

## FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA DE MINAS**

“CÁLCULO DEL DIMENSIONAMIENTO DE LA FLOTA  
Y COSTOS UNITARIOS DE CARGUÍO Y ACARREO  
PARA INICIO DE OPERACIONES EN LA MINA CERRO  
AURA DE AREQUIPA”

Tesis para optar el título profesional de:

**INGENIERO DE MINAS**

**Autores:**

Jose Martin Arambulo Piedra  
Matt Antony Daniel Rojas Roncal

**Asesor:**

Mg. Ing. Danyer Stewart Girón Palomino  
<https://orcid.org/0000-0001-9322-7236>

Cajamarca - Perú

### JURADO EVALUADOR

Jurado 1	<b>Víctor Eduardo Alvarez León</b>	<b>18034429</b>
Presidente(a)	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 2	<b>Gladys Sandi Licapa Redolfo</b>	<b>41379556</b>
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	<b>Oscar Vásquez Mendoza</b>	<b>46795074</b>
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

## INFORME DE SIMILITUD

### CÁLCULO DEL DIMENSIONAMIENTO DE LA FLOTA Y COSTOS

#### INFORME DE ORIGINALIDAD

**6%**

INDICE DE SIMILITUD

**9%**

FUENTES DE INTERNET

**0%**

PUBLICACIONES

**5%**

TRABAJOS DEL  
ESTUDIANTE

#### ENCONTRAR COINCIDENCIAS CON TODAS LAS FUENTES (SOLO SE IMPRIMIRÁ LA FUENTE SELECCIONADA)

7%

★ [www.dspace.unitru.edu.pe](http://www.dspace.unitru.edu.pe)

Fuente de Internet

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias < 2%

Excluir bibliografía

Apagado

## **DEDICATORIA**

A Dios por acompañó durante todo el proceso, para lograr cada objetivo, a mi madre María Concepción Roncal Ulloa por haberme ayudado en este logro, tus bendiciones en mi vida lo que me lleva por el camino del bien, gracias por siempre estar al lado mío y a mi padre Edgardo Rojas Pérez por apoyarme incondicionalmente durante todo el proceso de culminar con mi carrera.

Matt Antony Daniel Rojas Roncal

A mi madre Mabel Piedra Cabellos que sin su lucha constante y sus ganas por sacarme adelante siempre fue su principal objetivo y todo lo que soy es gracias a ella, a mi abuela María Cabellos Malaver por su apoyo incondicional, su crianza y sus consejos logre seguir adelante. Sin ellas, jamás hubiese podido conseguir lo que hasta ahora he logrado.

José Martin Arámbula Piedra

## **AGRADECIMIENTO**

En agradecimiento a Dios por brindarnos vida y salud, así mismo por habernos permitido cumplir una meta más satisfactoriamente la cual es nuestra carrera profesional, por guiarnos e iluminar nuestro camino a lo largo de nuestras vidas.

A nuestros familiares, padres y hermanos, amigos quienes estuvieron apoyándonos incondicionalmente, por ser nuestros guías y consejeros y apoyarnos en cada decisión que hemos tomado para poder cumplir nuestras metas.

También queremos expresar nuestro agradecimiento, a nuestra alma mater, “Universidad Privada del Norte”, a nuestros Docentes por sus enseñanzas y conocimientos que nos han brindado durante nuestra formación académica.

Finalmente agradecer a la empresa minera Cerro Aura por la información y el apoyo que nos brindaron para poder desarrollar nuestra tesis.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>JURADO EVALUADOR.....</b>	<b>2</b>
<b>INFORME DE SIMILITUD .....</b>	<b>3</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>4</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>5</b>
<b>TABLA DE CONTENIDO .....</b>	<b>6</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>7</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>8</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>9</b>
<b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>10</b>
Realidad problemática .....	10
Formulación del problema .....	20
Objetivos.....	20
Hipótesis.....	20
<b>CAPÍTULO II: METODOLOGÍA.....</b>	<b>21</b>
<b>CAPÍTULO III: RESULTADOS.....</b>	<b>28</b>
<b>CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES .....</b>	<b>41</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>45</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>48</b>

## Índice de tablas

<b>Tabla 1:</b> Instrumento 03 - recolección de datos en campo .....	26
<b>Tabla 2:</b> Parámetros generales del proceso de perforación .....	28
<b>Tabla 3:</b> Parámetros del modelo de Pearse.....	29
<b>Tabla 4:</b> Parámetros del diseño de malla - M . Pearse .....	30
<b>Tabla 5:</b> Leyes de cabeza de minerales en el proyecto Cerro Aura .....	32
<b>Tabla 6:</b> Datos generales de los equipos seleccionados para el carguío y acarreo.....	32
<b>Tabla 7:</b> Tiempos estimados en maniobras durante ciclo de carguío.....	33
<b>Tabla 8:</b> Dimensionamiento de camiones .....	34
<b>Tabla 9:</b> Datos de costos unitarios de las Palas .....	35
<b>Tabla 10:</b> Costos Unitarios de la Pala .....	35
<b>Tabla 11:</b> Datos de costos unitarios de los camiones .....	37
<b>Tabla 12:</b> Costos Unitarios de la Camiones .....	38
<b>Tabla 13:</b> Costos unitarios de equipos auxiliares .....	39

## Índice de figuras

<b>Figura 1:</b> Formato N° 01 - Datos campo .....	23
<b>Figura 2:</b> Instrumento 02 - Factores de corrección para estimar resistencia de fracturas ...	24
<b>Figura 3:</b> Rutas de carguío y acarreo del mineral .....	25



## RESUMEN

El principal propósito de la investigación fue hacer un estudio del cálculo de maquinaria, costos unitarios de carguío y acarreo para iniciar las operaciones, lo cual es importante tanto para la planificación de la mina durante la vida del proyecto como para el costo del proyecto en cuestión. En este estudio de investigación utilizamos como técnicas: la observación directa, en el que efectuamos el reconocimiento del camino que va desde el Tajo al Pad de lixiviación con una distancia de 4 km. Se concluye que, los parámetros mas importantes el volumen volado por taladro estimado de 145.336 m<sup>3</sup>, el rendimiento del acarreo 5.44 m<sup>3</sup>/m, concentración de carga del fondo del exposivo 16.22 kg/m, longitud de la carga de fondo 0.9 m, la concentración de la carga columna 10.13 kg/m, la longitud de la carga columna 6.0 m, tonelaje volado por taladro 388.13 TM/taladro, taladros por disparo 58 y el volumen total por día 22390 m<sup>3</sup> haciendo uso del modelo propuesto por Pearse. Para el dimensionamiento de equipos se realizó en base al VOE (vida útil de mina) de 40 años, para lo cual se requieren 36 544 camiones, en el VOE se tiene 14273 días, esto indica que diariamente se utilizará utilizar siete camiones CAT 777D de capacidad de 96.74 metros cúbicos. Con un costo unitario de \$\$ 303,922.60, se tendría un costo final de U\$\$ 13.57/TM solo para la pala y el camión se tendría un costo unitario de U\$\$ 310,616.14.

**PALABRAS CLAVES:** Dimensionamiento, flota, carguío, camión, pala, toneladas.

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

### Realidad problemática

Arroyo (2018) menciona que los costos de carga, transporte y el procesamiento son componentes importantes de los costos de producción de minerales, por lo que es importante coordinar estas actividades para reducir los costos. También cree que la minería a cielo abierto es una actividad con altos costos de inversión, exacerbados por el comportamiento aleatorio del sistema y la complejidad al tomar de decisiones.

La investigación muestra el enfoque de estudio en un proyecto minero cuyo método es la explotación a tajo abierto, su desarrollo tuvo lugar en Arequipa, con la finalidad de producir concentrados de cobre, con valores Au-Ag, por el cual se moverá un tonelaje aproximado de 9.000.000 toneladas de mineral al año con ley estimada del 1.0% de Cu y 40 años de vida útil. El objetivo general de la investigación es el cálculo del dimensionamiento de flota y el carguío en cuanto a costos unitarios y el acarreo para el inicio de operaciones mineras, que es de fundamental importancia para la planificación minera y sus costos del proyecto durante su ciclo de vida, los cuáles cumplen un rol importante en cuanto concierne reducir dicho monto.

Es indispensable, tener en cuenta la variable de mantener las máquinas diseñadas para la productividad minera el mayor tiempo posible trabajando, eludiendo a grandes rangos la inoperatividad o "tiempos muertos" por largos periodos de tiempo. Esta metodología de trabajo se fundamenta en cálculos con base en el uso de ecuaciones, variables y fórmulas, así como encontrar una cantidad suficiente de camiones asociados con cada pala para la operación minera, en función del tiempo del ciclo de transporte.

**Para esta investigación se presentan los siguientes antecedentes a nivel Internacional:**

Arroyo (2018) en su estudio de investigación realizado en Brasil titulado: "Dimensionamiento de flota en las operaciones de carguío y transporte usando modelos de simulación de sistemas", tuvo como eje principal de su investigación, abordar los aspectos que se deben tener en cuenta al medir equipos para carga transporte de materiales (mineral y desecho) de minas a tajo abierto ubicadas en el centro-oeste de Brasil. En su estudio señala que el cálculo empírico se puede utilizar para el desarrollo de modelos que describan con mayor precisión los patrones de fabricación reales, con el objetivo de predecir el rendimiento del equipo y análisis de los resultados. El modelo permite la observación sistemática, integrada e integrada del proceso, lo que facilita la comprensión y estimación del comportamiento de las funciones antedicho en diferentes escenarios.

Rodríguez (2013), en su tesis: “Modelo analítico para el dimensionamiento de flota de transporte en minería a cielo abierto: análisis de prioridades de atención según rendimiento”, el objetivo principal de esta investigación es investigar la rentabilidad que se puedan llegar a obtener al utilizar la priorización de la atención durante el carguío de camiones en minería a tajo abierto. El documento finaliza mencionando que el modelo analítico desarrollado en este estudio puede estimar la dimensión de flota precisada para satisfacer una demanda determinada midiendo el tiempo perdido debido a las colas con un costo mínimo. El rendimiento calculado por el modelo analítico se considera como el rendimiento efectivo, ya que tanto la estocasticidad relacionada con la valoración de arribo de camiones como la estocasticidad del proceso de carga (obstrucción en el punto de carga) se incluyen en el modelo.

Por otro lado, González (2018) en su trabajo de investigación: “Modelo evaluativo para el cálculo de flota de equipos de carguío y transporte en Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi”, en su investigación tuvo como fin ofrecer una guía para calcular la flota de la producción de carga y transporte (cargadores frontales, camiones y palas respectivamente), para garantizar el cumplimiento del Plan de Producción Mensual generado por la Superintendencia de Planificación a corto plazo en la Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi.

Se concluyó que una de las importantes ventajas del modelo de cálculo de maquinaria de transporte es precisar el número de camiones necesarios para lograr un de tonelaje rentable para el modelo, lo que sería un buen compromiso con la planificación.

#### **A nivel Nacional se tienen los siguientes antecedentes:**

Feliciano (2018), en su trabajo de investigación “Dimensionamiento de flota de camiones para el aumento de producción a 1 090 000 BCM en la mina Colquijirca – Tajo Norte para el año 2016”, esta investigación se centra en calcular la cantidad óptima de volquetes y camiones que permitirán el transporte de la productividad de desmonte y mineral en nuestro minado a tajo abierto, por lo que, se está elaborando un plan minero cada año como una estrategia operativa, debido a la producción en mina antes mencionada es bastante dinámico. Cuando se encuentra el frente de trabajo, comenzamos a calcular la distancia al destino respectivo, es decir. vertedero o lugar de transferencia, que será de acuerdo al material, desecho o mineral, correspondientemente; posterior al tiempo del ciclo de carga y transporte, de manera que se pueda calcular la cantidad de camiones y vehículos de volteo y luego se

pueda calcular el costo unitario en base a sobre la tarifa horaria de la maquinaria de carga y descarga. Se concluyó que los tiempos del periodo promedio para sitio de transferencia y desmonte fueron de 26,9 minutos y 27,3 minutos, respectivamente. El tiempo promedio de descarga de un camión minero fue de 22,1 minutos, ya que era el único destino. Los costos unitarios se calcularon de la siguiente manera: \$2.4/BCM para remoción de desechos y \$2.7/BCM para mineral, \$2.3/BCM para camiones.

Según Araujo (2018), en su tesis denominada “Optimización de la flota de volquetes en el acarreo, para incrementar la producción en la mina Los Andes Perú Gold – Huamachuco”, indagó sobre simulaciones pasadas a fin de comparar en operaciones reales para evaluar alternativas viables y busque optimizar procesos y, por lo tanto, reducir costos. Para ello, lo datos que se obtuvieron de los sondeos en campo de tiempos y demoras operativas en el transporte y retiro de minerales y escombros. La información en el sitio se utiliza para determinar el transporte total del mineral y los tiempos de carga y refinación y, a través de análisis y ajustes, se pueden definir varios modelos y cálculos para el tamaño de la flota de camiones. Con base en los resultados adquiridos, es posible delimitar un modelo apropiado para la situación real de la mina, como resultado de lo cual los costos se reducirán significativamente a 0.57 \$/TM.

Bazán (2016), en su tesis “Calculo del número de unidades de la flota de camiones en el tajo abierto San Genaro, perteneciente a la Compañía Minera Atacocha” expone que: En la minería a cielo abierto, la carga y el transporte de materiales representan del 50 % al 60 % de

los costos operativos de todo el proceso minero. Por lo tanto, se consideran los más altos en la industria minera en general, ya que se relacionan con las horas de máquina, el combustible y los operadores de camiones y excavadoras. Por consiguiente, los precios de los minerales tuvieron una recesión, por ello es indispensable optimizar dichos costos.

Por lo tanto, se cumplirá con un cronograma de producción adecuado a la escala de nuestras instalaciones y se reducirán los costos de operación. En consecuencia, se logrará un mayor beneficio económico.

Neyra (2020), en su tesis: “Estudio del cálculo de flota de camiones para una operación minera a cielo abierto”, el cual tiene como finalidad estudiar el incremento de la productividad de sistemas de carga y acarreo en los tajos abiertos de San Gerardo de la Cía. Minera Atacocha S.A.A Reduciendo el tiempo de inactividad de excavadoras y camiones durante la carga y el transporte. Se concluyó que el tajo San Gerardo para el transporte de mineral y desmante se requeriría una flota de 12 camiones. La utilización de la excavadora debe optimizarse y agregar camiones a la operación sin acercarse al factor de coincidencia solo reducirá la productividad y, por lo tanto, aumentará los costos. Los cálculos adecuados de la flota de camiones permiten que la relación dólar/tonelada de los costos de minería se mantenga en condiciones óptimas. Un excedente o escasez de camiones afecta directamente el costo unitario de una operación minera.

Vidal (2010), en su tesis “Estudio de cálculo de flota de camiones para una operación minera a cielo abierto”, de tipo experimental, se refiere al número óptimo que se requiere en una operación minera a cielo abierto de cobre, de camiones para el transporte de mineral y

desmante. Por ello, establecieron y describieron las operaciones mineras en la zona sur del país y se realizó la planificación minera y de desarrollo del proyecto durante los 17 años. Con dicha información, se puede realizar un estudio dentro de los parámetros mineros existentes con el fin de asegurar que sea rentable, concluyendo que una estimación adecuada de la mina en cuanto a la flota de camiones ayuda a mantener en óptimas condiciones esta misma en \$/t con relación a los costos de extracción. Si hay demasiados o no hay suficientes camiones, hay costos unitarios directos. Las encuestas son importantes para poder indicar los costos unitarios.

Zamora (2020), en su tesis “Propuesta de diseño de mallas de perforación y voladura empleando modificación al modelo matemático de Pearse con la finalidad de optimizar la fragmentación de rocas en la mina Tacaza de Consorcio de Ingenieros Ejecutores Mineros S.A.”, sostiene que en la realidad geológica del tajo Tacaza para diseñar una voladura y plancha de perforación para mejorar la fragmentación de roca en el área de mina planificada ( $P_{80} \leq 8.0$  pulgadas). Se concluyó que el diseño de la cuadrícula de perforación y voladura se implementó modificando la formulación del RQD de Deere por el RMR de Bieniawski utilizando el modelo matemático de Pearse, para el cálculo del burden, el espaciado, la ubicación de la perforación, la longitud de taco, el sobredimensionamiento y el tiempo de retardo. Fragmentación de roca mejorada y costos de extracción reducidos.

**A nivel local se tienen los siguientes antecedentes:**

Según Jacobo (2018) en su trabajo de investigación “Dimensionamiento de flota de acarreo considerando variables operativas de minado para incrementar la producción, minera la Zanja

- Cajamarca” El principal objetivo del estudio es aumentar la producción mediante el cálculo optimizado del tamaño de la flota de camiones de la Mina La Zanja Pampa Verde y San Pedro. Debido a que el tamaño del equipo de remolque que no es de ingeniería se basa en el tiempo del ciclo y/o la producción histórica, los camiones volquete de tamaño demasiado grande o demasiado pequeño pueden resultar en la pérdida del equipo. Esto conduce al incumplimiento de los cronogramas de extracción diarios, semanales y mensuales. Incumplimiento de los titulares de derechos mineros y supresión de los recursos durante el proceso Stracon. Es por eso, que se decidió conceptuar las limitaciones dinámicas de la minería para optimizar las dimensiones de equipos de transporte y cumplir con el cronograma estimado para la de producción. Así se confirma el valor de considerar las variables operativas de la minería, buscando formas de aumento de producción y prevenir pérdidas de gran escala durante el proceso.

Según Malimba (2019), en su tesis: “Cálculo de la flota de carguío y transporte para optimizar la producción diaria en el Tajo Ciénaga Norte – Coimolache”, tuvo como objetivo determinar la optimización del parque de equipos para la producción diaria; para ello se realizó un estudio de tiempo de ciclo de carga y transporte. Se concluyó que el camión es extraviado por una flota de equipos compuesta por excavadoras CAT 336D L y volquetes Volvo con capacidad de 15 m. en noviembre, mientras que en octubre son 3 excavadoras y 13 volquetes, ahorrando 0,64 \$/t, mientras que la estructura de carga óptima tiene 2 excavadoras y 22 volquetes, un posible ahorro de 0,84 \$/t.



Para llevar a cabo este estudio se utilizará el modelo matemático propuesto por Pearse para calcular los parámetros de explosión y el material total volado, con la representación de la presión de detonación y la resistencia al esfuerzo dinámico de la roca. En estudios posteriores (Bórquez, 1981) se encontró que el coeficiente de inestabilidad de las rocas depende de la estructura geológica, cúmulos, etc. Está algo cuantificado. El modelo matemático se formula utilizando las siguientes expresiones matemáticas:

$$R = B = Kv \times D \times \sqrt{\frac{PD}{RT}}$$

***Ecuación 1:*** Fórmula del Modelo matemático de Pearse

En la cual intervienen los valores el calibre del taladro (D), la presión de detonación de la carga explosiva (PD), la firmeza a la tracción de la roca (RT) y el factor de volabilidad (Kv) para el cálculo del burden (Choque, 2019)

El transporte es una actividad que, a pesar de su aparente facilidad, supone la mayor parte del coste final por tonelada transportada; por una sencilla razón: se necesitan más unidades de transporte para llevar todas las cargas que pueden mover los montacargas; en otras palabras, aunque los volquetes se han hecho grandes, son y serán pequeños en comparación con la tecnología de carga porque nunca será rentable construir un cargador que simplemente llene un camión volquete con cucharón. En esta etapa, la distancia de transporte de material y diferencia de altura que deben superar los equipos en cuanto a los componentes del de transporte son particularmente importantes. La descarga la realiza el propio camión volquete,

que en la mayoría de los casos levanta las cajas, dependiendo del material a transportar, se hará en vertedero, si es estéril, o si es materia prima que necesita ser transformada.

El carguío según Checya (2015), fundamenta que cargar los residuos del tajo para transportarlos a los posibles destinos. Las operaciones de carga significan desarrollar varias funciones para garantizar el correcto y eficiente funcionamiento del proceso. En esta etapa del desarrollo de la mina, la sección de carga, la dirección de la carga (hacia la superficie de carga, la ubicación del equipo de carga y el nivel del suelo) y el destino del material se determinan en función de la clasificación y el tonelaje estándar. (Manzaneda, 2015).

El transporte según Rondán (2014), Esto implica el movimiento de material mineralizado y/o estéril desde los depósitos a destinos posibles, en trituración, acopio de mineral o botaderos. El proceso de transporte en cuanto a las funciones involucradas es: En esta etapa se determina la ruta de transporte y el destino del material está bien planificada de acuerdo con el método predeterminado de clasificación y tonelaje.

Saavedra (2014), Refiere con respecto al transporte, que la planificación de rutas, donde lo más importantes criterios son la distancia de parada, la distancia y las señales de velocidad, cuando existen intersecciones, curvas y puntos de descarga cobran aún más relevancia. En cuanto a la construcción de vías, se componen de material base y pavimento de

suficiente calidad y espesor (dependiendo en parte del proyecto). Use caminos duros y lisos con buena tracción para aumentar la seguridad y la productividad.

El proyecto minero dispone de camiones HITACHI EX 3500 y palas CAT 777D, la distancia del recorrido desde el río Tajo hasta la zona de lixiviación es de 4 km. La cantidad total de material transportado por día se calculará según la fórmula del modelo matemático propuesto por Pierce, teniendo en cuenta el valor del volumen total y los datos técnicos del equipo. Dimensionar con precisión la flota para llevar correctamente el proceso de transporte y carga para superar el 90% de eficiencia dará como resultado una mayor productividad y, por lo tanto, mayores márgenes de beneficio para las empresas mineras.

## **Formulación del problema**

¿Cuál es el cálculo del dimensionamiento de la flota y costos unitarios de carguío y acarreo para inicio de operaciones en una mina a tajo abierto en Arequipa?

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Realizar el cálculo del dimensionamiento de la flota y costos unitarios de carguío y acarreo para inicio de operaciones en la mina Cerro Aura de Arequipa.

### **Objetivos Específicos**

- Calcular el total del volumen volado por día aplicando el modelo matemático propuesto por Pearse.
- Realizar el dimensionamiento de la flota para el proceso de carguío y acarreo desde el Tajo al Pad de lixiviación con camiones HITACHI EX 3500 y palas CAT 777D.
- Evaluar los costos unitarios de la pala, camión y equipos auxiliares que intervienen durante el ciclo de carguío y acarreo.

## **Hipótesis**

Con el cálculo del volumen total del material volado por día aplicando el modelo matemático de Pearse y fórmulas de costos, se logrará estimar el dimensionamiento de la flota y costos unitarios de carguío y acarreo para iniciar las operaciones en la mina Cerro Aura de Arequipa.

## CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

### Marco Teórico

El enfoque del presente trabajo de investigación es de carácter cuantitativo, por el conjunto de recolección y análisis de datos a través de fórmulas matemáticas para dimensionar la flota de carguío y acarreo, es retrospectivo dado que el cálculo se ha realizado antes de iniciarse completamente la ejecución del proyecto, es de tipo transversal dado que cuenta con un tiempo determinado de observación. La presente investigación de tipo Aplicada-No Experimental con diseño descriptivo, por el cálculo del volumen total por día del material y posterior dimensionamiento de flota han sido realizados con datos específicos según características geológicas del proyecto a modo de propuesta y no han sido ejecutados, por ello no se ha realizado ningún tipo de manipulación en las variables estudiadas.

Según Lozada (2014), la investigación Aplicada busca la creación de conocimiento que busca la aplicación directa a problemas sociales o del sector productivo. Es esencialmente un descubrimiento tecnológico basado en la investigación fundamental que involucra el proceso de combinar teoría y producto. Hernández, Fernández & Baptista. (2012) Indica que los estudios no experimentales se realizaron sin manipulación deliberada de variables. Es decir, este es un estudio en el que intencionalmente no cambiamos la variable independiente. Según Tamayo (2006), Un tipo de investigación descriptiva que incluye descripciones y explicaciones de la composición o proceso de propiedades y fenómenos actuales; se presta atención a las principales conclusiones o cómo funcionan los individuos, los grupos, las cosas en el presente; este tipo de investigación se basa en la realidad real y su característica básica es darnos la explicación correcta.

Para ver los resultados del análisis de los datos de campo se asumió como población a todas las rutas de la etapa de carguío y acarreo del proyecto Cerro Aura, asumiendo como muestra la ruta desde el Tajo al Pad de lixiviación de la etapa carguío y acarreo, para determinar todo del dimensionamiento de los quipos necesarios para comenzar con el proceso.

Por otro lado se utilizaron en el trabajo de investigación como técnicas: la observación directa en dónde se hizo el reconocimiento del camino que es desde el Tajo al Pad de lixiviación con una distancia de 4 km, evidenciando el buen estado de la misma, ya que este es un factor que también influye en los tiempos de ciclo afectando directamente lo que es el proceso de carguío y acarreo; el análisis documental que nos permitió investigar circunstancias previas de trabajos de investigación sobre cálculos del volumen del material por día haciendo uso de modelos matemáticos, específicamente el propuesto por Pearse ya que es el más adecuado para minería superficial, así mismo se buscaron referentes de proyectos mineros en los cuales se realizaron los cálculos para el dimensionamiento de equipos requerida para el proceso de carguío y acarreo, en esta etapa utilizaron en internet buscadores y bibliotecas virtuales; y recolección de datos consistiendo en tomar datos en campo referente a los periodos de tiempo de ciclo de los camiones HITACHI EX 3500 con y sin carga, esto para hacer un cálculo general del total de ciclos que pueden realizar en un día, tiempos de carga, tiempos de descarga, etc. Esta información se utilizó para hacer el dimensionamiento de la flota en conjunto con los datos de las especificaciones técnicas de los equipos en base a su capacidad.

## Procedimiento de análisis de Datos

**Figura 1**

*Formato N° 01 - Datos campo*

FLOTA	CAPACIDAD	UNIDAD
HITACHI EX 3500		m <sup>3</sup>
CATT 777D		m <sup>3</sup>
DATOS FLOTA	VELOCIDAD	UNIDAD
CAMNION CARGADO		Km/h
CAMION DESCARGADO		Km/h
RUTA	DISTANCIA	UNIDAD
TAJO-PAD		km

Fuente: Mina en estudio.

El procedimiento sobre la de recolección de los datos se realizó en tres etapas. La primera etapa fue Gabinete lo cual se recogió la información geomecánica del macizo rocoso, la geología regional, geología local, estimación de producción diaria estimada, altura del talud según diseño y las características del explosivo a utilizar; esta información será necesaria para aplicar el modelo matemático de Pearse, para lo cual se utilizó como instrumento la fórmula propuesta por este autor.

### Ecuación 2

Instrumento 01 - Fórmula de Pearse

$$B = K_v \times (D_e \div 1000) \times (P_D \div R_T)^{0.5}$$

Donde:

B = Burden (metros)

$K_v$  = Constante que depende de las características de las rocas (0.7 a 1.0)

$D_e$  = Diámetro de la carga explosiva (mm)  $P_D$  = Presión de detonación del explosivo (kg/cm<sup>2</sup>)

$R_T$  = Resistencia a la Tracción (kg/cm<sup>2</sup>)

La constante  $K_v$ , se puede determinar a partir del Índice de calidad de la roca (RQD)

## Figura 2

*Instrumento 02 - Factores de corrección para estimar resistencia de fracturas*

densidad del desmonte	TIPO DE ROCA		
	SUAVE	MEDIA	DURA
dr1 (Gr/cm <sup>3</sup> )	1.8	2.00	2.4

Estimación de la Cantidad	Factor de Corrección (JSF) a él (RQD)	
Fuerte	0.070	<b>Dura</b>
Medio	0.069	<b>Media</b>
Débil	0.068	<b>Suave</b>
Muy Débil	0.067	<b>Suave</b>

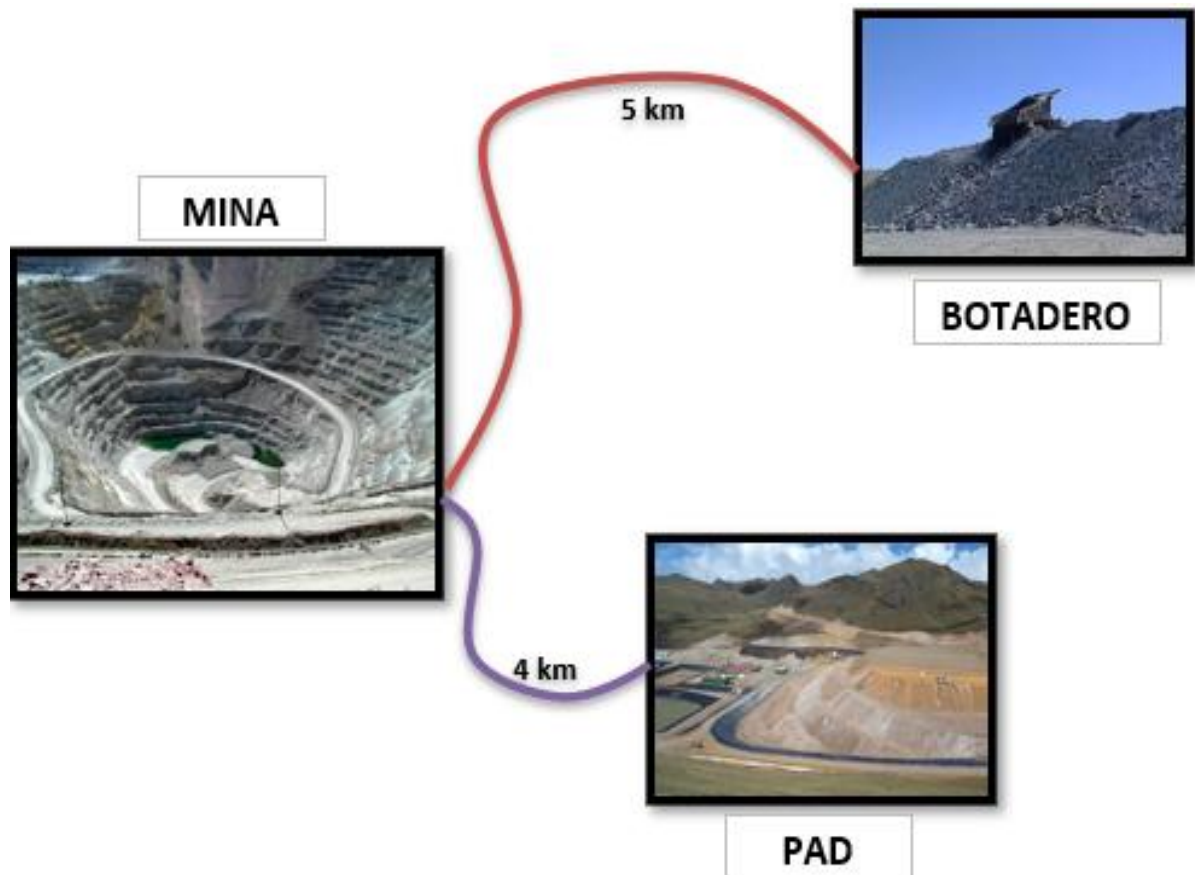
Fuente: Manual práctico de voladura EXSA, 2018



La segunda etapa consistió en recolectar información de campo, sobre medidas de perforación: velocidad de perforación, diámetro del taladro, presión del aire, eficiencia de la operación, distancia entre las rutas de carguío (Anexo 02), tiempos de ciclo (incluyendo maniobras del operador de volquetes y/o camiones). Se debe medir la velocidad promedio de los camiones durante el ciclo cargados y vacíos; se debe tener en cuenta el porcentaje sobre la eficiencia de equipos a utilizar.

**Figura 3**

*Rutas del carguío y acarreo de mineral*



*Fuente: Mina en estudio.*

**Tabla 1***Instrumento 03 - recolección de datos en campo*

---

<b>Parámetros del proceso de Perforación</b>	
<b>Parámetros</b>	<b>Datos de campo</b>
Diámetro de Perforación	
Velocidad de perforación (m/hr)	
caudal de compresor (m <sup>3</sup> /min)	
Presión de aire (Kpa)	
Eficiencia de Operación (%)	
Jornada de trabajo / turno (Hr/turno)	

---

Fuente: Mina en estudio.

La tercera etapa fue gabinete, en la cual se realizaron los cálculos del total del volumen volado por día aplicando el modelo matemático propuesto por Pearse; el dimensionamiento de la flota del proceso de acarreo y carguío de lixiviación del Tajo al Pad con camiones HITACHI EX 3500 y palas CAT 777D; y los costos unitarios de la pala, camión y equipos auxiliares a utilizar durante el proceso del ciclo de acarreo y carguío.

En este trabajo de investigación, se realiza de acuerdo al formato de la Universidad Privada del Norte, por lo que en primer lugar, seguir las reglas institucionales de investigación, como ocupación; tercero, proporcionar información científica Proporcionar información abierta y completa en beneficio de la sociedad, cuyos resultados se presentarán y compartirán para nuevas y

futuras investigaciones; cuarto, presentar de manera comprensible el contenido de todos los trabajos de investigación, enfatizando los métodos, el análisis y la interpretación de los resultados. Finalmente, cite correctamente según las normas APA.

### CAPÍTULO III: RESULTADOS

Cálculo del volumen volado por día aplicando el modelo matemático propuesto por Pearse

Se muestra los datos de cálculos realizados para evaluar el volumen volado por el día haciendo uso del modelo propuesto por Pearse, información que servirá para el dimensionamiento de flota.

**Tabla 2**

*Parámetros generales del proceso de perforación*

Parámetros	Datos de campo
Diámetro de Perforación (5 1/8 a 7 7/8 (pulg), 130 a 200 (mm)) en 7 pulg a m = 0.127	0.127pulg
Velocidad de perforación (m/hr)	25.000m/hr
caudal de compresor (m <sup>3</sup> /min)	21.200 m <sup>3</sup> /min
Presión de aire (Kpa)	1034.300Kpa
Eficiencia de Operación (%)	80.000%
Jornada de trabajo / turno (Hr/turno)	10.000Hr/turno

Fuente: Área de perforación de la mina en estudio.

**Tabla 3**

*Parámetros del modelo de Pearse*

<b>Datos</b>	
<b>Altura de banco (H)</b>	
$H(m) = D(mm)/15$	<b>8m</b>
<b>BURDEN (B)</b>	
$B (m) = K_v * D * (\sqrt{PD/RT})$	<b>3m</b>
$K_v =$ Cte esto depende de tipos de las rocas (0.7 - 1.0)	
$K_v = 1.96 - 0.27 \ln (ERQD)$	<b>0.805</b>
$ERQD = RQD * JSF$	<b>72</b>
$PD =$ Presión de detonación del explosivo ( $Kg/cm^2$ )	<b>70360.68kg/cm<sup>2</sup></b>
<b>Presión de detonación de la carga de columna (SOLANFO)</b>	
$PD (Kg/cm^2)$	<b>45887.40Kg/cm<sup>2</sup></b>
<b>Presión de detonación de la carga de fondo Anfo Pesado (SLURREX AP 60)</b>	
$PD (Kg/cm^2)$	<b>94833.96Kg/cm<sup>2</sup></b>

Fuente: Área de perforación de la mina en estudio.

**Tabla 4**

*Parámetros del diseño de malla - M Pearse*

<b>Datos</b>	
<b>SOBRE PERFORACIÓN (Sp) o (J)</b>	
$J (m) = 0.3*B$	<b>1m</b>
<b>RETACADO (T)</b>	
$T (m) = 0.7*B$	<b>2m</b>
<b>LONGITUD DE BARRENO (L)</b>	
$L (m) = H + J$	<b>9m</b>
<b>ESPACIAMIENTO (S)</b>	
<p>Cuando <b>L/B</b> es <b>menor a 4</b> el espaciamiento puede determinarse por la fórmula:</p>	
$L/B$	<b>3</b>
$S (m) = \sqrt{BL}$	<b>5m</b>
<b>VOLUMEN ARRANCADO POR TALADRO (VR)</b>	
$VR (M^3) = B*S*H$	<b>145.36m<sup>3</sup></b>
<b>RENDIMIENTO DE ACARREO (RA)</b>	
$RA (m^3/m) = VR/L$	<b>15.44m<sup>3</sup>/m</b>
<b>LONGITUD DE LA CARGA DE FONDO (Lf)</b>	
$Lf (m) = 0.3*B$	<b>0.90m</b>
<b>CONCENTRACIÓN DE LA CARGA DE FONDO (qf)</b>	

$$q_f \text{ (Kg/m)} = ((\pi * D^2) / 4) * \rho \quad \mathbf{16.22 \text{ kg/m}}$$

$$\rho = \text{densidad del explosivo más potente} \quad \mathbf{1280 \text{ kg/m}^3}$$

$$\text{(kg/m}^3\text{)}$$

$$D^2 \quad \mathbf{0.02}$$

$$PI (\pi) \quad \mathbf{3.15}$$

#### **CARGA DE FONDO (Qf)**

$$Q_f \text{ (kg)} = q_f * L_f \quad \mathbf{15.33 \text{ kg}}$$

#### **LONGITUD DE LA CARGA DE LA COLUMNA (Lc)**

$$L_c \text{ (m)} = L - (T + L_f) \quad \mathbf{6 \text{ m}}$$

#### **CONCENTRACIÓN DE LA CARGA DE LA COLUMNA (qc)**

$$q_c \text{ (Kg/m)} = ((\pi * D^2) / 4) * \rho \quad \mathbf{10.13 \text{ Kg/m}}$$

$$\rho = \text{densidad del explosivo menos} \quad \mathbf{800 \text{ kg/m}^3}$$

$$\text{potente (kg/m}^3\text{)}$$

$$D^2 \quad \mathbf{0.02}$$

$$PI (\pi) \quad \mathbf{3.14}$$

#### **CARGA DE COLUMNA (Qc)**

$$Q_c \text{ (Kg)} = q_c * L_c \quad \mathbf{63.44 \text{ kg}}$$

#### **CARGA DE BARRENO (Qt)**

$$Q_t \text{ (kg)} = Q_c + Q_f \quad \mathbf{78.78 \text{ kg}}$$

#### **CONSUMO ESPECIFICO (CE)**

$$CE \text{ (Kg/m}^3\text{)} = Q_t / VR \quad \mathbf{0.54 \text{ kg/m}^3}$$

### TONELAJE POR TALADRO

$$Tn/tal = VR * proca \quad \mathbf{388.13}$$

### TALADROS POR DISPARO

$$Tal/disp. = Productividad\ requerida / tn / tal \quad \mathbf{58}$$

Fuente: Área de perforación de la mina que esta en estudio.

De los resultados que se pueden observan de la tabla 04, se destaca el valor del volumen estimado a volar por día, siendo este: 22 390 m<sup>3</sup>.

Dimensionamiento de flota para el inicio del proceso de carguío y acarreo que es desde el Tajo al Pad de lixiviación con camiones HITACHI EX 3500 y palas CAT 777D

A continuación, se muestra los resultados sobre el cálculo de la flota de carguío y acarreo del mineral, para lo cual se tomó en cuenta las leyes de cabeza y el volumen volado por día estimando inicialmente.

**Tabla 5**

*Leyes de cabeza de minerales en el proyecto Cerro Aura*

<b>Mineral</b>	<b>Peso (TM)</b>
<b>Cabeza</b>	250000000
<b>Conc. Au</b>	55953936.073
<b>Conc. Ag</b>	62763917.336
<b>Relave</b>	131282146.591

Fuente: Área del Planeamiento sobre la mina en estudio

**Tabla 6D**



*Datos generales de equipos seleccionados para el carguío y acarreo*

<b>Reserva de la Mina</b>		250000000 m <sup>3</sup>	
<b>FLOTA</b>	<b>CAPACIDAD</b>	<b>UNIDAD</b>	
HITACHI EX 3500	20.250	m <sup>3</sup>	
CAT 777D	96.740	m <sup>3</sup>	<b>EFICIENCIA</b>
			(día) %      85.00
<b>DATOS FLOTA</b>	<b>VELOCIDAD</b>	<b>UNIDAD</b>	
CAMION CARGADO	35	km/h	
CAMION DESCARGADO	44	km/h	
	<b>DISTANCIA</b>	<b>UNIDAD</b>	
<b>PAD</b>	4	Km	

Fuente: Área de Planeamiento de la mina en estudio

**Tabla 7**

*Tiempos estimados en maniobras durante ciclo de carguío*

<b>Tiempo de ciclo</b>	
t. carguío	= 70"
t. descarga	= 50"
t. maniobras	= 30"
t. espera	= 20"
<b>Eficiencia (horas)</b>	<b>17.85</b>

Fuente: Datos de campo de la mina en estudio

En la tabla 08 se muestra el dimensionamiento de camiones, se ha calculado que para toda la vida útil (VOE) del proyecto se requiere 36 544 camiones, siendo el VOE de 40 años.

En aprox. 40 años de VOE hay 14273 días, lo cual diariamente vamos a utilizar 7 CAT 777D de capacidad de 96.74 metros cúbicos.

**Tabla 8**

*Dimensionamiento de camiones*

<b>DATOS – DIMENSIONAMIENTO DE CAMIONES</b>	
<b>Ti (")</b>	411.429
<b>TIEMPO ACARREO</b>	738.701
<b>TIEMPO CICLO (")</b>	908.701
<b>TIEMPO CICLO (horas)</b>	0.252
<b>NUMERO DE CICLOS POR DIA</b>	
<b>N° ciclo/día</b>	70.716
<b>Mineral Volado (acarreado) (m<sup>3</sup>)</b>	6841
<b>Mineral Volado (acarreado) por día (1) (m<sup>3</sup>/d)</b>	22390
<b>CALCULO DE NUMERO DE CAMIONES TODA LA VIDA</b>	
<b>N° Camiones</b>	<b>36544</b>

Fuentes: Datos de campo de la mina en estudio.

Costos unitarios de la pala, camión y equipos auxiliares durante el ciclo que presenta el carguío y acarreo.

A continuación, se muestran en la tabla los resultados encontrados sobre los cálculos de costo unitario para los equipos de carguío y acarreo.

**Tabla 9**

*Datos de costos unitarios de las Palas*

DATOS - PALA			
Tasa interés efectiva anual (TEA)		12%	
Equipo	P&H 2300	XPC	
Potencia de Motor		0	
Valor del Equipo (V)	\$ 15,000,000.00		US\$
Valor Residual - termino de vida útil (10%)	\$ 1,500,000.00		US\$
Precio Base de Depreciación (PBD)	\$ 13,500,000.00		US\$
		Vida Útil Hrs	
	146,000.00	(ve)	
Tiempo de Depreciación (TD)		20 Años (N)	
		2 Guardias/día	
		10 Hrs efect./Día	
Horas de operación por año	7,300.00	Horas	
		\$	
<b>Inversión Anual Promedio</b>	(N+1)/2N*V	7,875,000.00	US\$

Fuente: Datos de campo de la mina en estudio

**Tabla 10**

*Costos Unitarios de la Pala*

<b>COSTOS DE POSESIÓN</b>						
Depreciación por hora	$(PBD)/(TD*Hrs Op)$	\$ 92.47				US\$/Hr
Costo Financiero	$(IAP*i*N)/(VU)$	\$ 129.45				US\$/Hr
Costo de Posesión por Hora		<b>\$ 221.92</b>				US\$/Hr
<b>C. COSTOS DE OPERACIÓN</b>						
						<b>US\$/Hr</b>
Consumo de Electricidad	1850	Kw	0.03	\$Kw/hr		\$ 55.50
Consumo de aceite, grasas, filtros, etc.					\$	27.75
Mantenimiento y Reparación						
$MR=\%MR*(V/Ve)$					\$	51.37
Costo de Operación por Hora					\$	<b>134.62</b>
<b>D. MANO DE OBRA DIRECTA (Salario + Beneficios sociales + Bonos)</b>						<b>\$ 50.00</b>
<b>E. ACCESORIOS</b>						
			<b>Vida Útil Hrs. Efect.</b>	<b>Precio US\$</b>		<b>US\$/Hr</b>
Reparaciones, cucharas, cables			100	\$ 10,000.00	\$	100.00
Costo de Accesorios					\$	<b>100.00</b>
					\$	<b>506.54</b>

## F. COSTO UNITARIO TOTAL DE OPERACIÓN

Fuente: Elaboración propia.

Según lo que se muestra en la tabla 09, mensualmente se tendría un costo unitario de U\$\$ 303,922.60, y según la cantidad de material a transportar se tendría un costo final de U\$\$ 13.57 por TN solo por la pala.

**Tabla 11**

*Datos de costos unitarios de los camiones*

DATOS - CAMIONES		
Tasa interés efectiva anual (TEA)	12%	
Maquina	CAT 777D	
	1468 KW	
Potencia de Motor	(1969HP)	
Valor de la Maquina (V)	\$ 1,300,000.00	US\$
Valor Residual - termino de vida útil (10%)	\$ 130,000.00	US\$
Precio Base de Depreciación (PBD)	\$ 1,170,000.00	US\$
		Vida Útil Hrs
	73,000.00	(ve)
Tiempo de Depreciación (TD)	10 Años (N)	
	2 Guardias/día	
	9 Hrs efect./Gdia	
Horas de operación por año	7,300.00	Horas

	\$	
<b>Inversión Anual Promedio</b> $(N+1)/2N*V$	715,000.00	US\$

Fuente: Datos de campo de la mina en estudio

**Tabla 12**

*Costos Unitarios de la Camiones*

<b>COSTOS DE POSESIÓN</b>							
	$(PBD)/(TD*Hrs$	\$					
Depreciación por hora	Op)	16.03					US\$/Hr
		\$					
Costo Financiero	$(IAP*i*N)/(VU)$	11.75					US\$/Hr
Costo de Posesión por Hora		\$					
		<b>27.78</b>					US\$/Hr
<b>C. COSTOS DE OPERACIÓN</b>							<b>US\$/Hr</b>
Consumo de DIESEL	18	Gln/hr	3.5	\$/gln	\$		63.00
Consumo de aceite, grasas, filtros, etc.					\$		31.50
Mantenimiento y Reparación							
MR=%MR*(V/Ve)					\$		15.14
Costo de Operación por Hora					\$		<b>109.64</b>

**D. MANO DE OBRA DIRECTA (Salario + Beneficios**

**sociales + Bonos) \$ 30.00**

E. ACCESORIOS	Vida Útil Hrs.		
	Efect.	Precio US\$	US\$/Hr
Reparaciones, cucharas, cables	6000	\$ 50,000.00	\$ 8.33
Costo de Accesorios			\$ 8.33
<b>F. COSTO UNITARIO TOTAL DE OPERACIÓN</b>		<b>\$ 575.22</b>	

**Fuente: Datos de campo de la mina en estudio**

Según lo que se muestra en la tabla 11, mensualmente se tendría un costo unitario de US\$ 310,616.14, y según la cantidad de material a transportar se tendría un costo final de US\$ 13.87 por TN solo por camión.

**Tabla 13**

*Costos unitarios de equipos auxiliares*

Área	Modelo	Cantidad	Precio c/u	Costo de Operación
Equipos Auxiliares	tractor oruga D8	2	\$ 1087400.00	171.2 102720.000 US\$/mes 4.588 US\$/TN
	moto	1	\$ 487967.00	79.65 47790.000 US\$/mes 2.134 US\$/TN
	niveladora 120H	1		75.5 45300.000 US\$/mes
	excavadora 336	1		

	\$		
	495600.0.00	<b>2.023</b>	<b>US\$/TN</b>
<b>TOTAL</b>		8.745	<b>US\$/TN</b>

---

Fuente: Datos de campo de la mina en estudio



## CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### DISCUSIÓN

Una limitación de la investigación es la falta de información actualizada sobre carga y transporte en cuanto refiere a los costos unitarios de los equipos y el uso de cifras aproximadas debido a la confidencialidad de la información.

Con base en los resultados del análisis, el modelo matemático Pearse permitió calcular la estructura de malla en los parámetros generales y a partir de ella estimar el costo aproximado del proceso de voladura, donde los parámetros más importantes son el volumen aproximado de voladura por taladro 145,336 m<sup>3</sup> y el rendimiento del acarreo 5,44 m<sup>3</sup>/m, la concentración del material expuesto de carga de fondo es de 16,22 kg/m, la longitud de carga de fondo es de 0,9 m, la concentración de columna de carga es de 10,13 kg/m, la longitud de carga de columna es de 6,0 m, el tonelaje del volado en el taladro es de 388,13 Tn/taladro, 58 taladros por ronda, y un volumen total por día de 22.390 metros cúbicos. Usando los parámetros anteriores, el precio estimado es de aproximadamente U\$\$ 9,090.53 por unidad. Esto nos permite sustentar lo dicho por Zamora (2020), en su tesis "Propuesta de diseño de mallas de perforación y voladura empleando modificación al modelo matemático de Pearse con la finalidad de optimizar la fragmentación de rocas en la mina Tacaza de Consorcio de Ingenieros Ejecutores Mineros S.A.", el objetivo general de la investigación del proyecto fue desarrollar una cuadrícula de perforación y voladura basada en la geología real del tajo Tacaza para optimizar la fragmentación de rocas en el área de la mina propuesta (P80<=8.0 pulgadas). Se concluyó que el diseño de la malla de perforación y voladura se implementó usando el modelo matemático de Pearce, modificando la fórmula RQD de Deere

usando el RMR de Bieniawski para calcular las cargas, el espaciado, la ubicación de la perforación, la longitud de taco, el sobredimensionamiento y el tiempo de retardo. mayor fragmentación de rocas y menores costos de extracción.

EL dimensionamiento de camiones, se ha calculado que para toda la vida útil (VOE) del proyecto se requiere 36 544 camiones, siendo el VOE de 40 años. En aprox. 40 años de VOE hay 14273 días, lo cual diariamente vamos a utilizar 7 CAT 777D de capacidad de 96.74 metros cúbicos. Estos resultados permiten apoyar lo indicado por Vidal (2010), en cuanto al tamaño de los camiones, se estimó que se requerirían 36.544 camiones con un VOE de 40 años durante la vida útil del proyecto (VOE). aprox. El VOE de 40 años es de 14273 días y utilizaremos 7 CAT 777D cada día con una capacidad de 96,74 metros cúbicos. Estos resultados confirman a Vidal (2010) que en su tesis "Estudio de cálculo de flota de camiones para una operación minera a cielo abierto", es su estudio experimental sobre el transporte de mineral y desmonte en número óptimo de camiones para en una mina de cobre a cielo abierto. Por ello, establecieron y describieron las operaciones mineras en la zona sur del país y se realizó la planificación minera y de desarrollo durante los 17 años del proyecto. Con dicha información, se puede realizar un estudio dentro de los parámetros de la mina existente para asegurar que sea económicamente viable, concluyendo que una estimación adecuada de la mina en cuanto a la flota de camiones ayuda a mantener en óptimas condiciones esta misma en \$/t con relación a los costos de extracción. Si hay demasiados o no hay suficientes camiones, hay costos unitarios directos. Las encuestas son importantes para poder indicar los costos unitarios

El costo unitario mensual es de U\$\$ 303,922.60 y en base a la cantidad de material transportado, el costo final es de U\$\$ 13.57 por TN solo por la pala.

El precio unitario del camión es de U\$\$ 310,616.14, resultando un precio final de U\$\$ 13.87 por tonelada en función de la cantidad de material transportado. Estos resultados, obtenidos al calcular el equipo requerido para cargar y transportar el mineral con base en el transporte de material estimado, nos permiten respaldar lo señalado por Neyra (2020), en su tesis: “Estudio del cálculo de flota de camiones para una operación minera a cielo abierto”, tuvo el objetivo general incrementar la productividad de los sistemas de carguío en el tajo abierto de San Gerardo de la Cía, Minera Atacocha S.A.A. reduciendo el tiempo de inactividad de excavadoras y camiones durante la carga y el transporte. Se concluyó que el tajo San Gerardo requeriría una flota de 12 camiones para el transporte de mineral y desmonte. La utilización de la excavadora debe optimizarse, y agregar camiones a la operación sin acercarse al factor de coincidencia solo reducirá la productividad y, por lo tanto, aumentará los costos. Un cálculo preciso de la relación dólar/tonelada en la que una flota de camiones puede mantener una operación minera en condiciones óptimas. Un excedente o escasez de camiones afecta directamente el costo unitario de una operación minera.

## CONCLUSIONES

- Se calculó el volumen de volado total por día y los parámetros generales de diseño se calculan utilizando el modelo matemático propuesto por Pearse, los parámetros más importantes son el volumen de volado en la plataforma se calcula 145.336 m<sup>3</sup>, el volumen de transporte es de 5,44 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>, la concentración de la carga de fondo explosivo es de 16.22 kg/m, la longitud de la carga de fondo es de 0,9 m, la concentración de la carga de columna es de 10.13 kg/m, la longitud de la carga de columna es de 6.0 m, el tonelaje de volada por taladro es de 388,13 Tn/taladro y el número de disparos es de 58 y el volumen total es de 22.390 m<sup>3</sup> por día.
- Se realizó el dimensionamiento del tamaño de la flota el cual se basa en la carga y descarga de camiones HITACHI EX 3500 y palas eléctricas CAT 777D desde el pozo hasta la plataforma de lavado (Tajo al Pad), el cálculo se basa en 40 años VOE (Vida útil de la mina) que requiere 36 544 camiones, en El VOE es de 14 273 días, lo que significa que al día se utilizarán 7 CAT 777D con una capacidad de 96,74 m<sup>3</sup>.
- Se estimó el costo unitario de los montacargas, camiones y equipos auxiliares que intervienen en el ciclo de carguío y acarreo, resultando en un costo unitario de U\$\$ 303,922.60. por mes, dependiendo de la cantidad de material a transportar, el costo final solo para palas. El costo fue de U\$\$ 13.57. una tonelada El precio unitario del camión es de U\$\$ 310.616,14, resultando un precio final de U\$\$ 13.87 por tonelada en función de la cantidad de material transportado.

## REFERENCIAS

- Araujo, R. (2018). *“Optimización de la flota de volquetes en el acarreo, para incrementar la producción en la mina Los Andes Perú Gold – Huamachuco”*. (tesis pre grado). Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo, Perú.
- Bazán, A. (2016). *“Cálculo del número de unidades de la flota de camiones en el tajo abierto San Genaro, perteneciente a la Compañía Minera Atacocha”*. (tesis pre grado). Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo, Perú.
- Checya, D. (2015). *Gestión de la operación de equipos de movimiento de tierras para mejorar el rendimiento de carguío y acarreo en la mina Antapaccay*. (tesis pregrado). Universidad Nacional de San Agustín. Arequipa, Perú. (Pág. 12).
- Choque, J. (2019). *“Modelo Matemático de Langefors para optimizar el diseño de mallas de perforación y voladura de taladros largos – Unidad Yauliyacu”*. (tesis pre grado). Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo, Perú.
- Feliciano, J. (2018). *“Dimensionamiento de flota de camiones para el aumento de producción a 1 090 000 BCM en la mina Colquijirca – Tajo Norte para el año 2016”*. (tesis pre grado). Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Tacna, Perú.

Hernández, R, Fernández, C. & Baptista, P. (2012). “*Diseños no experimentales*”, recuperado de:

<http://tesisdeinvestig.blogspot.com/2012/12/disenos-no-experimentales-segun.html#:~:text=Dise%C3%B1os%20no%20experimentales.-.Seg%C3%BAn%20Hernandez%2C%20fernandez%20y%20Baptista.,variar%20intencionalmente%20las%20variables%20independientes.&text=Por%20decirlo%20de%20alguna%20manera,se%20'construye%22%20una%20realidad.>

Jacobo, J. (2018). “*Dimensionamiento de flota de acarreo considerando variables operativas de minado para incrementar la producción, minera la Zanja - Cajamarca*”. (tesis pre grado).

Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo, Perú.

Lozada, J. (2014). “Investigación Aplicada: Definición, Propiedad Intelectual e Industria”.

*CIENCIAMÉRICA*, N° 3, p.01, recuperado de:

<http://cienciamerica.uti.edu.ec/openjournal/index.php/uti/article/download/30/23/>

Manzaneda, J. (2015) *Optimización de la flota de carguío y acarreo para el incremento de producción de material de desbroce de 400k a 1000k BCM - U.E.A. El Brocal Consorcio*

*Pasco Stracon G y M.* (Tesis Pre grado). Universidad Nacional de San Agustín. Arequipa,

Perú.

Rodríguez, D. (2013). “*Modelo analítico para el dimensionamiento de flota de transporte en minería a cielo abierto: análisis de prioridades de atención según rendimiento*”. (tesis pre grado). Pontificia Universidad Católica de Chile.

Rondán, E. (2014). “*Producción real vs. producción potencial de equipos de carguío y acarreo y aplicación del match factor para determinar el número óptimo de volquetes mina Arasi*”. (Tesis pre grado). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.

Saavedra, A. (2014). *Movimiento de Tierra en Faenas Mineras*. Construcción Minera. (Pág. 80).

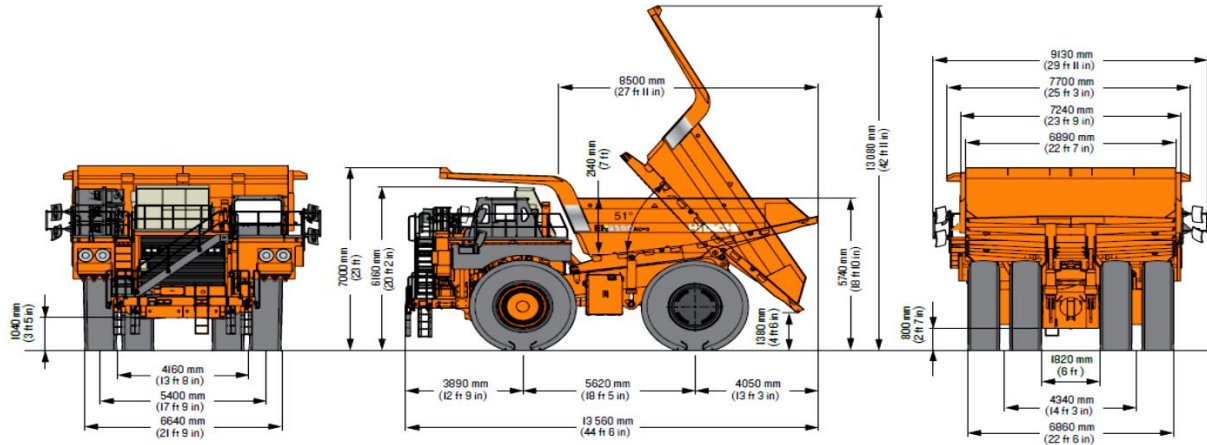
Tamayo, M. (2006). “*Investigación descriptiva*”, recuperado de:  
<http://virtual.urbe.edu/tesispub/0088963/cap03.pdf>

Vidal, M. (2010). “*Estudio de cálculo de flota de camiones para una operación minera a cielo abierto*”. (tesis pre grado). Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú.

Zamora, V. (2020). “*Propuesta de diseño de mallas de perforación y voladura empleando modificación al modelo matemático de Pearse con la finalidad de optimizar la fragmentación de rocas en la mina Tacaza de Consorcio de Ingenieros Ejecutores Mineros S.A.*”. (tesis pre grado). Universidad Privada de Ciencias Aplicadas.Lima, Perú.

## ANEXOS

### Anexo N° 01: Ficha técnica de los camiones HITACHI EX 3500



Motor		
	Estándar	Opcional
Modelo	Cummins QSKTA50-CE	MTU 12V4000 C21*
Certificado de emisiones	Nivel 2 del organismo EPA de EE. UU.	Sin certificación
Configuración	Diésel de 4 tiempos con sistema modular de combustible de distribución común	Diésel de 4 tiempos con DDEC
Cilindrada	50,3 l (3070 in <sup>3</sup> )	48,8 l (2978 in <sup>3</sup> )
Potencia nominal a 1900 min <sup>-1</sup> (rpm)		
Bruta (SAE J1995)	1491 kW (2000 hp)	1510 kW (2025 hp)
Neta (SAE J1349)	1398 kW (1874 hp)	1417 kW (1900 hp)
Par motor máximo (SAE J1995)	7871 Nm (803 kgf/m) a 1500 min <sup>-1</sup> (rpm)	8199 Nm (836 kgf/m) a 1500 min <sup>-1</sup> (rpm)
Aspiración	Con sobrealimentación y posrefrigeración	Con sobrealimentación y posrefrigeración
Cilindros	16	12
Diámetro y carrera	159 mm x 159 mm (6,26 in x 6,26 in)	165 mm x 190 mm (6,50 in x 7,48 in)
Arranque	Eléctrico de 24 voltios	Eléctrico de 24 voltios
*No está disponible en EE. UU. ni Canadá. Sin certificación (emisiones de EPA), versión de consumo optimizado de combustible.		
Sistema de propulsión eléctrico		
Armario de control de Corriente Eléctrica (CA)		
Rectificador		
Número de unidades	1	
Potencia nominal	1340 kW (1797 hp)	
Inversor		
Número de unidades	2	
Capacidad nominal por unidad	800 kVA	
Troceador		
Número de unidades	2	
Capacidad nominal por unidad	1300 kW (1743 hp)	
Dotado de un sistema fiable de enfriamiento por agua. Armario presurizado para reducir la entrada de polvo. Dotado de puertas con cerradura para mayor seguridad. Dotado de inversores pequeños que suministran corriente alterna adecuada a los motores de los bancos de resistencias y los motores de los sopladores. Construido específicamente para utilizar en camiones rígidos.		
Alternador		
Número de unidades	1	
Capacidad	1500 kVA @ 1900 min <sup>-1</sup> (rpm)	
Dotado de un alternador auxiliar que les suministra corriente alterna a los motores de los bancos de resistencias, a los motores de los sopladores, a la bomba de refrigeración del armario de control y a la bomba de refrigeración y filtrado del aceite de la transmisión final. Enfriado por aire mediante un soplador de propulsión eléctrica.		
Motor de Corriente Alterna (CA) en las ruedas		
Número de unidades	2	
Capacidad por unidad	620 kW (831 hp)	
Enfriado por aire mediante un soplador de propulsión eléctrica		
Caja de banco de resistencias (freno eléctrico)		
Número de módulos	4	
Capacidad por unidad	625 kW (838 hp) (3 min)	
Dotada de un ventilador de enfriamiento de velocidad variable regulado por inversor.		
Eje		
Relación de planetarios	35,2:1	
Velocidad máxima (continua)	56 km/h (35 mph)	



#### Neumáticos

Delanteros y traseros (estándar)	Ancho de la llanta
37.00R57	736,6 mm (29 in)
Delanteros y traseros (opcional)	Ancho de la llanta
40.00R57	736,6 mm (29 in)

Los fabricantes de neumáticos ofrecen una amplia gama de capacidades adecuadas para una variedad de aplicaciones. Para lograr un acarreo de alto rendimiento, debe consultarse con el fabricante de neumáticos para escoger el neumático que mejor se adecúe al peso de operación bruto objetivo de la máquina, la velocidad de desplazamiento y las condiciones específicas del lugar de trabajo del cliente. El rigor de las condiciones del lugar de trabajo puede obligar a reducir la carga útil y la velocidad de desplazamiento recomendadas.

#### Sistema hidráulico

Dos (2) cilindros Hitachi de doble efecto y tres etapas con amortiguamiento regulado electrónicamente en retracción y extensión que contienen dos juntas de vástago y cucharas de arrastre energizadas con uretano, invertidas y de montaje exterior. Una bomba de pistones en tándem combinada con una válvula del sistema de elevación, de cuatro posiciones y regulada por piloto electrónico. El controlador eléctrico está montado en la columna de cambios.

Recorrido de elevación de la tolva	59 grados
Tiempo de elevación de la tolva	17,5 seg
Tiempo de flotación de la tolva	15 seg

#### Sistema eléctrico

Sistema eléctrico de 24 voltios Alternador de 140 amperios accionado por motor o por motor Cummins. 4 baterías 245H52, 12 voltios, de gran rendimiento, conectadas en serie o en paralelo.

#### Sistema de dirección

Sistema de servodirección hidrostática permanente de centro cerrado que incluye dos cilindros de doble efecto y una bomba de pistones y caudal regulable. Los acumuladores Hitachi ofrecen un efecto de dirección complementaria, de conformidad con la norma ISO 5010 (SAE J1511), en una relación de dirección constante, sin importar las condiciones. La dotación estándar incluye un volante inclinable-telescópico de 35 grados de inclinación y 57 mm (2,2 in) de recorrido telescópico.

Diámetro de giro (ISO 7457)	29,3 m (96 ft 1 in)
-----------------------------	---------------------

#### Capacidades de la tolva

Rasa (SAE)	80,4 m <sup>3</sup> (105,2 yd <sup>3</sup> )
Colmada 3:1	105 m <sup>3</sup> (137,3 yd <sup>3</sup> )
Colmada 2:1 (SAE)	117 m <sup>3</sup> (153 yd <sup>3</sup> )

La capacidad de la tolva y la carga útil están sujetas a cambios de acuerdo con requisitos específicos del cliente en cuanto a densidad del material y aplicación.

#### Capacidades de servicio

Cárter (incluye filtros): Cummins	200 l (52,8 gal)
Cárter (incluye filtros): MTU	190 l (50,2 gal)
Sistema de enfriamiento: Cummins	531 l (140,3 gal)
Sistema de enfriamiento: MTU	543 l (143,4 gal)
Tanque de combustible (estándar)	2040 l (538,9 gal)
Tanque de combustible (opcional)	3690 l (974,8 gal)
Sistema hidráulico	750 l (198,1 gal)
Transmisiones planetarias (izquierda y derecha)	218 l (57,6 gal)
Ruedas delanteras (izquierda y derecha)	17 l (4,5 gal)
Sistema de enfriamiento del armario de control	30 l (7,9 gal)
Acumulador principal	70 l (18,5 gal)
Lavaparabrisas	20 l (5,2 gal)

#### Pesos (aproximados)

El peso neto de la máquina que se indica incluye la dotación estándar. La variación del peso neto de la máquina repercute directamente en la carga útil nominal.

	<b>37.00R57</b>
Chasis con sistema de elevación	118 000 kg (260 145 lb)
Tolva	23 000 kg (50 706 lb)
Peso neto de la máquina	141 000 kg (310 852 lb)

El peso neto de la máquina incluye al operador y el tanque de combustible al 100 %.

Nota: Por piezas de la tolva se entiende piezas estándar montadas en la tolva como, por ejemplo, guardabarros, soportes de la tolva, barras expulsoras de piedras, protector del brazo y afianzadores.

Carga útil nominal	181 Tm (200 t)
Peso de operación bruto objetivo de la máquina	322 000 kg (709 888 lb)

Nota: La especificación de la carga útil nominal se calcula siguiendo la política de carga de Hitachi. Los requisitos específicos del lugar de trabajo pueden dar lugar a ajustes en el peso de la carga útil nominal. Consulte con su concesionario Hitachi acerca de una configuración de camión que se ajuste a su aplicación de acarreo.

Distribución del peso	Adelante	Atrás
Vacío	48 %	52 %
Con carga	33 %	67 %

**Sistema de frenos**

El sistema de frenos cumple con la norma ISO 3450 (SAE J1473).

**Frenos de servicio**

Los frenos de servicio del EH3500AC-3 comprenden los frenos de aplicación hidráulica delanteros y traseros y el freno eléctrico.

**Eje frontal (disco seco)**

Diámetro de cada disco (2 discos por eje, 3 mordazas por disco) 121.7 cm (4 ft)

**Eje trasero (disco seco)**

Diámetro de cada disco (2 discos por eje, 3 mordazas por disco) 109 cm (3 ft 7 in)

**Secundario**

Los dos frenos hidráulicos delanteros, los dos frenos hidráulicos traseros y el freno eléctrico que componen el sistema de frenos de servicio modulan la capacidad de frenado de reserva. Tanto los frenos delanteros como los traseros se aplican automáticamente cuando se detecta una pérdida de presión.

**Freno de estacionamiento**

Este sistema de frenos está diseñado para usar mordazas de aplicación por resorte y liberación hidráulica para inmovilizar el camión.

**Freno eléctrico**

El freno eléctrico se utiliza para el frenado normal del EH3500AC-3. El sistema de propulsión eléctrico de Hitachi proporciona todo el control de velocidad necesario, que incluye la desaceleración del camión hasta 0 km/h cuando se pisa el pedal del freno eléctrico. Además, los frenos de servicio traseros se aplican automáticamente cuando se pisa este pedal si la velocidad es inferior a 0,5 km/h.

Frenado dinámico máximo (estándar) 2800 kW (3755 hp)

**Aplicación de los frenos durante la carga y descarga**

Con el accionamiento de un interruptor por parte del operador, se energiza un solenoide y se aplica toda la presión de frenado a los frenos de disco húmedo traseros. Se utiliza durante los ciclos de carga y descarga.

**Cabina con ROPS y FOPS de alta tecnología**

La estructura ROPS cumple con las normas ISO 3471 y SAE J1040 (mayo de 1994); la estructura FOPS cumple con la norma ISO 3449. El soporte aislante de goma de tres puntos del travesaño de arco elevado minimiza la vibración que se transfiere al compartimiento del operador. La nueva cabina más ancha, con capacidad para dos asientos de tamaño natural y espacio suficiente para las piernas del instructor, permite manejar la máquina y capacitar al operador con toda comodidad.

**Sistemas de monitoreo**

Un nuevo monitor de sistema Hitachi ofrece datos e información de diagnóstico acerca de todos los sistemas y controles incorporados, entre ellos, el motor y la propulsión eléctrica de Hitachi. Los enlaces de datos permiten una integración completa, y la pantalla de cristal líquido (LCD) a color presenta con claridad los detalles de funcionamiento de la máquina. El tiempo improductivo se reduce al mínimo, gracias a un análisis y reparación de averías más rápido y fiable. El nuevo sistema de monitoreo de la carga de Hitachi ofrece ventajas como, por ejemplo, mejor aprovechamiento del equipo en el lugar de trabajo, resultados de producción precisos tanto de las unidades como de la flota y posibilidad de comparar la información estadística de las unidades con los resultados de la flota. Para contribuir al incremento de la productividad, se pueden medir y registrar el tiempo de ciclo, la distancia y el total de ciclos. El sistema de monitoreo de la carga de Hitachi se integra completamente al sistema de monitoreo y la interfaz gráfica Hitachi del vehículo, lo cual evita los posibles fallos o errores tan comunes en los sistemas no originales.



- 1. Modelo
- 2. Indicadores de advertencia relacionados con la propulsión
- 3. Luz indicadora de dirección
- 4. Indicador de advertencia de motor apagado
- 5. Indicador de advertencia central
- 6. Tacómetro
- 7. Indicador de posición de la palanca de cambios
- 8. Contador horario
- 9. Indicadores de advertencia relacionados con el sistema hidráulico
- 10. Indicadores de luces
- 11. Indicador de nivel del combustible
- 12. Medidor de carga
- 13. Reloj
- 14. Indicador de temperatura de los motores de las ruedas
- 15. Indicador de temperatura del refrigerante
- 16. Manómetro del aceite del motor
- 17. Indicar mensaje
- 18. Indicar código SAE
- 19. Indicar código HCM
- 20. Manómetro del aceite hidráulico de la dirección y los frenos
- 21. Velocímetro (incluye odómetro)
- 22. Indicadores de advertencia relacionados con el motor
- 23. Indicador de advertencia de válvula de retención
- 24. Indicador de advertencia de mantenimiento necesario del sistema de propulsión eléctrico
- 25. Indicador de ángulo de la tolva
- 26. Indicador de estado del control de propulsión
- 27. Temperatura ambiente

**Sistema de monitoreo de cámaras**

Como dotación auxiliar de seguridad estándar, se ha montado un monitor analógico en el tablero de instrumentos que presenta en tiempo real información de las cámaras de las partes trasera y derecha delantera.

**Suspensión**

**Suspensión delantera**

El eje delantero está integrado por brazos reactivos independientes. Entre los brazos reactivos y el bastidor se han montado amortiguadores con fluido NEOCON-E los cuales contienen un gas capaz de absorber energía y fluido NEOCON-E™ comprimible. La amortiguación y la elasticidad variables son características inherentes del diseño de los amortiguadores con fluido NEOCON-E.

**Suspensión trasera**

Una estructura de armazón en A —una sola pieza con el cárter del eje— une el eje motor y el bastidor en un punto adelante del centro mediante un pasador y un buje esférico. Una barra de acoplamiento proporciona estabilidad lateral entre el bastidor y el eje motor. Los amortiguadores con fluido NEOCON-E de servicio pesado y montaje posterior, que contienen un gas capaz de absorber energía y fluido NEOCON-E™ comprimible, sujetan el eje motor que cuelga del bastidor. La estructura incorpora características de amortiguamiento y elasticidad variables.

Fuente: Hitachi, (2020).



Anexo N° 02: Plano Topográfico

