniciación y secuencia, mientras que las demás áreas despejan el lugar en un radio de distancia señalado en mina. Asistencia técnica de Exsa, es la encargada de filmar las voladuras, analizar vibraciones con el sismógrafo y tomar las fotos post voladura, mientras todos esperan la orden del supervisor de tajo, para disparar la malla establecida en el día.



Figura 3-3 Carguío de taladros TO -3396, 01 de Abril 2017.

En oficina, para la recopilación de información del Dig Rate de las voladuras en donde se emplearon las respectivas cámaras de aire, se siguió un proceso minucioso con soporte del software de mina, y con supervisión de alguna manera del jefe de área de Perforación y Voladura. Ver la (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. y Figura 3-5).

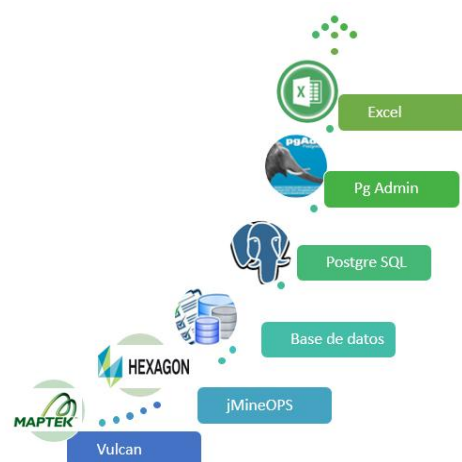


Figura 3-4 Procedimiento de análisis de datos para obtener el Dig Rate.

Fuente: Elaboración propia

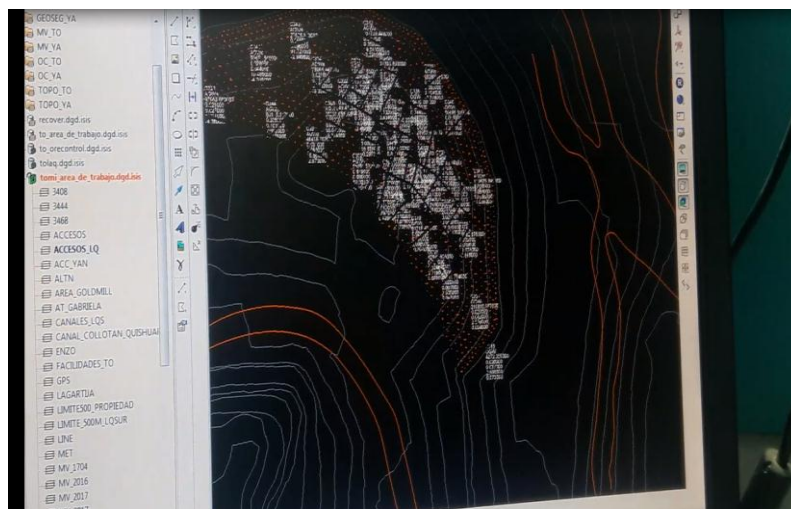


Figura 3-5 Utilización de Maptek Vulcan, para la identificación de las mallas con los polígonos respectivos.

Fuente: Elaboración propia.

### 3.6.1. Instrumentos

- Registros de las voladuras.
- Formato para la obtención de datos a través de una query de Pg Admin.
- Formato Gestor de base de datos de Postgre SQL. Ver (Anexo N° 9).
- Formato para filtrar mallas y polígonos del software vulcan. Ver (Anexo N° 10).
- Formato de sistema de gestión de flota de Hexagon.
- Formato para la obtención de Dig Rate en Microsoft Excel.

Tabla 5 Factores puntuales de cada programa para la obtención correcta del dig rate.

| VULCAN                                    | HEXAGON                                  | BASE DE DATOS            | POSTGRE SQL                    | PG ADMIN                                  | EXCEL                   |
|-------------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------|--------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------|
| <i>Software</i>                           | <i>Sistema de gestión de flota</i>       | <i>Base de datos</i>     | <i>Gestor de base de datos</i> | <i>Software</i>                           | <i>software</i>         |
| Tonelajes, mallas, leyes, mallas voladas. | Polígono, pala, camión, tiempo de carga. | Recopila la información. | Tonelaje, equipo, polígonos.   | Obtención de datos a través de una query. | Obtención del Dig rate. |

Fuente: Quiroz (2016).

### **3.7. Métodos, instrumentos y procedimiento de análisis de datos**

Los métodos utilizados para el procedimiento de análisis fueron gráficos y medidas estadísticas haciendo uso de Microsoft Excel.

#### **Medidas de dispersión**

Las medidas de dispersión entregan información sobre la variación de la variable. Pretenden resumir en un solo valor la dispersión que tiene un conjunto de datos.

#### **Microsoft Excel**

Con esta herramienta los nuevos gráficos te ayudan a presentar tus datos de una forma convincente, con formato, minigráficos y tablas que permiten entender mejor la información.

## CAPÍTULO 4. RESULTADOS

### 4.1. Recolectar información de voladuras convencionales

Se recolectó información de 19 voladuras de mes de enero – abril 2017, en donde no se empleó cámaras de aire, en el tajo Tapado Oeste, que tengan alteración Argílico avanzado - propilítico, con dureza de roca de media a dura y con los mismos diseños de voladura en burden y espaciamiento, esto se hizo en conjunto con el área de Asistencia Técnica de Exsa, siguiendo el proceso correcto de selección de los reportes específicos.

Luego de recolectar la información se planificó realizar 3 voladuras en los bancos TO-3360, TO-3432 Y TO-3408, considerando en estas voladuras la misma ME 73, con densidad de explosivo de 1.10 g/cc, taco de 5.5, cordón detonante 5p, Booster y diámetro del taladro de 105/8".

En las siguientes tablas se muestra el detalle de las 3 voladuras sin cámara de aire, las cuales posteriormente fueron analizadas para saber el Dig Rate promedio sin usar los dispositivos.

#### 4.1.1. Voladura TO-3432

La fecha de esta voladura fue el 22 de marzo del 2017 en el banco TO-3432 con una alteración propilitica, estuvo planificada para las 14.00 Hrs, pero por temas de tormenta eléctrica salió a las 16.10 Hrs.

Fue un disparo electrónico, con tiempo/taladros de producción de 3 ms y tiempo/fila de producción de 109 ms, densidad de roca de 2,00 gr/cc en donde se dispararon 76 taladros y fueron encontrados 3 taladros tapados.

La fragmentación y esponjamiento post voladura fue buena y hubo poca presencia de humo naranja en la voladura.

Tabla 6 Resumen de la voladura TO-3432.

| <b>Voladura Sin cámaras de aire</b> | <b>TO 3432</b>   |
|-------------------------------------|------------------|
| Fecha                               | 22/03/17         |
| Accesorio                           | Ninguno          |
| Polígonos                           | C346, C336, C331 |
| Burden y Espaciamiento              | 6*7              |
| # de Taladros                       | 76               |
| Densidad de roca(gr/cc)             | 2.00             |

Fuente: Elaboración propia.



Figura 4-1 Carguío de taladros, banco TO-3432.



Figura 4-2 Foto fragmentación post voladura TO-3432.

#### **4.1.2. Voladura TO-3396**

La fecha de esta voladura fue el 26 de abril del 2017 en el banco TO-3396 con alteración argílica., estuvo planificada para las 13.00 Hrs, pero por temas de perforación salió a las 16.05 Hrs.

Fue un disparo electrónico, con tiempo/taladros de producción de 3 ms y tiempo/fila de producción de 109 ms, densidad de roca de 2,00 gr/cc en donde se dispararon 62 taladros.

La fragmentación y esponjamiento post voladura fue buena y no hubo presencia de humo en la voladura.

Tabla 7 Resumen de la voladura TO-3396.

| <b>Voladura Sin cámaras de aire</b> | <b>TO 3396</b>   |
|-------------------------------------|------------------|
| Fecha                               | 26/04/17         |
| Accesorio                           | Ninguno          |
| Polígonos                           | C341, C329, C330 |
| Burden y Espaciamiento              | 6.5*7.5          |
| # de Taladros                       | 62               |
| Densidad de roca (gr/cc)            | 2.00             |



Figura 4-3 Carguío de taladros, banco TO-3396.



Figura 4-4 Foto fragmentación post voladura TO 3396.

#### 4.1.3. Voladura TO-3360

La fecha de esta voladura fue el 17 de febrero del 2017 en el banco TO-3360 con alteración propilítica, estuvo planificada para las 13.00 Hrs, pero por algunas demoras en el amarre de taladros salió a las 13.50 Hrs. Se realizó un monitoreo de vibraciones en donde el PPV=3.00mm/s.

Fue un disparo electrónico, con tiempo/taladros de producción de 3 ms y tiempo/fila de producción de 109 ms, densidad de roca de 1,80 gr/cc en donde se dispararon 86 taladros.

La fragmentación y esponjamiento post voladura fue buena y no hubo presencia de humo en la voladura.

Tabla 8 Resumen de la voladura TO-3360.

| <b>Voladura Sin cámaras de aire</b> | <b>TO 3360</b>        |
|-------------------------------------|-----------------------|
| Fecha                               | 17/02/17              |
| Accesorio                           | Ninguno               |
| Polígonos                           | C210, C211, C343,C326 |
| Burden y Espaciamiento              | 7*8                   |
| # de Taladros                       | 86                    |
| Densidad de roca (gr/cc)            | 1.8                   |

Fuente: Elaboración propia.



Figura 4-5 Carguío de taladros, banco TO-3360.



Figura 4-6 Foto fragmentación post voladura TO 3360

#### 4.1.4. Evaluar su efecto en el Dig Rate

Tabla 9 Dig Rate promedio por polígono en voladuras sin cámaras de aire.

|                   | DIG RATE por<br>polígono (t/h) |
|-------------------|--------------------------------|
| <b>SIN CÁMARA</b> |                                |
| <b>TO-3432</b>    | <b>1,978</b>                   |
| <b>C331</b>       | 2,103                          |
| <b>C336</b>       | 1,954                          |
| <b>C346</b>       | 1,878                          |
| <b>TO-3396</b>    | <b>2,510</b>                   |
| <b>C329</b>       | 2,550                          |
| <b>C330</b>       | 2,556                          |
| <b>C341</b>       | 2,424                          |
| <b>TO-3360</b>    | <b>2,646</b>                   |
| <b>C210</b>       | 2,564                          |
| <b>C211</b>       | 2,567                          |
| <b>C326</b>       | 2,726                          |
| <b>C343</b>       | 2,726                          |

Fuente: Elaboración propia

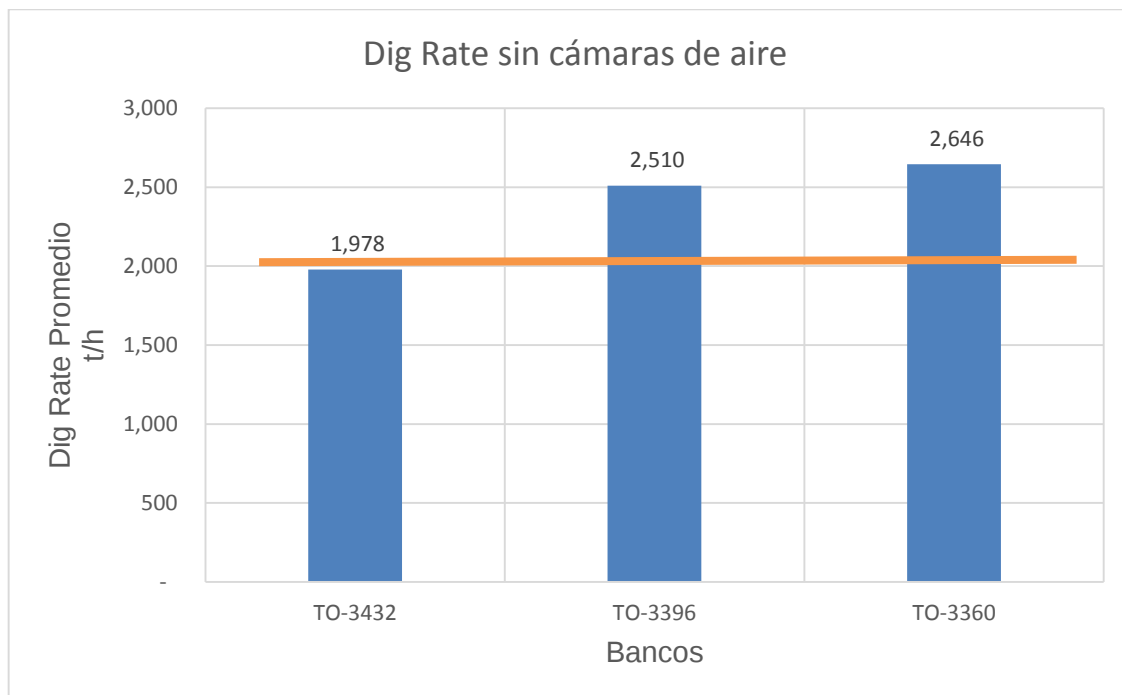


Figura 4-7 Dig Rate promedio de las tres voladuras sin usar cámaras de aire.

Fuente: Elaboración propia.

De las tres voladuras analizadas, se puede observar que en la voladura TO-3432 el Dig Rate es mucho menor, con una diferencia de 532 t/h con TO-3408, ambas voladuras fueron realizadas en terrenos duros y presenta una desviación estándar de  $\pm 295.7$

La línea de color naranja representa 2000 t/h históricas de mina, es decir; es el Dig Rate estándar sin usar cámaras de aire, en la segunda y tercera voladura se ha superado el tonelaje, mientras que en la primera voladura hay una diferencia mínima.

Tabla 10 Dig Rate promedio y desviación estándar sin usar cámaras de aire.

|                       |             |              |
|-----------------------|-------------|--------------|
| <b>Dig</b>            | <b>Rate</b> |              |
| <b>promedio</b>       | <b>sin</b>  | 2,405 t/h    |
| <b>cámara de aire</b> |             |              |
| <b>Desviación</b>     |             | $\pm 311.70$ |
| <b>estándar</b>       |             |              |
| <b>Coefficiente</b>   | <b>de</b>   | 13%          |
| <b>variación</b>      |             |              |

Fuente: Elaboración propia

## 4.2. Realizar pruebas en la voladura con el dispositivo cartuflex

### 4.2.1. Voladura TO-3420

La fecha de esta voladura fue el 10 de marzo del 2017 en el banco TO-3420 con alteración propilítica, estuvo planificada para las 11.00 Hrs, pero por falta de explosivo en los camiones fabrica e ir a llenarlos salió a las 17.12 Hrs.

Fue un disparo electrónico, con tiempo/taladros de producción de 3 ms y tiempo/fila de producción de 180 ms, densidad de roca de 2,00 gr/cc en donde se dispararon 66 taladros.

La fragmentación y esponjamiento post voladura fue buena y no hubo presencia de humo en la voladura.

Tabla 11 Resumen de la voladura TO-3420.

| Voladura con CARTUFLEX  | TO 3384          |
|-------------------------|------------------|
| Fecha                   | 10/03/17         |
| Accesorio               | Cartuflex 1 m    |
| Polígonos               | C335, C340, C346 |
| ,Burden y Espaciamiento | 6*7              |
| # de Taladros           | 66               |
| Densidad de roca (g/cc) | 2.00             |

Fuente: Elaboración propia.



Figura 4-8 Carguío de taladros, banco TO-3420.



Figura 4-9 Foto fragmentación post voladura TO 3420

#### 4.2.2. Voladura TO-3396

La fecha de esta voladura fue el 01 de abril del 2017 en el banco TO-3396 con alteración argílica, se programó para las 12.00 Hrs, y se disparó a las 12.15 Hrs.

Fue un disparo electrónico, con tiempo/taladros de producción de 3 ms y tiempo/fila de producción de 109 ms, densidad de roca de 2,00 gr/cc en donde se dispararon 71 taladros.

La fragmentación y esponjamiento post voladura fue buena y no hubo presencia de humo en la voladura.

Tabla 12 Resumen de la voladura TO-3396.

| <b>Voladura con CARTUFLEX</b> | <b>TO 3396</b>   |
|-------------------------------|------------------|
| Fecha                         | 01/04/17         |
| Accesorio                     | Cartuflex 1 m    |
| Polígonos                     | C353, C345, C347 |
| Burden y Espaciamiento        | 6.5*7.5          |
| # de Taladros                 | 71               |
| Densidad de roca (gr/cc)      | 2.00             |



Figura 4-10 Voladura TO-3396, usando Cartuflex.



Figura 4-11 Foto fragmentación post voladura TO 3396.

#### 4.2.3. Voladura TO-3384

La fecha de esta voladura fue el 13 de marzo del 2017 en el banco TO-3384 con alteración argílica, se programó para las 13.00 Hrs, y se disparó a las 14.58 Hrs, por problemas de perforación.

Fue un disparo electrónico, con tiempo/taladros de producción de 3 ms y tiempo/fila de producción de 110 ms, densidad de roca de 1,80 gr/cc en donde se dispararon 85 taladros.

La fragmentación post voladura fue buena, no hubo presencia de humo en la voladura y hubo un esponjamiento de 3 m aproximadamente.

Tabla 13 Resumen de la voladura TO-3384.

| <b>Voladura con CARTUFLEX</b> | <b>TO 3384</b>         |
|-------------------------------|------------------------|
| Fecha                         | 13/03/17               |
| Accesorio                     | Cartuflex 1 m          |
| Polígonos                     | C334, C245, C328, C342 |
| ,Burden y Espaciamiento       | 7*8                    |
| # de Taladros                 | 85                     |
| Densidad de roca (g/cc)       | 1.8                    |

Fuente: Elaboración propia.



Figura 4-12 Carguío de taladros, banco TO-3384.



Figura 4-13 Foto fragmentación post voladura TO 3384.

#### 4.2.4. Evaluar su efecto en el Dig Rate

Tabla 14 Efecto del Dig Rate en voladuras con Cartuflex.

| <b>CARTUFLEX</b> | <b>Promedio de Dig Rate</b> |
|------------------|-----------------------------|
| <b>TO-3420</b>   | <b>2,924</b>                |
| <b>C335</b>      | 2,818                       |
| <b>C340</b>      | 2,947                       |
| <b>C346</b>      | 3,007                       |
| <b>TO-3396</b>   | <b>3,208</b>                |
| <b>C345</b>      | 3,176                       |
| <b>C347</b>      | 3,280                       |
| <b>C353</b>      | 3,169                       |
| <b>TO-3384</b>   | <b>3,517</b>                |
| <b>C245</b>      | 3,392                       |
| <b>C328</b>      | 3,636                       |
| <b>C334</b>      | 3,351                       |
| <b>C342</b>      | 3,691                       |

Fuente: Elaboración propia.

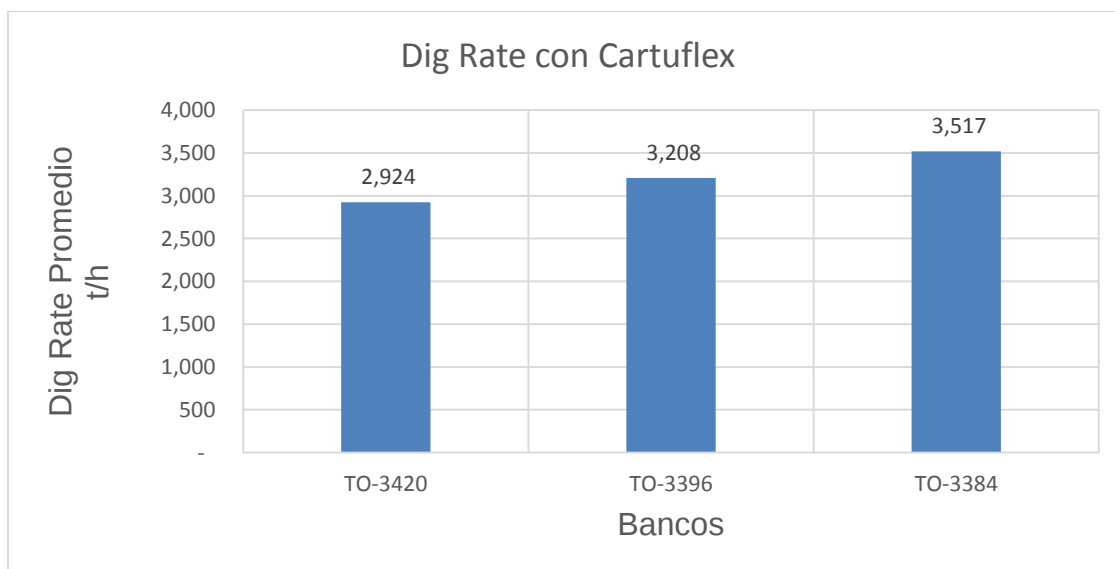


Figura 4-14 Dig Rate promedio de las tres voladuras usando Cartuflex.

Fuente: Elaboración propia.

Utilizar cartuflex en las voladuras, da como resultado un Dig Rate que varía de 2000t/h a 3500 th/h, lo cual es súper bueno, comparando con el Dig Rate de 2000 t/h estándar sin usar cámaras de aire se puede notar un buen aumento usando este dispositivo; además hay que considerar su desviación estándar de  $\pm 269.1$

Tabla 15 Dig Rate promedio y desviación estándar usando Cartuflex.

|                       |             |             |
|-----------------------|-------------|-------------|
| <b>Dig</b>            | <b>Rate</b> |             |
| <b>promedio</b>       | <b>sin</b>  | 3,247 t/h   |
| <b>cámara de aire</b> |             |             |
| <b>Desviación</b>     |             | $\pm 283.6$ |
| <b>estándar</b>       |             |             |
| <b>Coeficiente</b>    | <b>de</b>   | 8.7%        |
| <b>variación</b>      |             |             |

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.3. Realizar pruebas en la voladura con el dispositivo Aquadeck

##### 4.3.1. Voladura TO-3396

La fecha de esta voladura fue el 14 de marzo del 2017 en el banco TO-3396 con alteración argílica y propilítica, se programó para las 12.00 Hrs, y se disparó a las 13.33 Hrs.

Fue un disparo electrónico, con tiempo/taladros de producción de 180 ms y tiempo/fila de producción de 108 ms, densidad de roca de 2,00 gr/cc en donde se dispararon 50 taladros.

La fragmentación post voladura fue buena, no hubo presencia de humo en la voladura y hubo un esponjamiento de 3 m aproximadamente.

Tabla 16 Resumen de la voladura TO-3396.

| <b>Voladura con AQUADECK</b> | <b>TO 3396</b>   |
|------------------------------|------------------|
| Fecha                        | 14/03/17         |
| Accesorio                    | Aquadeck 1 m     |
| Polígonos                    | C349, C344, C356 |
| Burden y Espaciamiento       | 6*7              |
| # de Taladros                | 50               |
| Densidad de roca (gr/cc)     | 2.00             |

Fuente: Elaboración propia.



Figura 4-15 Voladura TO-3396, usando Aquadeck.



Figura 4-16 Foto fragmentación post voladura TO 3396

#### **4.3.2. Voladura TO-3432**

La fecha de esta voladura fue el 24 de marzo del 2017 en el banco TO-3432 con alteración propilítica, se programó para las 13.00 Hrs, y se disparó a las 13.12 Hrs.

Fue un disparo electrónico, con tiempo/taladros de producción de 3 ms y tiempo/fila de producción de 97 ms, densidad de roca de 2,00 gr/cc en donde se dispararon 70 taladros.

La fragmentación post voladura fue buena, no hubo presencia de humo en la voladura y hubo un esponjamiento de 4.5 m aproximadamente.

Tabla 17 Resumen de la voladura TO-3432.

| <b>Voladura con AQUADECK</b> | <b>TO 3432</b>   |
|------------------------------|------------------|
| Fecha                        | 24/03/17         |
| Accesorio                    | Aquadeck 1 m     |
| Polígonos                    | C348, C357, C332 |
| Burden y Espaciamiento       | 6.5*7.5          |
| # de Taladros                | 70               |
| Densidad de roca (g/cc)      | 2.00             |



Figura 4-17 Carguío de taladros, banco TO-3432.

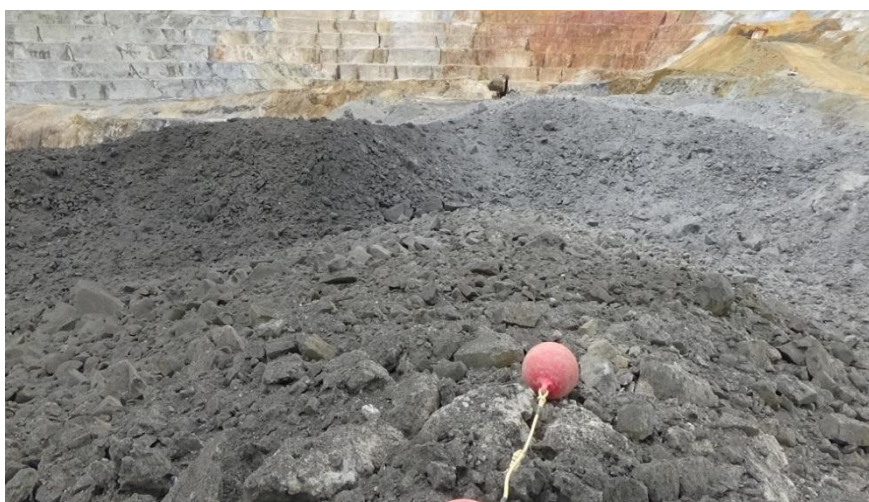


Figura 4-18 Foto fragmentación post voladura TO 3432.

#### 4.3.3. Voladura TO-3408

La fecha de esta voladura fue el 25 de abril del 2017 en el banco TO-3408 con alteración propilítica, se programó para las 12.00 Hrs, y se disparó a las 13.22 Hrs, por tormenta eléctrica.

Fue un disparo electrónico, con tiempo/taladros de producción de 3 ms y tiempo/fila de producción de 180 ms, densidad de roca de 1,80 gr/cc en donde se dispararon 79 taladros.

La fragmentación post voladura fue buena, no se generaron humos nitroso en la voladura y hubo un esponjamiento de 4 m aproximadamente.

Tabla 18 Resumen de la voladura TO-3408

| Voladura con AQUADECK    | TO 3408                |
|--------------------------|------------------------|
| Fecha                    | 25/04/17               |
| Accesorio                | Aquadeck 1 m           |
| Polígonos                | C358, C359, C360, C361 |
| Burden y Espaciamiento   | 7*8                    |
| # de Taladros            | 79                     |
| Densidad de roca (gr/cc) | 1.8                    |



Figura 4-19 Carguío de taladros, banco TO-3408.



Figura 4-20 Foto fragmentación post voladura TO 3408.

#### 4.3.4. Evaluar su efecto en el Dig Rate

Tabla 19 Efecto del Dig Rate en voladuras con Aquadeck.

| <b>AQUADECK</b> | <b>Promedio de Dig Rate</b> |
|-----------------|-----------------------------|
| <b>TO-3396</b>  | <b>3,875</b>                |
| <b>C344</b>     | 3,848                       |
| <b>C349</b>     | 3,755                       |
| <b>C356</b>     | 4,022                       |

|                |              |
|----------------|--------------|
| <b>TO-3432</b> | <b>4,581</b> |
| <b>C332</b>    | 4,816        |
| <b>C348</b>    | 4,111        |
| <b>C357</b>    | 4,816        |
| <b>TO-3408</b> | <b>5,030</b> |
| <b>C358</b>    | 4,836        |
| <b>C359</b>    | 5,121        |
| <b>C360</b>    | 5,102        |
| <b>C361</b>    | 5,061        |

Fuente: Elaboración propia.

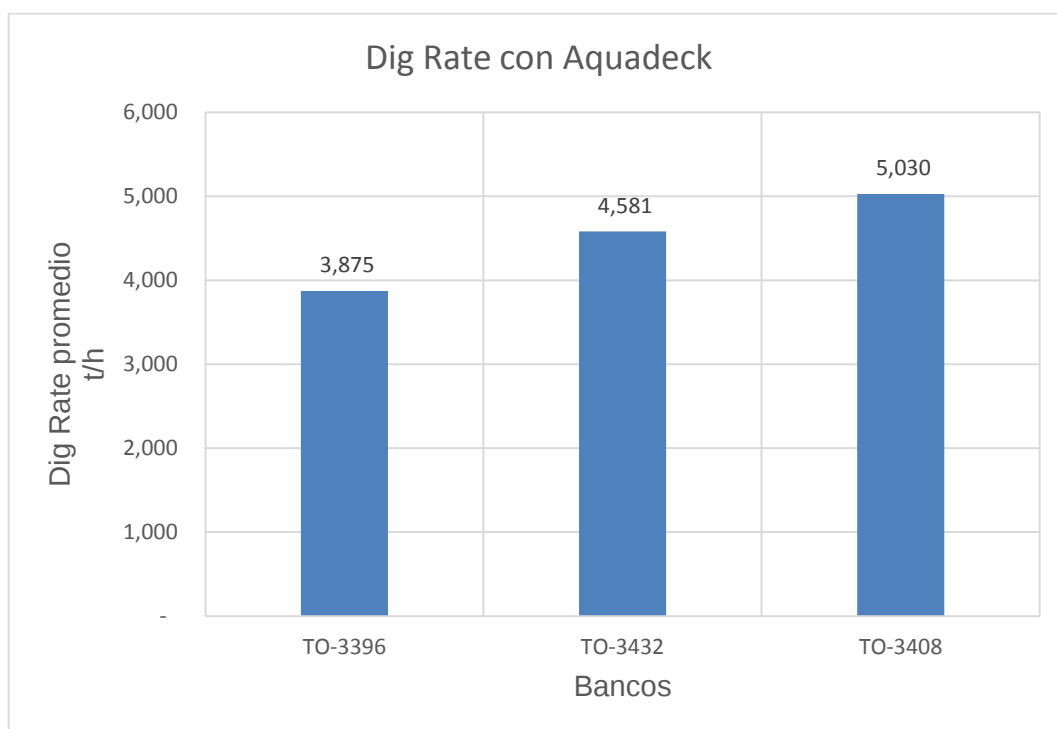


Figura 4-21 Dig Rate promedio de las tres voladuras usando Aquadeck.

Fuente: Elaboración propia.

Se observa que usar Aquadeck tiene elevados tonelajes de Dig Rate, variando de 3000 t/h a 5000t/h aproximadamente, cabe resaltar que estas cámaras de aire fueron utilizadas en taladros con agua, y sus resultados son muy buenos.

Tabla 20 Dig Rate promedio y desviación estándar usando Aquadeck.

| Dig            | Rate |           |
|----------------|------|-----------|
| promedio       | sin  | 4,549 t/h |
| cámara de aire |      |           |
| Desviación     |      | ± 548.9   |
| estándar       |      |           |
| Coefficiente   | de   | 12%       |
| variación      |      |           |

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.4. Comparación del Dig Rate sin usar cámaras de aire con el uso de Cartuflex y Aquadeck

Para comparar el Dig Rate al usar los dispositivos vs no usarlos, se decidió los siguientes criterios: Se ha promediado los tonelajes de los polígonos de cada voladura con y sin cámaras, para compararlos con el mismo tipo de roca, burden y espaciamiento.

Es por eso, en primer lugar, se hará una comparación de las voladuras que tengan mallas de 6 x 7 en roca dura, luego mallas de 6.5 x 7.5 en roca dura también y finalmente mallas de 7 x 8 en roca media. Es importante considerar esto, porque la longitud del burden y el espaciamiento tienen que establecerse de acuerdo al tipo de terreno; mientras más duro es el terreno, estos dos factores tienen que tener menos longitud.

##### 4.4.1. Voladuras TO-3432, TO-3420, TO-3396

Tabla 21 Resultado del Dig Rate, en mallas de 6 x 7 y roca dura.

| ACCESORIO          | BANCOS  | DIG RATE |
|--------------------|---------|----------|
|                    |         | t/h      |
| Sin cámara de aire | TO-3432 | 1,978    |
| Cartuflex          | TO-3420 | 2,924    |
| Aquadeck           | TO-3396 | 3,875    |

Fuente: Elaboración propia.

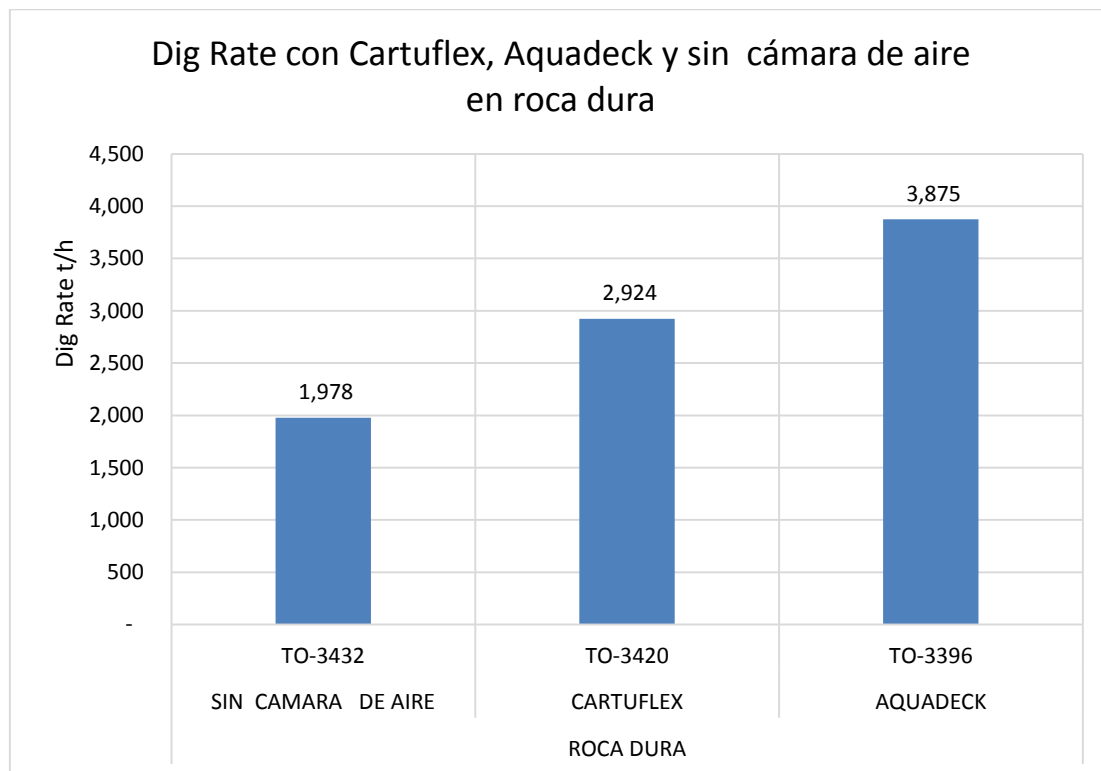


Figura 4-22 Resultado del Dig Rate sin usar cámaras de aire y empleando Aquadeck y Cartuflex en mallas de 6x7 en terreno duro.

Fuente: Elaboración propia.

Efectivamente se puede notar la diferencia que existe entre usar cámaras de aire vs no usarlas, hay un aumento de 1,896 t/h usando Aquadeck vs no usar aire en el taladro.

Tabla 22 Diferencia en porcentaje al comparar el Dig Rate sin cámaras de aire con el uso de Cartuflex y Aquadeck.

|                                        |       |     |
|----------------------------------------|-------|-----|
| DIFERENCIA: Sin<br>cámara vs Cartuflex | 945   | 48% |
| DIFERENCIA: Sin<br>cámara vs Aquadeck  | 1,896 | 96% |

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.4.2. Voladuras TO-3396, TO-3396, TO-3432

Tabla 23 Resultado del Dig Rate, en mallas de 6.5 x 7.5 y roca dura.

| ACCESORIO          | BANCOS  | DIG RATE<br>t/h |
|--------------------|---------|-----------------|
| Sin cámara de aire | TO-3396 | 2,510           |
| Cartuflex          | TO-3396 | 3,208           |
| Aquadeck           | TO-3432 | 4,581           |

Fuente: Elaboración propia.

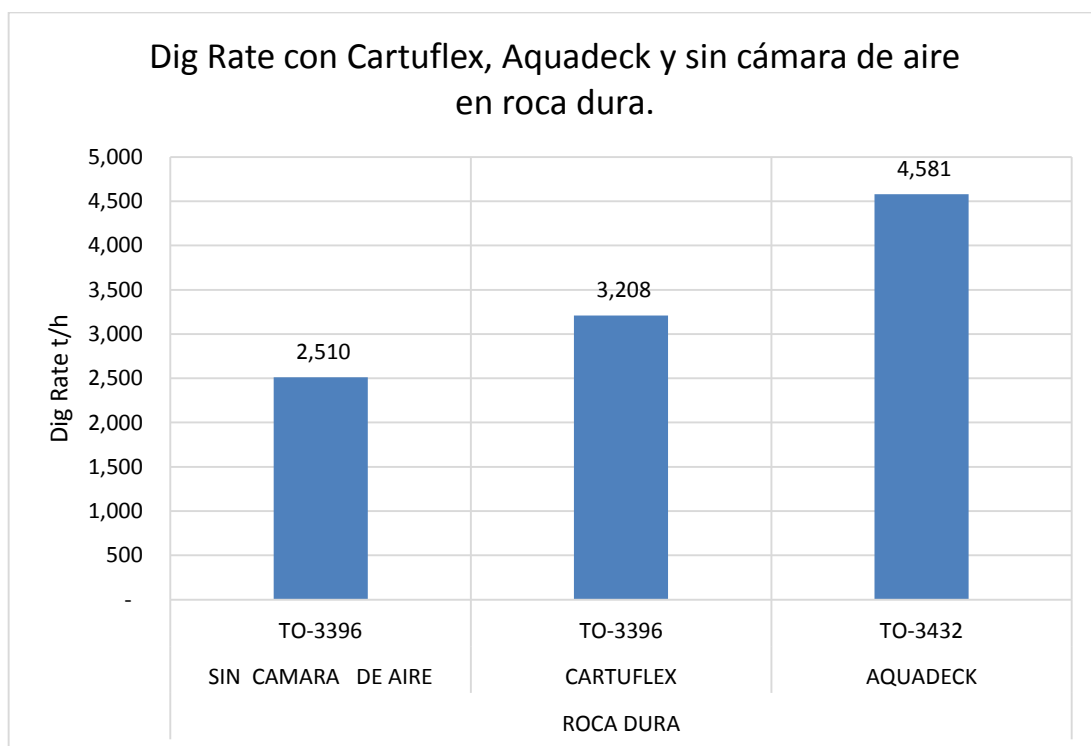


Figura 4-23 Resultado del Dig Rate sin usar cámaras de aire y empleando Aquadeck y Cartuflex en mallas de 6.5x7.5 en terreno duro.

Fuente: Elaboración propia

Observando en el gráfico, se nota claramente que el Aquadeck tiene mejores resultados de Dig Rate con una diferencia de 2,071 t/h vs al no usar cámaras de aire. Diferencia con el Cartuflex es menor, pero se comprueba que usar dispositivos genera un aumento en el Dig Rate.

Tabla 24 Diferencia en porcentaje al comparar el Dig Rate sin cámaras de aire con el uso de  
Cartuflex y Aquadeck.

|                                               |       |     |
|-----------------------------------------------|-------|-----|
| <b>DIFERENCIA:</b> Sin<br>cámara vs Cartuflex | 698   | 28% |
| <b>DIFERENCIA:</b> Sin<br>cámara vs Aquadeck  | 2,071 | 83% |

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.4.3. Voladuras TO-3360, TO-3384, TO-3408

Tabla 25 Resultado del Dig Rate, en mallas de 7 x 8 y roca media.

| ACCESORIO          | BANCOS         | DIG RATE<br>T/h |
|--------------------|----------------|-----------------|
| Sin cámara de aire | <b>TO-3360</b> | <b>2,646</b>    |
| Cartuflex          | <b>TO-3384</b> | <b>3,517</b>    |
| Aquadeck           | <b>TO-3408</b> | <b>5,030</b>    |

Fuente: Elaboración propia.

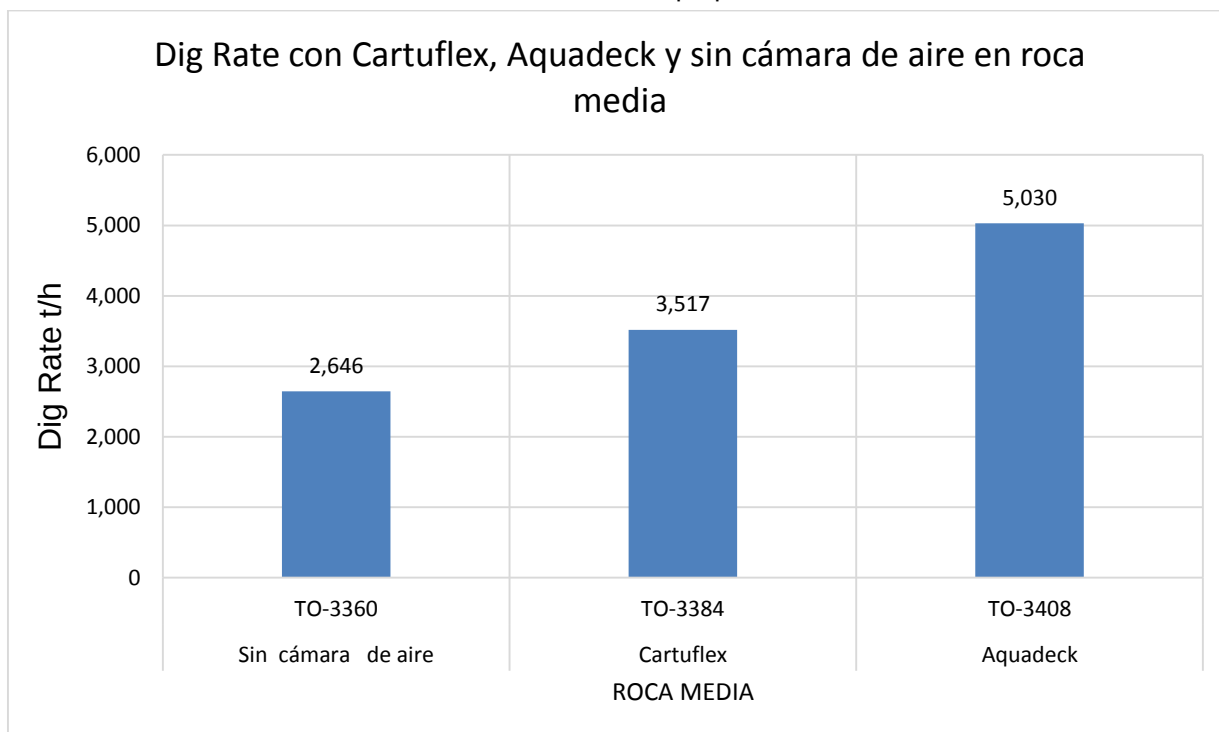


Figura 4-24 Resultado del Dig Rate sin usar cámaras de aire y empleando Aquadeck y Cartuflex  
en mallas de 7x8 en terreno medio.

Fuente: Elaboración propia.

En esta última comparación, numéricamente las cámaras de aire ofrecen mejores resultados de Dig Rate, siendo el Aquadeck la mejor cámara de aire, comparando con el tonelaje cuando no se usan cámaras, el Aquadeck supera esa cantidad con 2,109 t/h más.

Tabla 26 Diferencia en porcentaje al comparar el Dig Rate sin cámaras de aire con el uso de Cartuflex y Aquadeck.

|                                               |            |            |
|-----------------------------------------------|------------|------------|
| <b>DIFERENCIA:</b> Sin<br>cámara vs Cartuflex | <b>909</b> | <b>33%</b> |
| <b>DIFERENCIA:</b> Sin<br>cámara vs Aquadeck  | 2,109      | 77%        |

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.5. Dig Rate promedio final sin cámaras de aire, con cartuflex y Aquadeck

Después de analizar el Dig Rate de las 9 voladuras los resultados fueron los siguientes: El Dig Rate promedio final sin cámaras de aire es de 2,405 t/h, usando Cartuflex 3,247 t/h y Aquadeck con 4,549 t/h, con una desviación estándar de  $\pm 882$ . Se observa en la Tabla 27 y en la Figura 4-26 a continuación:

Tabla 27 Dig Rate promedio final utilizando cámaras de aire vs sin cámaras de aire.

| ACCESORIO            | DIG RATE<br>PROMEDIO<br>t/h |
|----------------------|-----------------------------|
| SIN CÁMARA           | 2,405                       |
| CARTUFLEX            | 3,247                       |
| AQUADECK             | 4,549                       |
| <b>Total general</b> | <b>3,400</b>                |

Fuente: Elaboración propia.

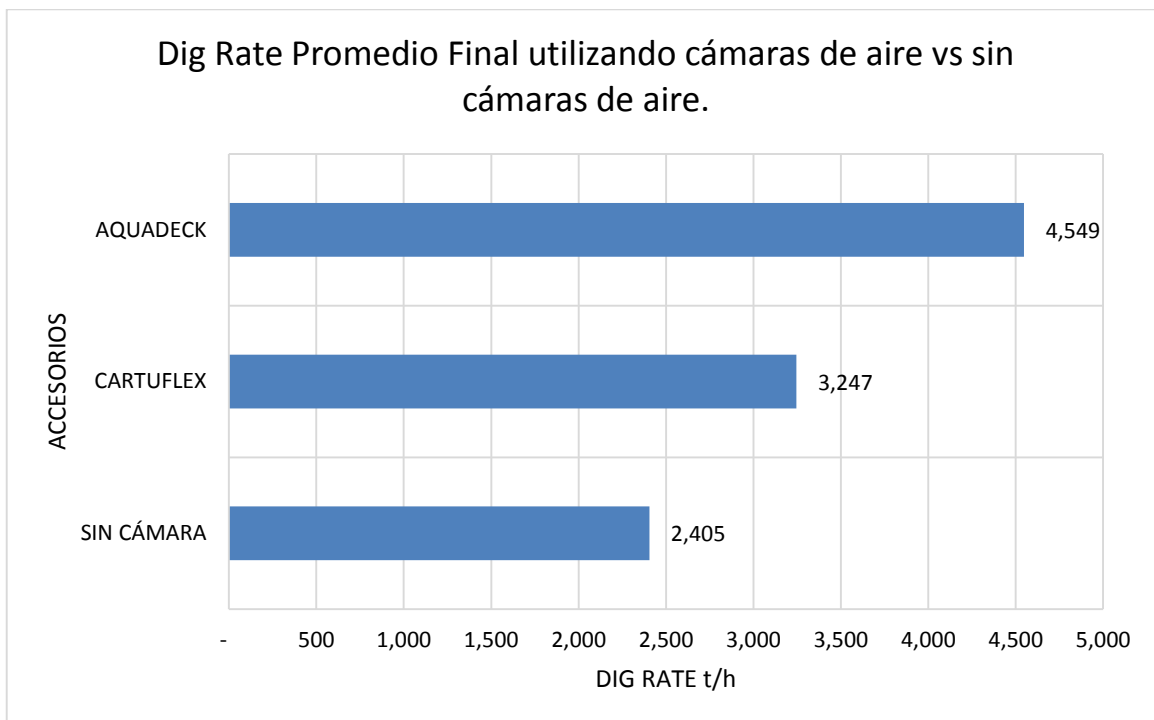


Figura 4-25 Dig Rate al usar las cámaras de aire Aquadeck y Cartuflex en las voladuras vs sin el uso de cámaras de aire.

Fuente: Elaboración propia.

|                                                            |               |
|------------------------------------------------------------|---------------|
| <b>Desviación<br/>estándar Dig Rate<br/>promedio final</b> | <b>± 1080</b> |
| <b>Coefficiente de<br/>variación</b>                       | <b>31.7 %</b> |

#### 4.5.1. Costo por taladro

Analizar costo/ taladro en la voladura, se debe tener en consideración los datos generales, los diseños de carga usando cámaras de aire es diferente al no usar los dispositivos, puesto que el diseño con cámaras de aire solamente adiciona ya sea Cartuflex o Aquadeck en el fondo del taladro.

##### A. Datos generales

|                        |          |               |
|------------------------|----------|---------------|
| <b>H banco (m)</b>     | <b>:</b> | <b>12</b>     |
| <b>Diámetro (pulg)</b> | <b>:</b> | <b>10 5/8</b> |
| <b>Sub Drill (m)</b>   | <b>:</b> | <b>1</b>      |
| <b>Taco (m)</b>        | <b>:</b> | <b>5,5</b>    |

|                                 |   |       |
|---------------------------------|---|-------|
| <b>Carga total sin aire (m)</b> | : | 6,5   |
| <b>Carga total con aire (m)</b> |   | 5,5   |
| <b>Mezcla explosiva</b>         | : | ME 73 |

Fuente: Elaboración propia.

### B. Diseños de carga

Cuando es un diseño de carga tradicional (ver Figura 4-26), éste no lleva cámaras de aire; sólo es carga corrida con ME 73.

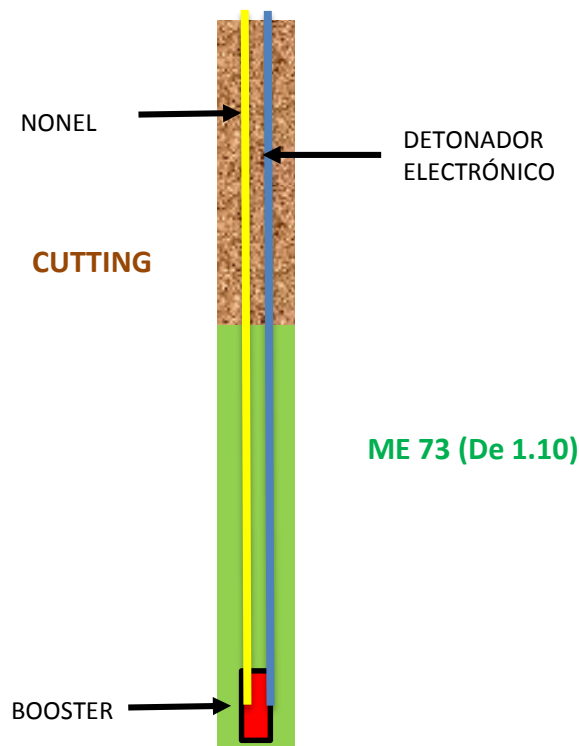


Figura 4-26 Diseño de carga tradicional, sin cámaras de aire.

Fuente: Elaboración propia.

Cargar taladros con cámaras de aire (ver Figura 4-27), su diseño es diferente, en este caso se genera 1 m de aire en el fondo del barreno, el booster es primado con detonador electrónico y nonel.

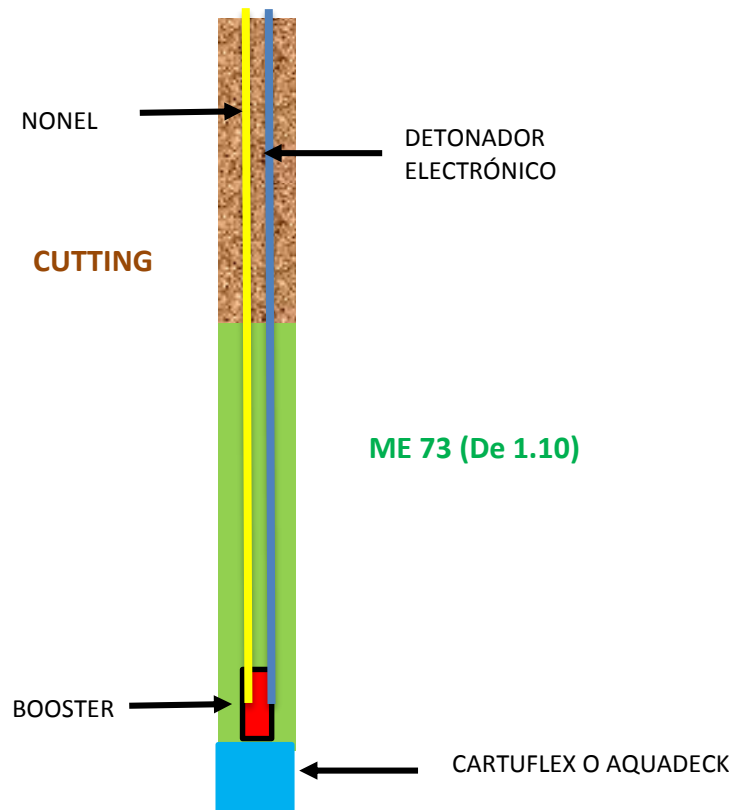


Figura 4-27 Diseño de carga utilizando cámaras de aire.

Fuente: Elaboración propia.

### C. Costos

El costo por taladro sin cámaras de aire es de US\$275.81, usando cartuflex US\$246.94 y con el Aquadeck es de \$244.84, la diferencia de precio entre ambas cámaras de aire es de US\$2.1, al usar Cartuflex en las mallas de voladura se ahorra \$28.87 por taladro, mientras que usando Aquadeck se ahorra US\$30.97. El ahorro anual usando cámaras de aire es significativo, siendo para el Cartuflex US\$144,350.00 y para Aquadeck de US\$154,850.00.

a. Costo/taladro sin cámara de aire

Tabla 28 Costo/taladro sin usar cámara de aire.

| Costo/taladro sin usar cámara de aire. |     | US\$          |
|----------------------------------------|-----|---------------|
| Metro de carga                         | 6.5 | 242.25        |
| Booster                                | 1   | 4.15          |
| Cordón Detonante                       | 0   | -             |
| Detonador Electrónico                  | 1   | 26.61         |
| Detonador pirotécnico                  | 1   | 2.80          |
| <b>Costo / Taladro</b>                 |     | <b>275.81</b> |

Fuente: Elaboración propia.

b. Costo/taladro con Cartuflex

Tabla 29 Costo/taladro usando Cartuflex.

| Costo/taladro usando Cartuflex |     | US\$          |
|--------------------------------|-----|---------------|
| Metro de carga                 | 5.5 | 204.98        |
| Cartuflex                      | 1   | 8.40          |
| Aquadeck                       | 0   | -             |
| Booster                        | 1   | 4.15          |
| Cordón Detonante               | 0   | -             |
| Detonador Electrónico          | 1   | 26.61         |
| Detonador pirotécnico          | 1   | 2.80          |
| <b>Costo / Taladro</b>         |     | <b>246.94</b> |

Fuente: Elaboración propia.

c. Costo/taladro con Aquadeck

Tabla 30 Costo/taladro usando Aquadeck.

| Costo/taladro usando Aquadeck |     | US\$          |
|-------------------------------|-----|---------------|
| <b>Metro de carga</b>         | 5.5 | 204.98        |
| <b>Cartuflex</b>              | 0   | -             |
| <b>Aquadeck</b>               | 1   | 6.30          |
| <b>Booster</b>                | 1   | 4.15          |
| <b>Cordón Detonante</b>       | 0   | -             |
| <b>Detonador Electrónico</b>  | 1   | 26.61         |
| <b>Detonador pirotécnico</b>  | 1   | 2.80          |
| <b>Costo / Taladro</b>        |     | <b>244.84</b> |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 31 Resumen costo/taladro usando y no las cámaras de aire.

|                            |             |            |
|----------------------------|-------------|------------|
| Costo / Taladro sin cámara | US\$ 275.81 |            |
| Costo / Taladro Cartuflex  | US\$ 246.94 | US\$ 28.87 |
| Costo / Taladro Aquadeck   | US\$ 244.84 | US\$ 30.97 |

Fuente: Elaboración propia.

El número de taladros perforados por año son de 5000 taladros.

Entonces:

Tabla 32 Costo anual al utilizar y no las cámaras de aire en el año 2017.

|                                               |                   |                 |
|-----------------------------------------------|-------------------|-----------------|
| <b>Ahorro anual - sin<br/>cámaras de aire</b> | US\$ 1,379,050.00 |                 |
| <b>Ahorro anual<br/>Cartuflex</b>             | US\$ 1,234,700.00 | US\$ 144,350.00 |
| <b>Ahorro anual<br/>Aquadeck</b>              | US\$ 1,224,200.00 | US\$ 154,850.00 |

Fuente: Elaboración propia.

## CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN

Según Montiel (2014), menciona que con la implementación adecuada de la cámara de aire en la voladura, se reduce la cantidad de explosivo. Para cada tipo de roca donde se pretenda efectuar la cámara de aire deberá efectuarse pruebas para encontrar la altura óptima, el nivel de eliminación de la sobreperforación y la nueva configuración de la carga explosiva. se afirma lo que dice Montiel porque en la investigación se demostró que cuando se utiliza cámaras de aire ahorras un metro de explosivo por taladro; y es de mucha importancia calcular la altura deseada de la cámara de aire en relación al diámetro del taladro, en diámetro de 105/8" la altura indicada es 1 metro.

(Quispe, 2014), demostró que "la versatilidad de las cámaras de aire con tapón Taponex en la minería a tajo abierto permite que este pueda ser usado en taladros secos y con agua". Se sabe que actualmente hay diversidad de cámaras de aire para voladura, lo que les interesa a las empresas es obtener un dispositivo completo en el sentido de que éste sea práctico y barato, realizar las pruebas con Aquadeck y Cartuflex, sirvieron de evidencia de que no todas las cámaras son especiales para taladros con agua, hago referencia a las bolsas de aire, como el cartuflex, se tuvieron problemas cuando el taladro tenía presencia de agua, era complicado generar la cámara de aire por que el cartuflex conforme pasaba el tiempo variando la longitud de la cámara, por el contrario al Aquadeck un producto nuevo muy parecido al Taponex en su diseño, dio muy buenos resultados en taladros con agua, por su practicidad de armado y el menor tiempo que necesita para colocar la cámara de aire en el interior del taladro. Es así que, utilizar cámaras de aire permitió ahorrar \$15,818 en los meses de marzo y abril, reduciendo 1 m menos de carga explosiva por taladro, sólo en las voladuras donde se hicieron las pruebas respectivas.

Dentro de la investigación no se incluye las pruebas en donde se utilizó la cámara de aire Paraplug, cámara nueva, empleada en algunas voladuras, si bien es cierto esta cámara fue diseñada 100% para taladros con agua y secos también, sin embargo presentó algunas complicaciones, como: no soporta el peso del explosivo, por ende la altura de la cámara de aire tiende a bajar, su armado es complejo en un tiempo de 1'13" y a un precio elevado de UD\$9.00 aproximadamente. En el caso de taladros irregulares, el diseño de fabricación de la cámara no ayuda a acoplarse totalmente al diámetro del barreno, provocando hundirse lentamente en el fondo del taladro.

## CONCLUSIONES

- En la investigación se comprobó que el uso de cámaras de aire en la voladura, incrementa el Dig Rate en Minera Yanacocha 2017. Se encontró que usando una voladura convencional el Dig Rate fue 2,405 t/h, 3,247 t/h y 4,549 t/h para Cartuflex y Aquadeck respectivamente, es decir se incrementa el Dig Rate convencional en 35% usando Cartuflex y 85% usando Aquadeck.
- Se recolectó información en voladuras convencionales en los meses de enero- abril 2017, en donde se analizaron 19 voladuras, teniendo en cuenta una alteración argílica avanzado-propilítica, con densidades de roca de media a dura, y adicionalmente se realizaron 3 voladuras tomando en cuenta las mismas características geológicas, y se encontró un Dig Rate de 2,405 t/h con una desviación estándar de  $\pm 311.70$  y su coeficiente de variación de 13%.
- Se realizaron 3 pruebas usando Cartuflex, en los meses de marzo y abril 2017, con alteración argílica-propilítica, con densidad de roca de media a dura, y su efecto en el Dig Rate utilizando este dispositivo dió un incremento de 35%, con una desviación estándar de  $\pm 283.6$  y su coeficiente de variación de 8.7%.
- Se realizaron 3 pruebas usando Aquadeck, en los meses de marzo y abril 2017, con alteración argílica-propilítica, con densidad de roca de media a dura, y su efecto en el Dig Rate utilizando este dispositivo dió un incremento de 85%, con una desviación estándar de  $\pm 548.9$  y su coeficiente de variación de 12.1%
- Se comparó el costo por taladro usando Aquadeck, Cartuflex vs taladro sin cámaras de aire, tomando en cuenta las consideraciones generales de altura de banco, mezcla explosiva, taco y diámetro del taladro, al no emplear cámaras de aire el costo/ taladro es de US\$ 275.81, US\$246.94 y \$244.84 para Cartuflex y Aquadeck, respectivamente. Anualmente se planifican volar 5000 taladros ahorrando con Cartuflex US\$144,350.00 y con Aquadeck US\$154,850.00.

## RECOMENDACIONES

- A los Bachilleres de Ingeniería de Minas se recomienda realizar un estudio usando las cámaras de aire Taponex, Explodeck y Paraplug, para analizar su efecto en tasa de Excavación (Dig Rate).
- A minera Yanacocha se recomienda establecer un procedimiento estándar para el uso de cada cámara de aire, además de realizar una capacitación anual del correcto uso de cámaras de aire a los trabajadores de campo.
- Al área de Asistencia Técnica Exsa se recomienda llevar un control minucioso cuando se colocan cámaras de aire en la voladura, volver a medir la altura establecida de la cámara y que ésta soporte el peso del explosivo, durante el tiempo del cargado de taladros.
- Se dio la oportunidad de usar el producto Paraplug, siendo éste diseñado para taladros con agua, pero por diversos inconvenientes técnicos se suspendió el uso en las diferentes pruebas, es por eso que este producto no se aceptó en mina por un tema complicado de operatividad y costo del dispositivo. El producto se recomienda usar en terrenos que no sean irregulares, porque se hunde en el fondo del taladro debido a su diseño de fabricación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alaya, J., Cabrera, R. & Cruzado, A. (s.f), *Uso de cámaras de aire para la minimización de costos y optimización de resultados en voladura*. Artículo científico, pp. 15.
- Blast Engineers (s.f). *Design and application of air decks in surface blasting operations*. Recuperado de [http://www.blastingengineer.com/Pats%20Papers/op\\_eng.pdf](http://www.blastingengineer.com/Pats%20Papers/op_eng.pdf).
- Chiappetta, F. (2004). *New blasting techniques to eliminate subgrade drilling improve fragmentation; reduce explosive consumption and lower ground vibrations*. Journal of explosives engineering, 21(1), 10-12.
- Chiappetta, Frank R. (2014). *New Innovative Blasting Techniques to Improve Fragmentation, Final Highwalls and Plant Throughput*. Ponencia presentada por Blasting Analysis International, Inc. Allentown, Pennsylvania, U.S.A.
- Chircca, G. (2010). *Control de las actividades de carguío y acarreo en minería superficial*. (Tesis de Título). Universidad Nacional de Ingeniería. Lima. Perú.
- Cartuchos Flexibles S.A.C. (2016b). *Ficha técnica Cartuflex*. Recuperado de: <file:///D:/INFO%201%20CICLO/JACQUELINE/Desktop/CAMARAS%20DE%20AIRE%20-%20BORRADORES/324062185-Presentacion-Cartuflex-Blocker-Hole.pdf>
- Chanduvi, M. (2010). *Análisis técnico, ecológico, económico con la aplicación de Explodeck para reducir el consumo de mezcla explosiva en la compañía minera Barrick Misquichilca – Lagunas Norte*. (Tesis de Título). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima. Perú.
- Hernández, R., Fernández, C. & Baptista, P. A. (2010). *Metodología de la investigación*. (Quinta edición). Mexico: McGraw Hill/ Interamericana editores.
- Jhanwar, J., Jethwa, L. (2000). The use of air decks in production blasting in an open pit coal mine. *Revista Geotechnical and Geolical Engineering*, 18 pp. 269-287. Recuperado de: <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1016634231801>.
- Montiel, N. (2014). *Optimización del diseño de perforación y voladura aplicando cámara de aire con el explosivo forti-extra, mina paso diablo, carbones del Zulia S.A. Estado de Zulia*. (Tesis de Título). Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela.
- Ortiz, O., Canchari, G. & Postigo, A. (2007). *Incremento de la rentabilidad de operaciones mineras a cielo abierto por eliminación de la sobreperforación*. [En línea]. Recuperado de: <http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/520/443>.

- Perca (2014). Recuperado de:  
<https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=K9U8pqwYeTQC&oi=fnd&pg=PA343&dq=air+deck++in+blasting&ots=ubWa1hs0R5&sig=OjiObyovhNckVdGfPiHlgi4p9Pg#v=onepage&q=air%20deck%20%20in%20blasting&f=false>.
- Pérez, C. (2016). *Reducción de las vibraciones por efectos de la voladura superficial usando cámaras de aire en la columna explosiva, en minera corporación del centro, La Libertad, 2016*. (Tesis de Título). Universidad Privada del Norte. Cajamarca. Perú.
- Quiroz, C. (2016). *Perforación y voladura en taladros reactivos en stock de sulfuros transicionales profundos Minera Yanacocha, 2016 para incrementar la tasa de excavación*. (Tesis de Título). Universidad Privada del Norte. Cajamarca. Perú.
- Quispe, J. (2014). *Reducción de costos en perforación y voladura por la aplicación de cámaras de aire en la U. M. Constancia – Hudbay Perú S.A.C.* (Tesis de Título). Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, Perú.
- Sáenz, Y. & Castañeda, A & Cancec, A. (2015). *Nuevas técnicas para el confinamiento del explosivo en minas a cielo abierto*. Ponencia presentada en la 32° convención minera –Perumin. Arequipa.
- Suttithe, R., Chewchan, L. & Pirat, J. (2013). *Influence of air-deck length on fragmentation in quarry blasting*. En Revista Científica Europea, 3 pp (201). Recuperado de <http://eujournal.org/index.php/esj/article/viewFile/2426/2299>.
- Vilela, P. (2014). *Análisis de factibilidad para el uso de anfo pesado a base de emulsión gasificable en Minera Yanacocha*. (Tesis de título). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.

## ANEXOS

### Anexo 1 Ficha técnica - Cartuflex.



## CARTUFLEX BLOCKER HOLE (Bolsa Autoinflable)



### PRODUCTO



---

**PROPIEDADES:**

- Fabricado con lamina de barrera de 7 capas.
- Altura de Blocker Hole 0.50 mts.
- Ancho de acuerdo al diámetro de perforación.
- Alta resistencia a la abrasión, rasgado y rotura.
- Mezcla química no inflamable y no toxica.
- Certificada por la universidad nacional de ingeniería (UNI).
- Sellado por equipos de alta frecuencia.



## OBJETIVOS

### Objetivo General:

- Reducir costos en Perforación y Voladura.

### Objetivo Específicos:

- Disminuir las vibraciones.
- Reducir el consumo de explosivos.
- Mejorar la fragmentación.
- Disminuir o eliminar la sobre perforación.



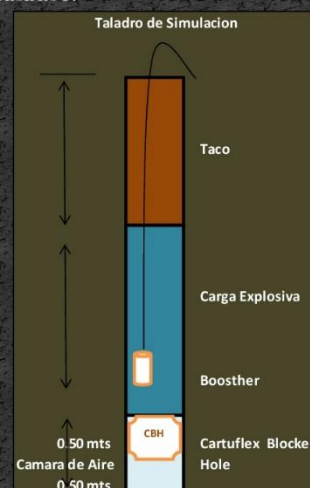
**CARTUFLEX**

## PROCESO

Paso 1.- Para generar cámara de aire en el fondo del taladro.



**CARTUFLEX**



Anexo 2 Ficha técnica – Aquadeck. Manual de instalación.

**AQUADECK** ©

**IDEA BLAST**

ACCESORIO PARA OPTIMIZACIÓN DE VOLADURAS – MANUAL INSTALACION

**AQUADECK** ©, es un dispositivo de polietileno, con una alta resistencia a la tracción y con un diseño reforzado para trabajar en el fondo del taladro, que sirve para generar cámaras de agua en la parte superior del taladro.

Los pasos para su instalación son los siguientes:

**PASO 1**

Ubicar la longitud a la cual se amarrará la varilla de madera con la driza.

Hacer un buen nudo para evitar deslizamientos.



**PASO 2**

Extender toda la driza de manera que cuando caiga no hayan nudos preformados.



**PASO 3**

Ubicar la varilla de madera a un lado de la boca del taladro.

Es importante que quede bien sujeta la varilla de madera para que no caiga cuando se instale el AQUADECK.



**PASO 4**

En taladros secos:

Colocar 01 puñado de gravilla y/o detritus y colocarlo en el AQUADECK.

En taladros con agua:

Colocar 03 puñados de gravilla CON piedras pequeñas, sin que supere la cuarta parte del AQUADECK.



Tal. SECOS



Tal. CON AGUA

**PASO 5**

Coger con ambas manos (diametralmente opuestas) el AQUADECK y ubicarlo en la parte central del taladro; luego dejarlo caer hasta que se tense bien la driza.

Para asegurar una buena expansión del producto, deje caer un poco más de material detritus al final del proceso.



Tal. SECOS



Tal. CON AGUA

**IDEA BLAST SRL.**  
Av. Caminos del Inca 1350 Int. 501.  
Lima 33 – Perú  
Office: +51 1 2793440  
[www.ideablastperu.com](http://www.ideablastperu.com)

**IDEA BLAST**

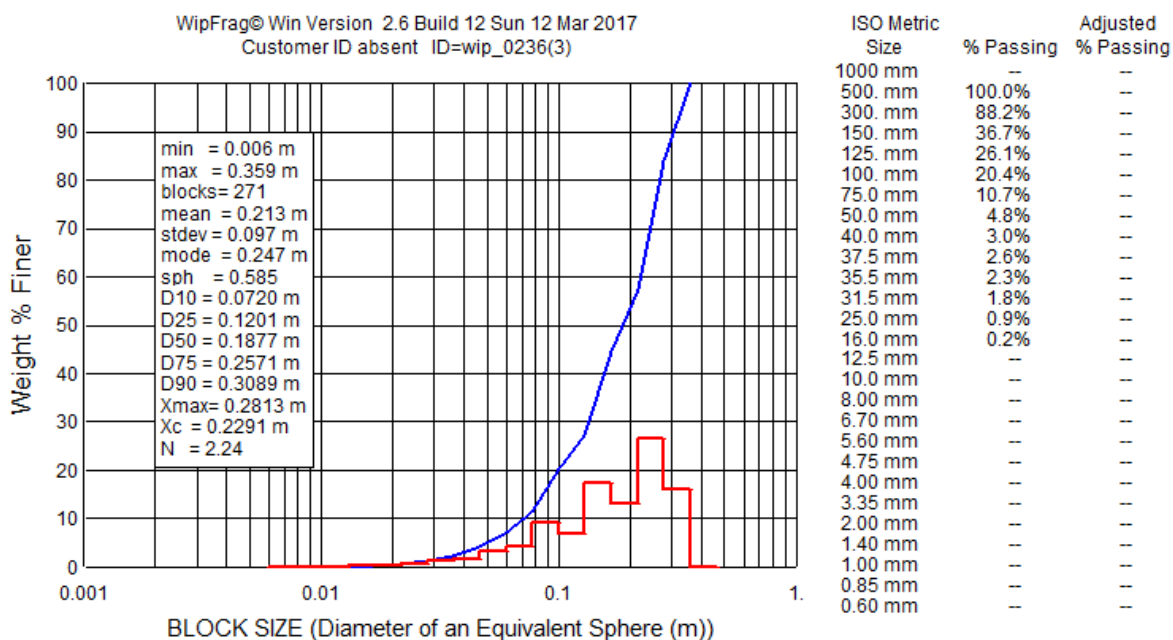
INGENIERÍA DE OPTIMIZACIÓN



Anexo 3 Reporte de Fragmentación con la utilización de Cartuflex TO 3420.



**P 80 = 2.9 pulgs**



Anexo 4 Procedimiento estándar de trabajo: medición de densidades en campo

|                                                                                   |                                              |                                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------|
|  | <b>EHS EXSA - SIVE YANACOCCHA</b>            | <b>ATT-PETS-003</b>             |
|                                                                                   |                                              | <b>EDICIÓN 02</b>               |
|                                                                                   | <b>PETS: MEDICION DE DENSIDADES EN CAMPO</b> | <b>VALIDO DESDE: 30/04/2016</b> |
|                                                                                   |                                              | <b>Página 1 de 2</b>            |

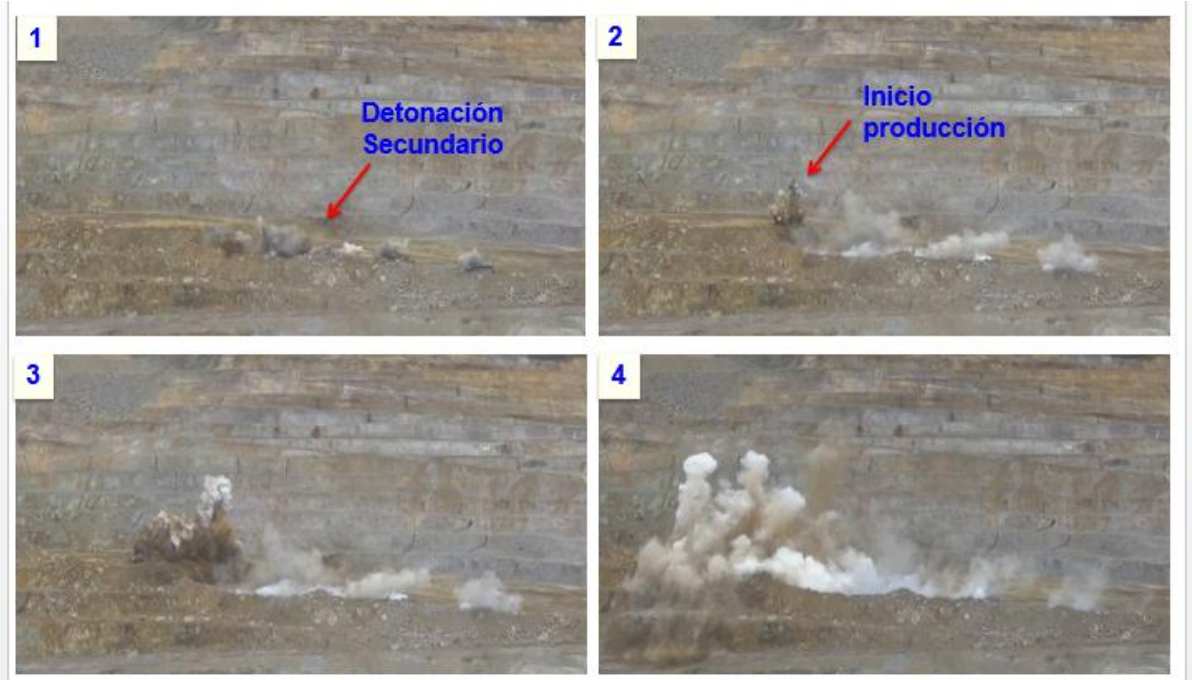
|                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Cargo</b>                                                                                                                                                                                              | : Ingeniero de Asistencia Técnica                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Gerencia</b>                                                                                                                                                                                           | : Comercial                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Área</b>                                                                                                                                                                                               | : SIVE (Servicios a la Minería y Construcción)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>Requisitos de Competencia:</b>                                                                                                                                                                         | <b>Referencias Relacionadas:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Inducción Específica y/o Repaso Anual.</li> <li>Capacitación específica en la tarea</li> <li>Licencia de manipulador de explosivos otorgado por SUCAMEC</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Manual de Seguridad y Salud en el Trabajo – MYSRL</li> <li>Reglamento Interno de Trabajo – EXSA S. A.</li> <li>Reglamento Interno de Seguridad, Higiene Industrial y Salud en el Trabajo – EXSA S. A.</li> <li>DS N° 055-2010-EM. "Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería".</li> <li>Ley N° 29783 "Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo".</li> <li>DS N° 005-2012-TR. "Reglamento de la Ley N° 29783"</li> </ul> |
| <b>Objetivo:</b>                                                                                                                                                                                          | <b>Equipo de Protección Personal:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Realizar el trabajo de forma segura y eficiente</li> </ul>                                                                                                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>EPP Básico.</li> <li>EPP Específico según la condición</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Herramientas:</b>                                                                                                                                                                                      | <b>Equipos y Materiales:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>No aplica</li> </ul>                                                                                                                                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>Equipo de comunicación: Radio handie</li> <li>Balanza electrónica calibrada y certificada (precisión 0.1 gr.)</li> <li>Recipiente graduado (volumen 1000 cc)</li> <li>Espátula, trazo industrial</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                        |

| No. | PASO (QUÉ)                        | EXPLICACIÓN (CÓMO)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Pasos ejecutados<br>(V) Completado<br>(X) No<br>completado |  |
|-----|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|--|
| 1   | Preparación                       | <ol style="list-style-type: none"> <li>Coordine con el Residente EXSA la ubicación de los camiones mezcladores y la actividad a realizar para las facilidades y apoyo del caso.</li> <li>Comunique al Operador de Camión mezclador y winchero de turno, que va a realizar la medición luego del tercer taladro cargado.</li> </ol>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                            |  |
| 2   | Toma de muestra                   | <ol style="list-style-type: none"> <li>Ubicar la balanza en una zona segura y libre de contactos, proceda a nivelar la balanza y hacer el destare del recipiente vacío. Es muy importante la primera limpieza y destare del recipiente.</li> <li>Coordine con el Operador de Camión para que la manga la ubique a una altura que le permita obtener la muestra sin riesgo alguno.</li> <li>Sostener firmemente el recipiente al momento de recepcionar la mezcla.</li> <li>Una vez lleno, dar golpes suaves al recipiente sobre material de goma o material blando para eliminar las burbujas o espacios de aire en el interior del recipiente.</li> </ol>                                                                                                                                            |                                                            |  |
| 3   | Medición y Registro de la muestra | <ol style="list-style-type: none"> <li>Con una espátula, enrase el producto del recipiente teniendo cuidado de no apretar la muestra hacia el recipiente.</li> <li>Limpie la pared exterior del recipiente de cualquier adhesión de la mezcla.</li> <li>Realice el pesado hasta obtener el peso adecuado y sin forzar medidas.</li> <li>Comunique al operador del Camión mezclador la densidad obtenida, para el registro correspondiente</li> <li>Si el recipiente es de 1Lt. el resultado de la densidad, es el peso que indica la balanza dividido entre 1,000. Si es de diferente volumen el resultado es indirecto, debe utilizar fórmula (densidad=masa registrada/volumen del recipiente)</li> <li>Los datos obtenidos deberán ser registrados en el formato SVE-F-026 y SVE-F-054.</li> </ol> |                                                            |  |

|                                                                                   |                                              |                                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------|
|  | <b>EHS EXSA - SIVE YANACocha</b>             | <b>ATT-PETS-003</b>             |
|                                                                                   |                                              | <b>EDICIÓN 02</b>               |
|                                                                                   | <b>PETS: MEDICION DE DENSIDADES EN CAMPO</b> | <b>VALIDO DESDE: 30/04/2016</b> |
|                                                                                   |                                              | <b>Página 2 de 2</b>            |

| PREPARADO POR                                                                                                               | REVISADO POR:                                                                     | REVISADO POR:                                                                      | APROBADO POR:                                                                                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                            |  |  |            |
| Mirko Sarmiento – Edgar Sánchez - Jorge Gallo – Rodolfo Portal<br>RESIDENTE Y TRABAJADORES DEL AREA<br>Fecha: Marzo de 2016 | Carlos Bustamante Córdova<br>JEFE DE EHS<br>Fecha: Marzo de 2016                  | Wilder Basauri Condari<br>JEFE DE OPERACIONES<br>Fecha: Marzo de 2016              | Jorge Alva Fernández<br>JEFE SERVICIOS A LA MINERIA Y<br>CONSTRUCCION<br>Fecha: Marzo de 2016 |

Anexo 5 Disparo de la voladura usando Aquadeck. TO 3408.



Anexo 6 fotografía post voladura usando Aquadeck. TO 3408



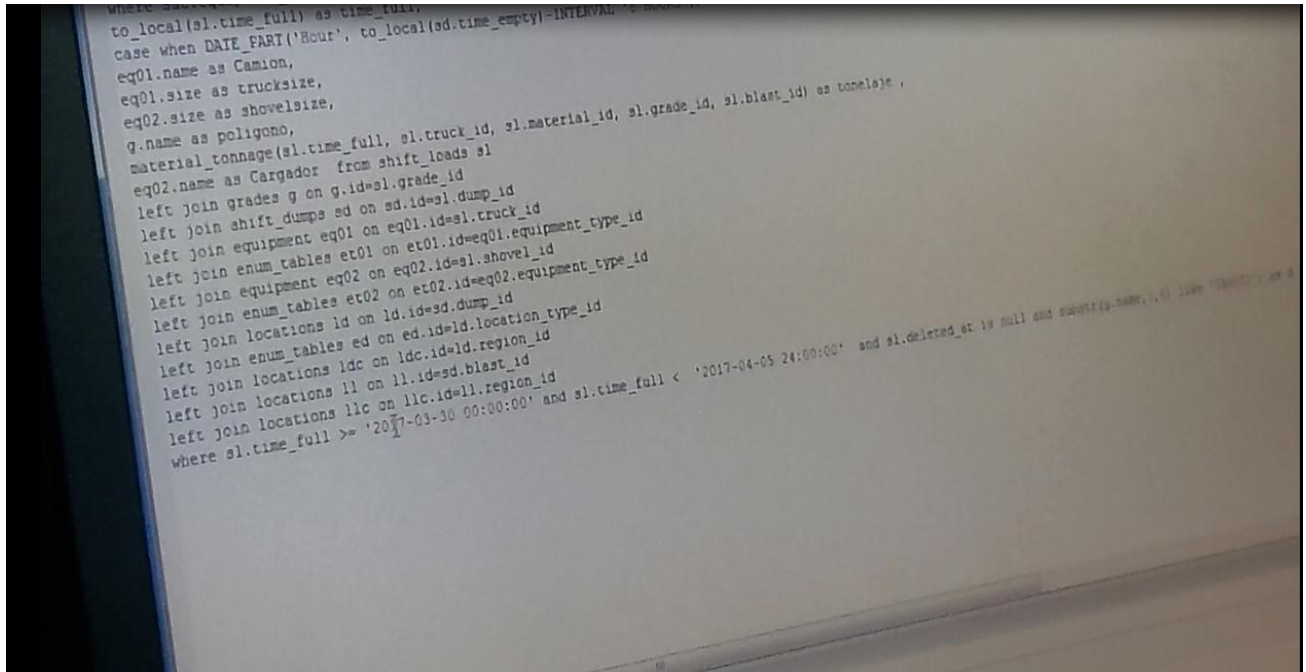
Anexo 7 Dificultad para la instalación de las cámaras de aire en taladros con agua. TO 3888.



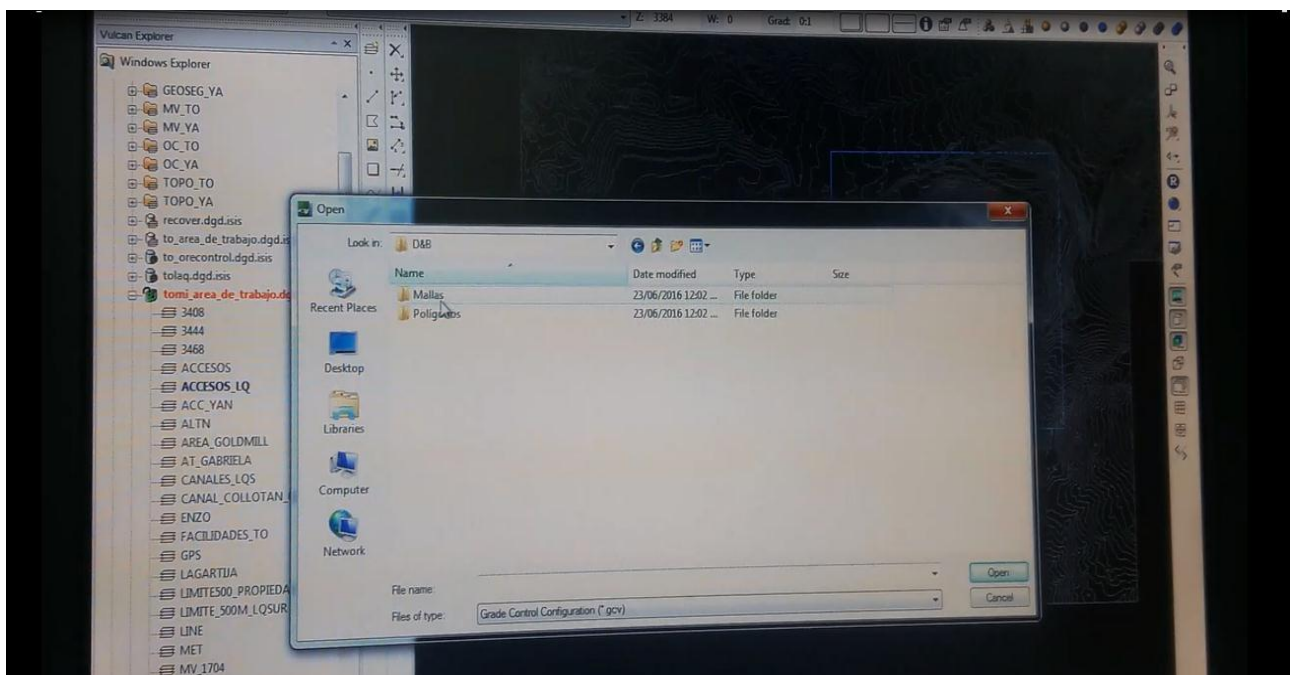
Anexo 8 En pruebas con la utilización de cámaras de aire. Jefe de Perforación y Voladura –  
Yanacocha y Asistencia Técnica Exsa.



### Anexo 9 Gestor de base de datos – Postgre SQL.



### Anexo 10 Filtrado de mallas y polígonos con Vulcan.



Anexo 11 Matriz de consistencia

| TITULO                                                                                                                                                                                                                        | FORMULACION<br>DEL PROBLEMA                                                                                                                                                              | OBJETIVOS                                                                                                            | HIPÓTESIS                                                                                                 | VARIABLES                                  | DIMENSIONES                 | INDICADORES                 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                               | Problema General                                                                                                                                                                         | Objetivo General                                                                                                     | Hipótesis General                                                                                         | Variables<br>Independientes                | Variables<br>Independientes | Variables<br>Independientes |
| <b>“EFECTO DE LA<br/>CÁMARA DE AIRE EN<br/>LA VOLADURA A<br/>TAJO ABIERTO PARA<br/>INCREMENTAR LA<br/>TASA DE<br/>EXCAVACION (DIG<br/>RATE) EN EL TAJO<br/>TAPADO OESTE DE<br/>MINERA<br/>YANACocha,<br/>CAJAMARCA 2017.”</b> | PG: ¿Cuál es el efecto de la cámara de aire en la voladura a tajo abierto para incrementar la tasa de excavación (Dig Rate) en el tajo tapado oeste de Minera Yanacocha, Cajamarca 2017? | OJ: Utilizar dispositivos que generen cámaras de aire y evaluar sus efectos en el dig rate en Minera Yanacocha 2017. | HG: Usando los dispositivos que generan cámaras de aire se mejorará el dig rate en Minera Yanacocha 2017. | X1: Uso de Cámaras de aire en la Voladura. | Voladura convencional       | Sin cámaras de aire         |
|                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                      |                                                                                                           |                                            | Dispositivo Cartuflex       | Con cámaras de aire         |
|                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                      |                                                                                                           |                                            | Dispositivo Aquadeck        | Con cámaras de aire         |

| Problemas específicos                                                 | Objetivos Específicos                                                                                   | Hipótesis Especificas                                                                                                                             | Dependiente Y | Dimensiones          | Indicadores |
|-----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|----------------------|-------------|
| PE 1 ¿Cuál es el resultado del dig rate en una voladura convencional? | · Realizar pruebas en la voladura con el dispositivo Cartuflex para evaluar los efectos en el dig rate. | H1: Con el uso de Aquadeck en la voladura se mejorarán los resultados en el dig rate en un 50%, con el Cartuflex en 30% en Minera Yanacocha 2017. | Y1: Dig Rate  | Tonelaje de material | Tn          |
| ¿Cuál es el resultado del dig rate usando la cámara Cartuflex?        | Realizar pruebas en la voladura con el dispositivo Aquadeck para evaluar los efectos en el dig rate.    |                                                                                                                                                   |               | Tiempo de carguío    | t/h         |
| ¿Cuál es el resultado del dig rate usando la cámara Aquadeck          | Recolectar y analizar información de voladuras convencionales y su efecto en el dig rate.               |                                                                                                                                                   |               | Costos               | US\$        |
|                                                                       | Comparar costo/taladro y el ahorro anual con la utilización de cámaras de aire.                         |                                                                                                                                                   |               |                      |             |

