

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA DE MINAS**

“INDICADOR GRANULOMÉTRICO (P80) EN EL
RENDIMIENTO DE LA EXCAVADORA CAT 374D L DE UNA
OPERACIÓN MINERA SUPERFICIAL DE LA REGIÓN
CAJAMARCA - 2020”

Tesis para optar al título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autores:

Martin Benito Cruchaga Cruz
Smiker Roncal Rios

Asesor:

Mg. Wilson Carlos Gómez Hurtado
<https://orcid.org/0000-0002-3434-3664>

Trujillo - Perú

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	MBA. Ing. Jesús Gabriel Vilca Pérez	41779520
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 2	Mg. Ing. Jorge Omar Gonzáles Torres	43703713
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	Mg. Ing. Grant Ilich Llaque Fernández	18180119
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

DEDICATORIA

Nuestra investigación la dedicamos en primer lugar a Dios, porque nos ha brindado la salud para llegar hasta este punto de nuestra vida, y por ser nuestra fuente de sabiduría para poder completar con éxito el presente trabajo.

También quisiéramos dedicar nuestro trabajo a nuestros padres, porque gracias a su esfuerzo y dedicación fue posible nuestra formación universitaria, además por habernos inculcado desde pequeños principios y valores que nos permitirán ser unos profesionales ejemplares y de éxito.

AGRADECIMIENTO

Quisiéramos comenzar dándole gracias a Dios por permitirnos alcanzar este importante objetivo, a todos nuestros seres queridos por apoyarnos constantemente de manera indispensable durante estos años de vida universitaria, sin su apoyo no habría sido posible llegar hasta este punto de nuestras vidas.

Además, expresamos nuestro profundo agradecimiento a la escuela de Ingeniería de Minas de nuestra alma mater la Universidad Privada del Norte, por habernos acogido durante el transcurso de nuestra vida universitaria, donde hemos enriquecido nuestros conocimientos, los que nos han servido para poder culminar con éxito nuestra tesis y además nos permitirá afrontar los nuevos retos en nuestra vida como profesionales.

Para culminar, agradecemos a todos nuestros docentes, compañeros y amigos de aula por compartir con nosotros sus conocimientos y experiencias de manera desinteresada, lo que nos ha permitido desarrollarnos de manera profesional.

Tabla de contenido

JURADO CALIFICADOR	2
DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTO	4
TABLA DE CONTENIDO	5
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
RESUMEN	8
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	9
1.1. Realidad problemática	9
1.2. Formulación del problema	9
1.3. Objetivos	9
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	10
CAPÍTULO III: RESULTADOS	23
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	28
REFERENCIAS	32
ANEXOS	36

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Prueba de hipótesis de correlación, mediante el estadístico de prueba r de Pearson.....	27
--	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Rendimiento de la excavadora CAT 374D L según el tamaño de la fragmentación (P80).....	23
Figura 2 Indicador granométrico en el tiempo de carguío	24
Figura 3 Indicador granulométrico en el número de viajes/hora	24
Figura 4 Indicador granulométrico en el número de pases/volquete	25
Figura 5 Indicador granulométrico en las demoras operativas	25
Figura 6 Costo Unitario de la excavadora CAT 374D L	26
Figura 7 Diagrama de dispersión (Grado de fragmentación vs rendimiento de la excavadora CAT 374D L	27

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo determinar la relación entre el indicador granulométrico (P80) y el rendimiento de la excavadora CAT 374D L de una operación minera superficial de la región Cajamarca. Se presentó un enfoque cuantitativo, con una investigación de tipo aplicada de nivel correlacional y con un diseño no experimental, considerando seis fases de desarrollo; partiendo desde un análisis anticipado para obtener toda la información del primer semestre del 2020 respecto al carguío y acarreo del material volado, posteriormente se procesó estos datos teniendo en cuenta valores de fragmentación obtenidos de tres voladuras distintas (voladura 3, 6 y 2), para así lograr determinar la relación entre el indicador granulométrico y el rendimiento de la excavadora. Después de realizar el análisis y procesamiento de datos, se logró concluir que existe una relación significativa entre el grado de fragmentación (P80) y el rendimiento de la excavadora, este rendimiento alcanza su máximo valor cuando se opera con fragmentación comprendida entre los 100 mm a 250 mm, obteniendo un valor promedio de 1321,3 t/h, mismo que representa un incremento de 26,6 % del rendimiento inicial, lo que produjo una reducción de costos en un 19,8 %.

PALABRAS CLAVES: Indicador granulométrico (P80), fragmentación, rendimiento.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

El indicador granulométrico de roca (P80) generado en las etapas de perforación y voladura tiene una relación significativa en el rendimiento de los equipos de carguío, es por ello que un control adecuado de este indicador puede llevar a optimizar la operación unitaria de carguío. En tal sentido al lograr esta mejora las diversas empresas mineras pueden lograr la anhelada minería de éxito, como se sabe las operaciones de carguío y acarreo en conjunto alcanzan aproximadamente un 60 % de los costos generados en las operaciones de la minería superficial.

En el país de la India se han desarrollado diversos estudios sobre la influencia que tiene la granulometría de roca sobre los diversos equipos de carguío, considerando esto la fragmentación de roca debe ser la adecuada en relación al tamaño de cucharón del equipo de carguío, así pues Choudhary (2019) indica en su estudio que los tiempos de ciclo de la excavadora se reducen cuando en índice de fragmentación se encuentra aproximadamente entre 0,30 m a 0,45 m y 0,15 m a 0,20 m para las Minas A y B respectivamente, esto dio a entender que este equipo de carguío carga más material en menos tiempo.

En el Perú son pocas las investigaciones referentes al índice de fragmentación de roca, es por ello que en la mayoría de las minas a nivel nacional operan de manera deficiente en cuanto a la etapa de carguío, en una investigación realizada en la región Puno se observó que la etapa de carguío se ve afectada cuando el índice de fragmentación de roca (P80) es mayor a 40 cm. (Cotrado, 2017).

En la región Cajamarca según estudios realizados muestran que los equipos de carguío presentan un bajo rendimiento, 37,31 % menor a las especificaciones técnicas del fabricante (Malpica, 2014). Las consecuencias que se generan al no considerar el indicador

granulométrico (P80) en la CIA. Minera Coimolache S.A. se ven reflejadas en la pérdida de eficiencia y el aumento de costos en las etapas unitarias de carguío y acarreo.

Alcalde (2019) tuvo como objetivo determinar el nivel de reducción de la fragmentación mediante pruebas de campo y evaluar el aumento de la productividad de los equipos de carguío, acarreo y chancado generado por el uso de emulsión gasificada SAN G APU; presentando un diseño de investigación no experimental, para cumplir con su objetivo realizó pruebas de campo donde comparó el Heavy ANFO vs la emulsión gasificada SAN G APU en cuanto a fragmentación, y productividad de las operaciones post voladura, llegando a la conclusión que con el empleo de emulsión gasificada SAN G APU consiguió disminuir un 24,1 % la fragmentación con respecto al uso de HA55 con lo cual se obtuvo un incremento en la productividad en los procesos de carguío, acarreo y chancado del 4,2 %, 6,3 % y 3,2 % respectivamente cuando el P80 estaba comprendido entre los 177 mm a 228 mm. Esta investigación fue relevante en nuestro estudio debido a que nos mostró el incremento del rendimiento en la etapa de carguío al reducir el grado de fragmentación.

Campos y Valencia (2019) tuvieron como objetivo aumentar la productividad de mineral en la operación minera Toromocho, presentando una investigación no experimental, para ello recolectaron información de campo y de la base de datos del sistema Minestar, durante los meses de enero hasta abril del 2019. La información que recolectaron trató de cada uno de los tiempos del ciclo de acarreo para el caso de camiones CAT 797F además del tiempo del ciclo de carguío para la Pala CAT 7495, obteniendo como resultado que al disminuir la fragmentación se mejora las etapas de carguío y acarreo, debido a que el material presenta un adecuado P80 en relación a los equipos empleados, reduciéndose el tiempo de carguío y consiguiendo una productividad de 392,30 t/h en los camiones CAT 797F. Por

tanto la presente investigación fue relevante en nuestro estudio ya que recalca la importancia del P80 en la etapa de carguío y acarreo.

Asunción (2019) en su investigación tuvo como propósito reducir todos los tiempos improductivos que se observan para así aumentar el rendimiento en las excavadoras CAT 336 DL mejorando la producción de relleno masivo, presentando un diseño de investigación Aplicada – Descriptiva, para ello realizó el estudio de la identificación de tiempos improductivos y pérdidas operacionales en las actividades de carguío, mediante la generación de controles que ayuden a estandarizar y mantener la mejora continua en cada una de las actividades. Los datos obtenidos muestran como resultado que el rendimiento de la excavadora aumentó de 436,77 t/h a 522,83 t/h, además de obtener una reducción de 0,152 \$/t a 0,127 \$/t en los costos unitarios, concluyendo que el porcentaje de utilización de las excavadoras tiene un incremento de 74,88 % a 83,39 % lo que permitió realizar más horas efectivas de trabajo. Así mismo, esta investigación es de mucha importancia porque permitió identificar la relevancia sobre la reducción de tiempos en la etapa de carguío.

Mamani (2019) tiene como objetivo optimizar la fragmentación y diseñar la malla por alteración en perforación y voladura de U.E.A. VALERIA – ANBÍ S.A.C., realizando una investigación con un diseño experimental, para cumplir con su objetivo utilizó el diseño de mallas por alteración, el cual consiste en diseñar mallas en: sílice masivo, sílice granular, sílice alunita, sílice clay, todo esto para mejorar la fragmentación; obteniéndose así una mejora significativa en cuanto a la obtención del P80 (de 9,2'' a 5,24''), llegando a la conclusión que el diseño de malla de perforación y voladura es relevante en cuanto al indicador granulométrico esperado. Así pues, está investigación permitió entender la importancia de la malla de perforación para la obtención del indicador granulométrico (P80).

Cruz (2018) tiene como objetivo principal determinar cuál es la influencia del grado de fragmentación (P80) sobre el rendimiento de la excavadora Volvo EC750D en la Unidad Isabelita de la Compañía Minera Los Andes Perú Gold S.A.C., presentando una investigación de tipo de no experimental (aplicada – descriptiva), apoyándose del uso de hojas de cálculo del MS Excel 2013 y Software WipFrag 2010 como herramientas de procesos de datos; al elaborar el análisis de datos observó que se alcanza los picos más altos de rendimiento en la excavadora cuando la fragmentación oscila entre los 100 mm a 300 mm; llegando a la conclusión que el grado de fragmentación P80 si influye en el rendimiento de la excavadora , ya que cuando el grado de fragmentación es mayor la excavadora alcanza el pico más alto de rendimiento. Esta investigación permitió ratificar la relación entre el grado de fragmentación y el rendimiento de los equipos de carguío.

Cotrado (2017) establece como objetivo evaluar la velocidad de excavación de las palas de 42,8 m³; 45,9 m³ y 55,8 m³ cuando cargan material con fragmentación P80 menor o mayor a 40 cm a volquetes de 363 y 290 toneladas. Su investigación presenta un diseño no experimental – longitudinal; teniendo como población 900 datos de fragmentación P80 y velocidad de excavación de 3 palas electromecánicas, de 42,8 m³; 45,9 m³ y 55,8 m³ que se generan en un año de trabajo (solo el turno día), como muestra presenta 60 datos obtenidos por método probabilístico estratificado, obteniendo como resultado que cuando la fragmentación P80 del material es menor a 40 cm la producción es mayor a 9000 t/h incrementándose así la velocidad de excavación; llegando así a concluir que la velocidad de excavación se incrementa cuando el grado de fragmentación P80 es mayor. Este trabajo corrobora la idea base de investigación, es decir la relación que tiene el índice granulométrico P80 sobre los equipos de carguío.

Huarocc (2014) en su estudio planea determinar los mecanismos para optimizar las operaciones unitarias de carguío y acarreo de mineral en la Unidad Minera Chuco II; presenta un diseño de investigación experimental, la población está establecida por las maquinarias pesadas como son: Volquetes FMx y FM, cargador frontal, excavadoras hidráulicas; estableciendo como muestra 10 Volquetes FMx y FM, 2 Cargador Frontal, 3 Excavadoras Hidráulicas CAT 329, 320, 360; obteniendo como resultado una disminución del costo unitario de carguío de 2 \$/t a 1,56 \$/t y una reducción del costo de transporte de 1,61 \$/t a 1,27 \$/t; llegándose a concluir que el uso de indicadores de desempeño permite tener un mayor conocimiento de las operaciones en cuanto al rendimiento, y así poder tomar decisiones de optimización que son más concurrentes a la disminución de costos de operación. Esta investigación recalca la idea planteada en nuestro proyecto en relación con la importancia de la reducción de costos en la etapa de carguío.

El indicador granulométrico P80, es aquel que proporciona la idea para poder determinar si una muestra de material volado presenta una fragmentación fina o gruesa. Este indicador se va a obtener en base a la curva de distribución granulométrica, este indicador simboliza al tamaño de partícula, donde el 80 % de la totalidad de fragmentos son más pequeños en comparación con este tamaño (Cruz, 2018). Esto quiere decir que, si se tiene un P80 de una distribución granulométrica igual a 0,2 m, el 80 % del total de fragmentos están por debajo de los 0,2 m. Este indicador (P80) se obtendrá a partir del análisis de imágenes, para ello es necesario contar con un objeto de dimensiones conocidas para realizar el cambio de escalas, posterior a ello dicha imagen sufre un proceso de segmentación para poder de ese modo ser reconocida como una imagen binaria y así poder ser medida y analizada estereométricamente (López y García, 2003).

Existen sistemas digitales que monitorean diversas etapas en una unidad minera, en cuanto a fragmentación, los softwares más empleados son: WipFrag, Fragalyst. Estos softwares analizan imágenes de rocas fragmentadas, para ello es necesario contar con un objeto referencial de medias conocidas, en dónde generalmente se emplea una esfera (Mamani, 2019).

La perforación de roca ha mejorado con el transcurso del tiempo debido al uso de nuevas tecnologías, las técnicas de perforación no sólo se ven aplicadas en la etapa de perforación y voladura, sino también son aplicadas en exploración, sostenimiento, drenajes, etc. La perforación resulta de combinación de acciones tales como: Percusión, rotación, empuje y barrido (Bernaola, Castilla y Herrera, 2013). La perforación dentro del campo de las voladuras es la primera operación dentro de la explotación, esta tiene como fin generar taladros con la disposición y geometría adecuada en el macizo rocoso, dónde posteriormente irán las cargas de explosivo y sus diferentes accesorios de iniciación (Pernía et al., 2003).

Se infiere por voladura a la distribución de un grupo de barrenos en los cuales se instalan una cierta carga de explosivos, iniciándolos secuencialmente, para lograr los resultados de fragmentación y desplazamiento deseados, sin alterar a elementos y estructuras ajenos a la misma (Bernaola et al., 2013). La voladura consiste en la primera conminución de material en campo, es por eso que se debe utilizar al máximo la energía química del explosivo, para de esa forma lograr una fragmentación óptima que aproveche al máximo las capacidades del cucharón y tolva, mejorando la productividad en estas etapas (Cruz, 2018).

El Burden se refiere al espacio perpendicular que existe entre la superficie libre más cercana y un taladro. Cuando el Burden empleado es el adecuado, logra después de la

voladura lo siguiente: Una rotura completa del banco, grado uniforme y específico de fragmentación y desplazamiento suficiente del material (Ames, 2008).

El espaciamiento es la distancia entre taladros de una misma fila en donde se disparan usando un mismo o diferentes retardos. Se determina relacionándolo con la longitud del burden, secuencia de encendido y tiempo de retardo entre taladros. Generalmente en el día a día el espaciamiento es igual al burden en una malla del tipo cuadrada ($E=B$) y para una malla rectangular el espaciamiento es 1,3 a 1,5 veces el burden ($E=1,3$ a $1,5 B$) (EXSA, 2011).

La altura de banco es aquella distancia medida desde la superficie superior horizontal a la inferior (Piso), la altura dependerá del equipo de excavación a emplear, del diámetro con el que se perforará, de la resistencia del macizo rocoso, del tipo de mineralización y finalmente de aspectos de seguridad (EXSA, 2011).

La sobre perforación es de suma importancia al momento de realizar la perforación ya que si no se perfora por debajo de la horizontal se generarán lomos, y si es excesiva se generará sobre excavación aumentando los costos de perforación y perjudicando a los equipos de carguío y acarreo (Manual práctico de Voladura – EXSA, 2011).

El tiempo de carguío se refiere al tiempo empleado que se toma el equipo de carguío, para levantar material volado y descargarlo en el equipo de transporte, este tiempo se ve influenciado por la habilidad del operador de la maquinaria de carguío y también del posicionamiento correcto de dicho equipo (Chuctaya y Larota, 2020).

Existen diversos factores que afectan el rendimiento de las excavadores tales como: El tipo de material, depende de las propiedades físicas específicamente de la dureza de las rocas pertenecientes al terreno de operación, ya que teniendo en cuenta su clasificación de

manera geomecánica, se logra establecer si la zona de trabajo es compacta o presenta alteraciones geológicas, dependiendo de estos factores la productividad de la maquinaria empleada se verá afectada o favorecida según las características y condiciones que el terreno presente (Cruz, 2018). Las condiciones climáticas que perjudican de manera significativa la productividad de la maquinaria de carguío son: lluvia, viento, granizo. Además, se sabe que mientras los equipos operen a mayor altura con relación al nivel del mar la disminución de la presión atmosférica afectará a la potencia de sus motores (Arévalo y Hernández, 2014). Las condiciones operativas son todas aquellas condiciones físicas presentes en el lugar de trabajo rutinario del equipo de carguío, depende de ciertas condiciones tales como: Disponibilidad mecánica, es una condición que se expresa en porcentaje, la cual expresa el tiempo disponible de la maquinaria de carguío durante la faena; grado de fragmentación del material, si se tiene una granulometría deficiente luego de la etapa de la voladura el rendimiento de la maquinaria de carguío empleada se verá afectado; frente de trabajo duro, es aquel que se produce cuando se obtuvo una pésima voladura, producto de ello se genera bolones de roca y además dificulta el corte de material por parte de la maquinaria de carguío; reubicación del equipo de carguío, se origina cuando hace falta material para cargar y el equipo empleado debe trasladarse a otro punto; plataforma de carguío deficiente o en mal estado (Alayo, 2017). El ángulo de giro se refiere al giro que ejerce el brazo del equipo de carguío en torno a la oruga para así proceder con la realización de las maniobras de carga y descarga, por lo general el ángulo de giro dependerá de las siguientes condiciones: Número de equipos de acarreo, distribución de la pila de material a ser cargado, zona de carguío o lugar de acceso libre para las unidades de acarreo (Checya, 2015). La habilidad del operador está en función del nivel de experiencia, habilidades, destrezas y conocimiento del operador, y en conjunto desempeñan un rol imprescindible en cuanto al cuidado de equipos,

rendimiento de los equipos de carguío y la productividad diaria (Alayo, 2017). Y por último la capacidad del equipo de acarreo, la elección correcta del equipo de acarreo está basada en modelo de la mina y el plan de producción a corto plazo (Alayo, 2017).

El rendimiento de un equipo siempre comprende un valor numérico menor a uno, este valor para poder ser representado en % se tiene que multiplicar por 100, este valor obtenido indica el tanto por ciento que se consigue luego de realizar un trabajo (Cahuari, 2019). Como se indica en la Ecuación 1 del Anexo 19.

Con el desarrollo de la presente investigación y el análisis de diferentes estudios se corrobora que el indicador granulométrico (P80) tiene una gran relación con las etapas unitarias de carguío y acarreo. El surgimiento de nuevas tecnologías en el rubro minero (Softwares) ha permitido la mejora operacional gracias a su fácil manejo y procesamiento de data, por lo que el análisis del P80 con la utilización del Software WipFrag permite tomar una mejor decisión referente al grado de fragmentación con el que se debería operar, teniendo en cuenta la maquinaria a utilizar. Resulta conveniente monitorear las variables antes mencionadas, debido a que un buen control mejoraría significativamente la reducción de costos ya que como se mencionó líneas atrás, las etapas unitarias de carguío y acarreo representan un 60 % del total de los costos operacionales en minería superficial. Es por ello que se plantea el proyecto de investigación denominado "Indicador granulométrico (P80) en el rendimiento de la excavadora CAT 374D L de una operación minera superficial de la Región Cajamarca – 2020" con la finalidad de determinar la relación entre el indicador granulométrico (P80) y el rendimiento de los equipos de carguío.

1.2. Formulación del problema

El tema desarrollado pertenece a la línea de investigación “Nuevas Tecnologías” admitida por la Universidad Privada del Norte, en ese contexto y por todo lo expuesto anteriormente se planteó la siguiente incógnita: ¿Cuál es la relación entre el indicador granulométrico (P80) y el rendimiento de la excavadora CAT 374D L de una operación minera superficial de la Región Cajamarca – 2020?

1.3. Objetivos

Determinar la relación entre el indicador granulométrico (P80) y el rendimiento de la excavadora CAT 374D L de una operación minera superficial de la Región Cajamarca – 2020. Para lograr este objetivo fue indispensable en primera instancia analizar los rendimientos del equipo de carguío a partir de la variación en el tamaño del indicador granulométrico (P80). Seguidamente se tuvo que determinar como el indicador granulométrico se relaciona con factores tales como: Tiempo de carguío, número de viajes, pases y demoras/hora. Del mismo modo se consideró analizar la variación de los costos en la etapa de carguío en función del indicador granulométrico de material volado. Finalmente se comprobó la hipótesis mediante el coeficiente de correlación de Pearson.

1.4. Hipótesis

Existe una relación significativa entre el indicador granulométrico (P80) y el rendimiento de la excavadora CAT 374D L, puesto que reduciendo dicho indicador se podrá optimizar esta etapa.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

El trabajo de investigación realizado presentó un enfoque cuantitativo, donde se utiliza la recolección de datos y el análisis de los mismos, con el propósito de responder a la interrogante de investigación y probar las hipótesis formuladas (Ñaupas et al., 2014). De tipo aplicada, porque a partir de la recolección de información se tendrá que aplicar los conocimientos adquiridos en base a conceptos con la finalidad de aplicarlos en el rendimiento de la maquinaria de carguío. Según el nivel de investigación es de carácter correlacional, porque se busca determinar la relación de una variable sobre una muestra determinada. Con un diseño de investigación no experimental, porque no se manipulará ninguna variable del estudio, además presenta un carácter del tipo longitudinal (Anexo 1).

Para el desarrollo de la tesis, se consideró una población que comprende los datos obtenidos del indicador granulométrico P80, de las voladuras realizadas en los bancos 3196W, 3372W, 3248E de una empresa Minera Superficial de la Región Cajamarca, mientras que, la selección de muestra fue de tipo al azar, tomando 7 voladuras de manera aleatoria durante los meses de mayo a junio del 2020.

Empleándose las siguientes técnicas: "Análisis Documental" que consiste en recopilar información bibliográfica de libros, artículos, tesis, revistas, etc., dónde permitió ampliar los conocimientos referentes al grado de fragmentación (P80) y las operaciones unitarias de Carguío y Acarreo; el instrumento que se usó es la Guía de Análisis Documental, que permitió ordenar de manera estructurada los autores, títulos, temas y conceptos relacionados a nuestras variables de investigación. También se usó como técnica la "Observación" que consistió en hacer una descripción sistemática de un fenómeno luego de observar las variables de estudio (Soledad, 1998). Se empleó la Libreta de Campo como instrumento, permitiéndonos realizar apuntes o anotaciones cuando se desarrollaron los

trabajos de campo referentes al tema de investigación, lográndose obtener datos de forma directa (Anexo 3). Y por último se empleó el análisis de datos, donde se elaboraron tablas de frecuencia y gráficos de Excel, los cuales permitieron interpretar datos procesados de una forma más dinámica y organizada.

El procedimiento que se empleó en primera instancia fue la realización de un análisis anticipado, gracias a ello se pudo recabar toda la información referente al carguío y acarreo de material volado respecto al primer semestre del 2020, para ello se estudió la producción estimada con la ejecutada, llegándose a observar una deficiencia. A partir de la data proporcionada por control de equipos, se logró establecer el rendimiento de la excavadora CAT 374D L durante el primer semestre del 2020, gracias a ello se logró determinar la problemática del deficiente rendimiento que presenta la excavadora, considerando diferentes indicadores de productividad (costo del equipo, toneladas mensuales, horas trabajadas, etc.) tal como se observa en el Anexo 4 y Anexo 5, los mismos que presentan los rendimientos (esperado - ejecutado) de la excavadora CAT 374D L durante el primer semestre del 2020. Se tuvo por conveniencia revisar los diversos factores que inciden en el rendimiento de la excavadora CAT 374D L tales como: Factor operativo, en este se consideró principalmente la granulometría del material fragmentado (P80) en los frentes de trabajo; así como también el tipo de material, en la minera donde se realizó la investigación se presenta intrusivos dioríticos del paleoceno, las rocas del área pertenecen al grupo Calipuy, generalmente las rocas presentan una densidad de $1,69 \text{ t/m}^3$ y un $\text{RMR} = 50$ (Roca tipo III) es decir roca de calidad regular, del mismo modo la altura de banco, donde se opera con bancos de 8 metros de altura, esta dimensión es la que se más se adapta a las dimensiones del brazo de la excavadora CAT 374D L, en tal sentido este factor no fue considerado. Y finalmente la capacidad de los equipos de acarreo, la unidad labora con camiones Mercedes – Benz 4144

k con una capacidad de tolva de 20 m³, es decir alrededor de las 30 toneladas. Se tuvo en cuenta las voladuras realizadas en 3 bancos distintos donde se encontraba trabajando la excavadora (3196W, 3372W, 3248E) para esto se consideraron 7 voladuras de manera aleatoria realizadas entre los meses mayo y junio del año 2020, teniendo en cuenta 4 fotografías por voladura, donde se creyó conveniente utilizar el software WipFrag 2010 para establecer el indicador granulométrico P80. Luego de obtener el grado de fragmentación mediante el uso del software WipFrag, se pudo observar que los valores obtenidos se presentan en intervalos desde los 100 mm a 550 mm, en tal sentido este intervalo fue categorizado en tres grupos (Anexo 6). Se seleccionó el análisis de 3 voladuras representativas, esto debido a que encajan a la división propuesta (Voladura 6, voladura 3, voladura 2), gracias a esto se pudo obtener un análisis más representativo.

Voladura 6: Las fotografías obtenidas fueron analizadas para posteriormente obtener el tamaño de fragmento, estas imágenes pertenecen al banco 3196W, luego de dicho análisis se determinó que el tamaño de fragmento predominante es el pequeño (Anexo 7, Anexo 8 y Anexo 9).

Voladura 3: Las fotografías obtenidas fueron analizadas para posteriormente obtener el tamaño de fragmento, estas imágenes pertenecen al banco 3372W, luego de dicho análisis se determinó que el tamaño de fragmento predominante es el mediano (Anexo 10, Anexo 11 y Anexo 12).

Voladura 2: Las fotografías obtenidas fueron analizadas para posteriormente obtener el tamaño de fragmento, estas imágenes pertenecen al banco 3248E, luego de dicho análisis se determinó que el tamaño de fragmento predominante es el grande (Anexo 13, Anexo 14 y Anexo 15).

A partir del tamaño de fragmentación encontrado luego de las voladuras 6, 3 y 2, se logró determinar los rendimientos promedios de la Excavadora CAT 374D L; para ello se analizó y evaluó los diferentes factores que tienen incidencia directa en el rendimiento de la excavadora, con el propósito de evaluar el comportamiento que experimenta la excavadora cuando se opera con diferentes tamaños de fragmentos (Anexo 16, Anexo 17 y Anexo 18). Después de anotar los datos concernientes a los rendimientos de la excavadora CAT 374D L en los diferentes bancos según los intervalos de tamaño de fragmento (P80) obtenido mediante software, se procedió a analizar estos rendimientos con el propósito de determinar si existe una relación con el indicador granulométrico (P80) con el fin de encontrar una relación directa, inversamente proporcional o indiferente. Finalmente, para lograr establecer la relación entre el indicador granulométrico (P80) y el rendimiento de la excavadora CAT 374D L se construyeron tablas resumen (Anexo 20, 21 y 22) para observar el rendimiento promedio de la excavadora en relación al grado de fragmentación que carga en los diferentes bancos.

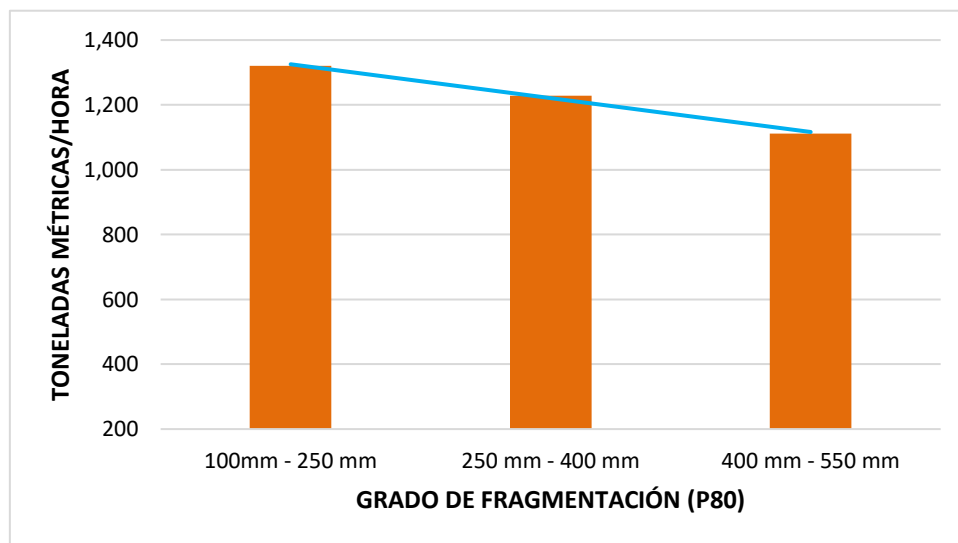
Para la elaboración del presente trabajo de investigación se consideraron diferentes aspectos éticos tales como: La práctica científica, valores de veracidad y justicia referente a la investigación, corroborando la originalidad y autenticidad del presente trabajo. Durante el desarrollo de toda la investigación se ha mantenido la práctica de todos los valores éticos antes mencionados.

CAPÍTULO III: RESULTADOS

Para obtener el rendimiento se usó la Ecuación 1 (ver Anexo 19) que relaciona: El número de camiones cargados/hora, capacidad de tolva (m³) y la densidad del material (t/m³) obteniéndose los valores que se presentan en el Anexo 20, todos los cálculos previos para determinar el rendimiento se muestran en el Anexo 19.

Figura 1

Rendimiento de la excavadora CAT 374D L según el tamaño de la fragmentación (P80).

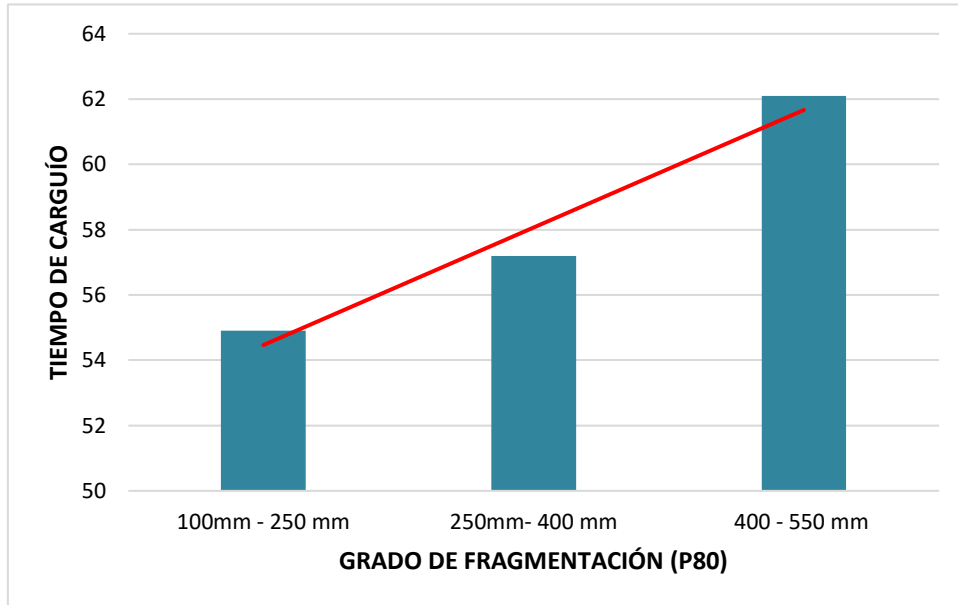


Nota. Muestra el rendimiento promedio de la excavadora CAT 374D L, cuando se trabaja con la granulometría de 100 mm a 250 mm. Fuente: Operaciones Mina (2020).

Para determinar como el indicador granulométrico se relaciona con factores tales como: tiempo de carguío, n° de viajes/hora, n° de pases/volquete y demoras (min/h), se elaboraron los siguientes gráficos a partir de los datos presentados en el Anexo 21.

Figura 2

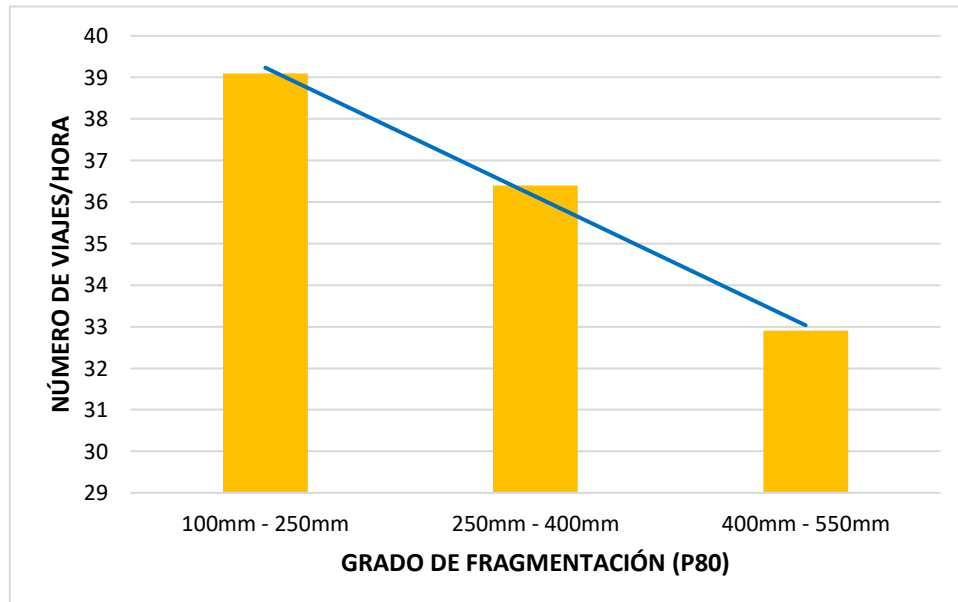
Indicador granulométrico en el tiempo de carguío.



Nota. Muestra el tiempo de carga promedio de la excavadora CAT 374D L. Fuente: Operaciones Mina (2020).

Figura 3

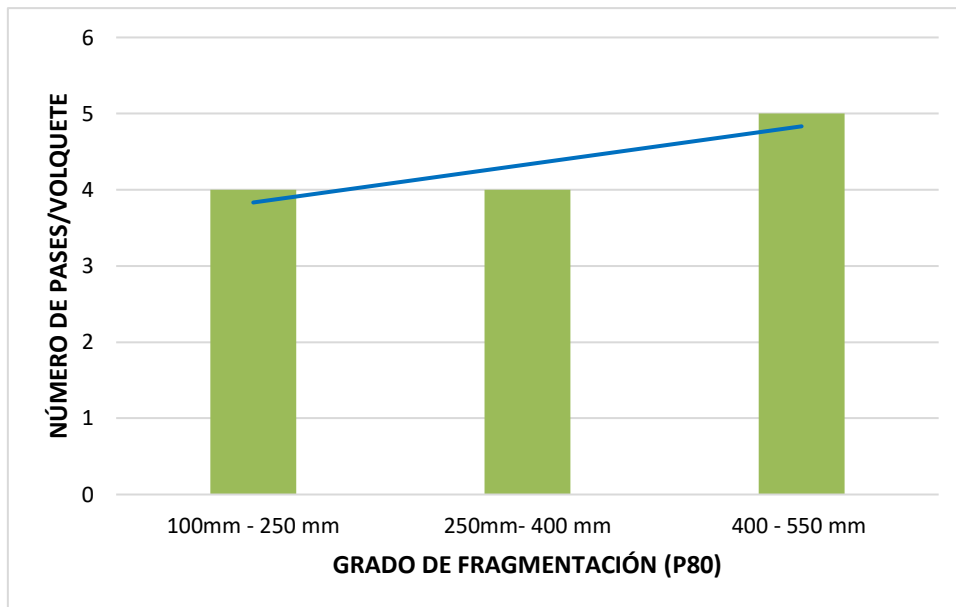
Indicador granulométrico en el número de viajes/hora.



Nota. Muestra el número promedio de viajes/hora de la excavadora CAT 374D L. Fuente: Operaciones Mina (2020).

Figura 4

Indicador granulométrico en el número de pases/volquete.

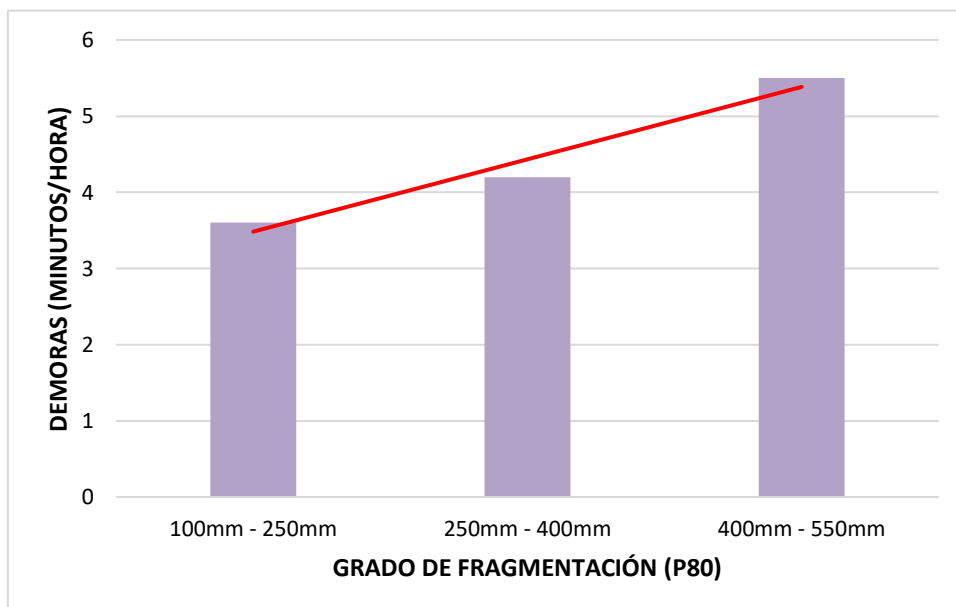


Nota. Muestra el número promedio de pases/volquete de la excavadora CAT 374D L.

Fuente: Operaciones Mina (2020).

Figura 5

Indicador granulométrico en las demoras operativas



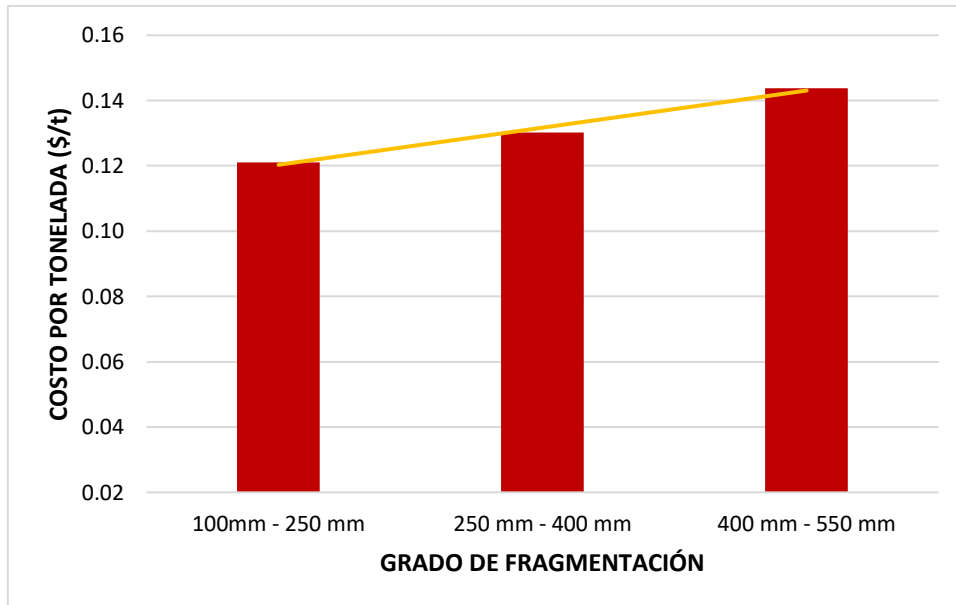
Nota. Muestra el número promedio de demoras que presenta la excavadora CAT 374D L.

Fuente: Operaciones Mina (2020).

Para analizar la variación del costo unitario (\$/t) en la etapa de carguío cuando se opera con diferente granulometría (fragmentación pequeña, mediana y grande) se elaboró el siguiente gráfico, a partir de los datos presentes en el Anexo 22.

Figura 6

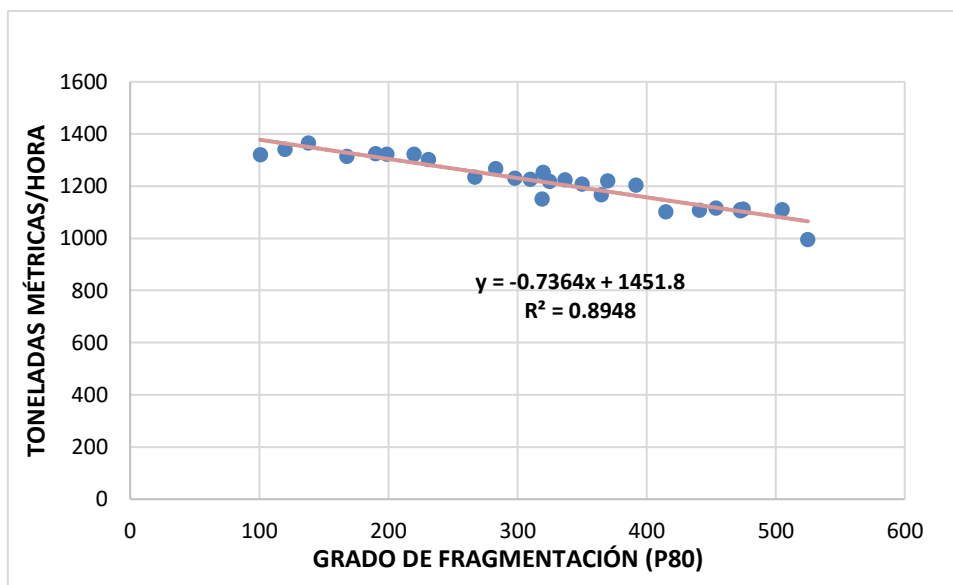
Costo Unitario de la excavadora CAT 374D L.



Nota. Muestra el costo unitario (\$/t) que presenta la excavadora CAT 374D L cuando se opera con diferentes tamaños de fragmentos. Fuente: Operaciones Mina (2020).

Figura 7

Diagrama de dispersión (Grado de fragmentación vs Rendimiento de la excavadora CAT 374D L)



Nota. Muestra la alta correlación negativa entre el grado de fragmentación (P80) y el rendimiento de la excavadora CAT 374D L (Anexo 23). Fuente: Operaciones Mina (2020).

Tabla 1

Prueba de hipótesis de correlación, mediante el estadístico de prueba r de Pearson

		Grado de fragmentación (P80)	Toneladas métricas
Grado de fragmentación (P80)	Correlación de Pearson	1	-,946**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	28	28
Toneladas métricas	Correlación de Pearson	-,946**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	28	28

****.** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Nota. Muestra los valores obtenidos al realizar la prueba de hipótesis empleando el software SPSS.

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La presente investigación busca determinar la relación entre el indicador granulométrico (P80) y el rendimiento de la Excavadora CAT 374D L cuando opera con diferentes tamaños de fragmentos (P80), en ese sentido se pretende obtener una mejora productiva, y reducción de costos en la etapa de carguío en la CIA. Minera Coimolache S.A.

El rendimiento promedio de la excavadora CAT 374D L durante el primer semestre del 2020 es de 969,8 t/h. Luego de la investigación se puede observar que este valor es el máximo cuando la excavadora opera con tamaños de fragmentos (P80) que se encuentran entre los 100 mm a 250 mm alcanzándose así los 1321,3 t/h. Esto quiere decir que cuando la excavadora opera con fragmentación pequeña, se alcanza el mayor rendimiento en la etapa de carguío. Es por eso que se aceptó la hipótesis de investigación al nivel de significancia de 0,01 donde la correlación entre el grado de fragmentación (P80) y el rendimiento de la excavadora CAT 374D L fue significativa, rechazándose así la hipótesis nula. Este resultado coincide con el estudio de Cruz (2018) donde el autor demostró que el mayor rendimiento que experimenta la excavadora Volvo EC750D se alcanza cuando el grado de fragmentación está entre los 100 mm a 300 mm, obteniéndose así un valor de 1170 t/h. De igual manera, el resultado antes mencionado presenta coincidencias con la investigación de Alcalde (2019) donde determinó que el rendimiento de los equipos de carguío aumentó 4,2 % cuando el P80 se encontraba entre los 177 mm a 228 mm. Un correcto monitoreo de este indicador mejoraría los procesos de operación mina, específicamente los de carguío y acarreo, sin embargo, se presentó como principal limitación que el tamaño del P80 no se puede generalizar para las diferentes empresas mineras, esto debido a que los factores mencionados en el estudio varían de acuerdo a la Operación Minera y los equipos que se emplean son distintos.

Al determinar como el indicador granulométrico se relaciona con factores tales como: tiempo de carguío, n° de viajes/h, n° pases/volquete y demoras/h, se encontró los siguientes valores: tiempo mínimo 54,9 s., viajes por hora máxima 39,1 viajes/h, pases por volquete mínimo 4 pases/volquete y demoras mínimas por hora 3,6 min/h, cuando se opera con tamaños de fragmento comprendidos entre los 100 mm a 250 mm.; por consiguiente, los factores mencionados anteriormente obtienen una mejora significativa cuando se trabaja con granulometría pequeña. Esto se puede corroborar con el estudio realizado por Cotrado (2017) donde se detalla que el tiempo de carguío de las palas Bucyrus 04 (42,8 m³) y 05 (45,9 m³) se ve directamente influenciado por la variación del grado de fragmentación (P80). Así mismo Cruz (2018) obtuvo un promedio de 39 viajes/h (máximo), 4 pases/volquete (mínimo) y 4,68 min/h (mínimo) en tiempo de demora, cuando la excavadora Volvo EC750 D opera con el menor tamaño de fragmento. También Asunción (2019) coincide con este resultado, debido a que en su estudio el rendimiento de la excavadora CAT 336 DL aumentó de 436,77 t/h a 522,83 t/h al reducir los tiempos improductivos en la etapa de carguío cuando se trabajó con la granulometría pequeña. Además esta idea se refuerza con el estudio de Campos y Valencia (2019) donde indicaron que al reducir la fragmentación hay una mejora en la etapa de carguío debido a la disminución del tiempo para el llenado de la tolva del camión; teniendo como limitación que para los factores antes mencionados no se consideró la habilidad de los operadores de la maquinaria de estudio, debido a que no es posible hacer una medida de ese factor de manera exacta, afectando al rendimiento de la excavadora en un cierto porcentaje.

Para analizar la variación del costo unitario en la etapa de carguío en función del indicador granulométrico del material volado, se logró encontrar que cuando la excavadora CAT 374D L trabaja con fragmentos comprendidos entre los 100 mm a 250 mm, el costo

unitario alcanza su mínimo valor (0,121 \$/t). Esto quiere decir que cuando se opera con la granulometría pequeña el costo unitario se ve reducido considerablemente, lo que representa una mejora para la empresa minera. Este resultado se puede corroborar con el estudio elaborado por Mamani (2019) donde establece que al obtener una buena fragmentación se disminuye los costos operativos, además con la investigación presentada por Cruz (2018) la misma que determina que el costo unitario de carguío se reduce en 16 % con un valor de 0,128 \$/t cuando el grado de fragmentación se encuentra entre los 100 mm a 300 mm. Esta idea se refuerza con el estudio de Huarocc (2014) donde las 3 Excavadoras Hidráulicas CAT 329, 320, 360; obtuvieron una disminución del costo unitario de carguío de 2 \$/t a 1,56 \$/t y una reducción del costo de transporte de 1,61 \$/t a 1,27 \$/t cuando se redujo la granulometría. Como se ha demostrado durante el desarrollo del presente estudio, al encontrar el grado de fragmentación adecuado con el que debe de operar el equipo de carguío, la empresa minera logró reducir significativamente los costos en las operaciones unitarias de carguío y acarreo.

Para comprobar la hipótesis, se usó el estadístico de prueba de correlación r de Pearson, donde se empleó el software SPSS dando como resultado una significancia de 0,000 siendo menor al nivel de significancia 0,01 frente a esto se rechazó la hipótesis nula, demostrándose que existe una relación significativa entre el indicador granulométrico (P80) y el rendimiento de la excavadora CAT 374D L.

Concluyéndose que la excavadora CAT 374D L se ve afectada en su rendimiento de manera directa cuando esta opera con un P80 comprendido entre los 100 mm a 250 mm, obteniéndose un incremento del 26,6 % en función del rendimiento promedio del primer semestre del 2020.

Se concluye que los principales factores tales como: tiempo de carguío, n° de viajes/h, N° pases/volquete y demoras, son afectados por el grado de fragmentación con el que opera la excavadora CAT 374D L (100 mm a 250 mm), esto ocurre siempre y cuando se trabaje con un P80 óptimo en relación al equipo de carguío que se emplee.

Cuando se opera con fragmentos comprendidos entre 100 mm a 250 mm, se analizó que el costo unitario de la etapa de carguío que presenta la excavadora CAT 374D L (\$/t) se ve reducido en un 19,8 % en comparación al costo unitario promedio del primer semestre del 2020.

Se comprobó la hipótesis mediante el estadístico de prueba de correlación r de Pearson, obteniendo un valor de significancia de 0,000 siendo este menor al nivel de significancia de 0,01 obteniéndose un 99% de confianza de que la correlación es verdadera y un 1% de probabilidad de error, por tanto se demostró la existencia de una alta relación entre rendimiento de la excavadora CAT 374D L y grado de fragmentación (P80), rechazándose la hipótesis nula.

Del mismo modo el trabajo desarrollado presentó implicancias positivas, ya que se puede aplicar tanto en minería superficial como en subterránea (pequeña, mediana y gran minería), debido que al trabajar con la granulometría correcta se conseguirá un mejor rendimiento en los equipos empleados y en los diferentes procesos de producción, fortaleciendo el reconocimiento de la empresa, tanto en el ámbito regional, nacional e internacional.

REFERENCIAS

- Alayo, G. (2017). *“Determinar el aumento en la productividad de la Excavadora CAT 374 DL al incrementar la altura de banco de 06 m a 08 m en el tajo Chalarina fase 1, Mina Tahoe Perú Shahuindo”*. (Tesis título universitario). Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Perú. Recuperado de:
<http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/9399/Alayo%20Zavaleta%20C%20Giancarlos.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Alcade, J. (2019). *“Emulsión gasificada en reemplazo de heavy anfo para reducir el P80 en la fragmentación e incrementar la productividad en carguío, acarreo y chancado en mina Shougang Hierro Perú”*. (Tesis título universitario). Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Perú. Recuperado de:
<https://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/15735>
- Ames, V. (2008). *Lara Tecnología de Explosivos*. Cuarta edición. Huancayo, Perú.
- Arévalo, L. & Hernández, C. (2014). *“Análisis comparativo de especificaciones técnicas y rendimiento en campo de maquinaria para extracción de tierra”* (Doctoral dissertation, Corporación Universitaria Minuto de Dios). Recuperado de:
<https://repository.uniminuto.edu/handle/10656/3448>
- Asunción, G. (2019). *“Incrementar el Rendimiento en las Excavadoras Cat 336DL Reduciendo los Tiempos Improductivos en mejora de la Producción de Relleno Masivo en Minera Tahoe Perú La Arena S.A.”*. (Tesis título universitario). Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Perú. Recuperado de:
<https://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/13397>

- Bernaola, A., Castilla, G., & Herrera, H. (2013). "Perforación y Voladura de Rocas en Minería". *Cátedra de Laboreo. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas, Universidad Politécnica de Madrid. España.*
- Cahuari, A. (2019). "Optimización del uso de los equipos de carguío y acarreo en minería superficial en la Compañía Minera Corporación del Centro Gold Mining S.A.C - Región la Libertad". (Tesis título universitario). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú. Recuperado de:
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/12152>
- Campos, C.; & Valencia (2019). "Aumento de la productividad de una operación minera a cielo abierto mediante la identificación y mejoras de factores que influyen en el ciclo de carguío y acarreo". (Tesis título universitario). Universidad Privada del Norte, Lima, Perú. Recuperado de:
<https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/23696/Campos%20Carrera%20C%20a%20Augusto%20-%20Valencia%20Mart%20adnez%20Jorge%20Ignacio.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Cotrado, R. (2017). "Efecto del Parámetro de Fragmentación P80 en la Velocidad de Excavación de las Palas Electro-Mecánicas en Mina Cuajone" (Tesis Título Universitario). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú. Recuperado de:
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/9014>
- Cruz, C. (2018). "Influencia del grado de fragmentación (P80) en el Rendimiento de la excavadora volvo EC750D en la unidad Isabelita de la Compañía Minera los Andes Perú Gold S.A.C". (Tesis título universitario). Universidad Nacional de

Trujillo, Trujillo, Perú. Recuperado de:

<http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/11055>

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 título universitario). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Perú. Recuperado el 18 de abril del 2020 de:

<http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/204>

Chuctaya, D.; & Larota, M. (2020). "*Optimización de Carguío y Transporte en tiempo real mediante el Software Jmineops en Minería Superficial – Caso de Estudio*". (Tesis título universitario). Universidad Tecnológica del Perú, Arequipa, Perú.

Recuperado de: <https://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/2816>

EXSA (2011). *Manual práctico de Voladura*. <https://www.exsa.net/es>

Huarocc, P. (2014). "*Optimización del carguío y acarreo de mineral mediante el uso de indicadores claves de desempeño U.M.Chuco II de la E.M. Upkar Mining S.A.C.*" (Tesis título Universitario). Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Perú. Recuperado de: <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/1337>

López, E. & García, P. (2003). *Manual de perforación y voladura de rocas*. España: Instituto Tecnológico Geominero.

Malpica, C. (2014). "*Evaluación de rendimientos de equipos en las operaciones de movimiento de tierras en el minado cerro negro Yanacocha – Cajamarca*". (Tesis título Universitario). Universidad Privada del Norte, Trujillo, Perú. Recuperado de: <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/6653>

Mamani, P. (2019). *“Optimización de la fragmentación y diseño de malla por alteración en perforación y voladura de U.E.A. Valeria - Anabi S.A.C.”* (Tesis título universitario). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú. Recuperado de:
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/11737>

Ñaupas, H.; Mejía, E.; Novoa, E y Villagómez, A. (2014). *Metodología de la Investigación Cuantitativa-Cualitativa y redacción de la tesis*. Bogotá, Colombia. Ediciones de la U.

Untol, W. (2017). *“Influencia del P80 en la recuperación de oro en el proceso de lixiviación en pads dinámicos mediante la optimización de los parámetros geométricos de perforación y voladura en taladros de producción en Compañía Minera San Simón”* (Tesis título universitario). Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Perú. Recuperado de:
<http://www.dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/9322/UNTOL%20CRUZ%20WILDER%20EDUARDO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de consistencia.

TÍTULO: INDICADOR GRANULOMÉTRICO (P80) EN EL RENDIMIENTO DE LA EXCAVADORA CAT 374D L DE UNA OPERACIÓN MINERA SUPERFICIAL DE LA REGION CAJAMARCA - 2020

PROBLEMA	HIPOTESIS	OBJETIVOS	VARIABLES	METODOLOGÍA	POBLACIÓN-MUESTRA
		GENERAL: Determinar la relación entre el indicador granulométrico (P80) y el rendimiento de la excavadora CAT 374D L de una operación minera superficial de La Región Cajamarca – 2020.	VARIABLE 1: Indicador granulométrico (P80)	Enfoque: Cuantitativo Tipo de investigación: Aplicada Según su nivel: Correlacional	POBLACIÓN Datos obtenidos del indicador granulométrico P80, de las voladuras realizadas en los bancos 3196W, 3372W, 3248E de una empresa minera superficial de la región Cajamarca.

¿Cuál es la relación entre el indicador granulométrico (P80) y el rendimiento de la excavadora CAT 374D L de una operación minera superficial de la Región Cajamarca – 2020?

ESPECÍFICOS:

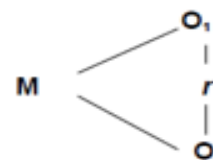
- Analizar los rendimientos del equipo de carguío a partir de la variación en el tamaño del indicador granulométrico (P80)
- Determinar como el indicador granulométrico se relaciona con factores tales como: tiempo de carguío, número de viajes, pases y demoras/hora.
- Analizar la variación de los costos en la etapa de carguío en función del indicador granulométrico del material volado.
- Comprobar la hipótesis mediante el estadístico de prueba r de Pearson.

VARIABLE 2:

Rendimiento de la excavadora CAT 374D L

Diseño:

No experimental



Técnicas:

- Análisis documental
- Observación

Instrumentos:

- Guía de análisis documental
- Libreta de campo

Método de análisis de datos:

Tablas de frecuencia, gráficos de Excel

MUESTRA

La selección de muestra fue de tipo al azar, tomando 7 voladuras de manera aleatoria durante los meses de mayo-junio del 2020

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 2: Matriz de operacionalización de variables.

TÍTULO: INDICADOR GRANULOMÉTRICO (P80) EN EL RENDIMIENTO DE LA EXCAVADORA CAT 374D L DE UNA OPERACIÓN MINERA SUPERFICIAL DE LA REGION CAJAMARCA - 2020

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
VARIABLE 1: Indicador granulométrico (P80)	El indicador granulométrico es aquel que muestra si un material volado contiene fragmentación gruesa o fina. Este indicador se obtiene del análisis de la curva de distribución granulométrica y hace referencia al 80% de la totalidad de fragmentos pasantes, es decir son aquellos fragmentos más pequeños a dicho tamaño. (Untol, 2017)	Para conseguir la medición de esta variable se consideró la fragmentación P80 del material volado, los parámetros operativos y parámetros geométricos del banco.	Fragmentación.	P80	Razón
				Software para fragmentación.	Razón
			Parámetros Operativos.	Perforación	Nominal
				Voladura	Nominal
			Parámetros Geométricos de banco.	Burden	Razón
				Espaciamiento	Razón
	Altura de Banco	Razón			
				Sobre perforación	Razón

VARIABLE 2: Rendimiento de la excavadora CAT 374D L	El rendimiento de un equipo de carguío es aquel que busca conseguir una mayor cantidad de toneladas cargadas en un tiempo determinado, las maquinarias siempre buscan operar al 100%, sin embargo, en la vida real no ocurre esto ya que existen diversas interrupciones que dificultan lograr el rendimiento teórico. (Cruz, 2018).	Para alcanzar la medición de esta variable se consideró primordialmente la velocidad de excavación y su monitoreo, los factores que afectan el rendimiento de las excavadoras, el rendimiento de un equipo de carguío y finalmente la variación de los costos unitarios.	Velocidad de excavación.	de	Tiempo de carguío	Intervalo
			Factores que afectan el rendimiento		Tipo de material	Ordinal
					Condiciones Climáticas	Ordinal
					Condiciones Operativas	Nominal
					Ángulo de giro	Intervalo
					Habilidad del Operador	Ordinal
					Capacidad del Equipo de Acarreo	Razón
			Rendimiento de un equipo.		Rendimiento	Razón
			Costos en la etapa de carguío.		Costo Unitario.	Razón

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 3: Instrumento de recolección de datos.
LIBRETA DE CAMPO
VARIABLE 1: Indicador Granulométrico (P80)

- **Fotos del material volado en tres bancos diferentes, para la obtención de la granulometría (P80) empleando el software WipFrag:**

EN EL BANCO 1	
Foto 1:	Foto 3:
Foto 2:	Foto 4:
Descripción de foto	Descripción de foto
EN EL BANCO 2	
Foto 1:	Foto 3:
Foto 2:	Foto 4:
Descripción de foto	Descripción de foto
EN EL BANCO 3	
Foto 1:	Foto 3:
Foto 2:	Foto 4:
Descripción de foto	Descripción de foto

- **Parámetros Operativos:**
 - **Parámetros de Perforación:**

PARÁMETROS	Medida	Unidad
Longitud de Taladro		
Diámetro de taladro		
Densidad de roca		
Inclinación de perforación		

- **Parámetros de voladura:**

PARÁMETROS	Medida	Unidad
Altura del Banco		
Diámetro del Taladro		
Burden		

Espaciamiento		
Densidad del explosivo		
Sobre Perforación		
Factor de potencia		
Factor de carga		
Iniciador		
Taco		
Longitud de carga		
VOD		
Tipo de Explosivo		

VARIABLE 2: Rendimiento de la excavadora CAT 374D L

- **Tipo de equipo de carguío:**
- **Factores que afectan el rendimiento del equipo de carguío:**
 - **Tipo de Material:**
 - ✓ **Tipo de roca:**
 - ✓ **Densidad (t/m³):**
 - ✓ **Clasificación geomecánica (RMR):**
 - **Condiciones climáticas:**
 - **Número de Operadores de los equipos de carguío:**
 - **Capacidad de las unidades de acarreo (m³):**
- **Rendimiento del equipo de carguío:**

MES	EQUIPO DE CARGUÍO	HORAS TRABAJADAS	COSTO DEL EQUIPO (\$)	TOTAL DE VIAJES	TONELAJE METRICO MENSUAL	META
Enero						
Febrero						
Marzo						
Abril						
Mayo						
Junio						

- **Rendimiento del equipo de carguío en los diferentes bancos:**
 - **Banco 1:**

COD. EQUIPO	HORAS DE TRABAJO	TIEMPO DE CARGUÍO (SEG)	Nº DE VIAJES POR HORA	Nº DE PASES POR VOLQUETE	RENDIMIENTO (t/h)	DEMORAS (MIN/HR)

• **Banco 2:**

COD. EQUIPO	HORAS DE TRABAJO	TIEMPO DE CARGUÍO (SEG)	Nº DE VIAJES POR HORA	Nº DE PASES POR VOLQUETE	RENDIMIENTO (t/h)	DEMORAS (MIN/HR)


• **Banco 3:**

COD. EQUIPO	HORAS DE TRABAJO	TIEMPO DE CARGUÍO (SEG)	Nº DE VIAJES POR HORA	Nº DE PASES POR VOLQUETE	RENDIMIENTO (t/h)	DEMORAS (MIN/HR)

INFORME DE OPINIÓN DE EXPERTOS DE INSTRUMENTO DE MEDICIÓN

I. DATOS GENERALES:

- 1.1. **Apellidos y nombres del validador:** *Vilca Peiza Juan Gabriel*
- 1.2. **Grado Académico:** *Magister*
- 1.3. **Institución donde labora:** *UPN*
- 1.4. **Especialidad del validador:** *Ingeniero de Minas*
- 1.5. **Título de la investigación:** "Indicador granulométrico (P80) en el rendimiento de la excavadora CAT 374D L de una operación minera superficial de la región Cajamarca - 2020"
- 1.6. **Nombre del Instrumento:** Libreta de Campo.
VARIABLE 1: Indicador granulométrico (P80)
VARIABLE 2: Rendimiento de la excavadora CAT 374D L
- 1.7. **Autores del Instrumento:** Cruchaga Cruz, Martín Benito
Roncal Rios, Smiker

MATRIZ DE EVALUACIÓN DE EXPERTOS				
Título de la investigación:	"Indicador granulométrico (P80) en el rendimiento de la excavadora CAT 374D L de una operación minera superficial de la región Cajamarca - 2020"			
Línea de investigación:	Nuevas tecnologías			
El instrumento de medición pertenece a la variable:	V1- Indicador granulométrico (P80) V2- Rendimiento de la excavadora CAT374DL			
Mediante la matriz de evaluación de expertos, Ud. tiene la facultad de evaluar cada una de las preguntas marcando con una "x" en las columnas de SI o NO. Asimismo, le exhortamos en la corrección de los ítems, indicando sus observaciones y/o sugerencias, con la finalidad de mejorar la coherencia de las preguntas sobre la variable en estudio.				
Items	Preguntas	Aprecia		Observaciones
		SÍ	NO	
1	¿El instrumento de medición presenta el diseño adecuado?	X		
2	¿El instrumento de recolección de datos tiene relación con el título de la investigación?	X		
3	¿En el instrumento de recolección de datos se mencionan las variables de investigación?	X		
4	¿El instrumento de recolección de datos facilitará el logro de los objetivos de la investigación?	X		
5	¿El instrumento de recolección de datos se relaciona con las variables de estudio?	X		
6	¿La redacción de las preguntas tienen un sentido coherente y no están sesgadas?	X		
7	¿Cada una de las preguntas del instrumento de medición se relaciona con cada uno de los elementos de los indicadores?	X		
8	¿El diseño del instrumento de medición facilitará el análisis y procesamiento de datos?	X		
9	¿Son entendibles las alternativas de respuesta del instrumento de medición?	X		
10	¿El instrumento de medición será accesible a la población sujeto de estudio?	X		
11	¿El instrumento de medición es claro, preciso y sencillo de responder para, de esta manera, obtener los datos requeridos?	X		
Sugerencias:				
Nombre completo: Jesús G. Vica Pérez DNI: 41779520 Profesión: Ing. de Minas Grado: Magister		 Jesús Gabriel Vica Pérez ING. DE MINAS R. CIP. N° 189681 Firma del Experto		

III. PROMEDIO DE VALORACIÓN: OPINIÓN DE APLICABILIDAD:

- (X) El instrumento puede ser aplicado, tal como está elaborado.
 () El instrumento debe ser mejorado antes de ser aplicado.

DNI. N°: 41779520
 N° CIP: 189681
 Teléfono N°: 975459036

Universidad Privada del Norte 31/08/2020


 Jesús Gabriel Vica Pérez
 ING. DE MINAS
 R. CIP. N° 189681

INFORME DE OPINIÓN DE EXPERTOS DE INSTRUMENTO DE MEDICIÓN

I. DATOS GENERALES:

- 1.1. **Apellidos y nombres del validador:** Cruz Bermudez, Cristian Daniel
- 1.2. **Grado Académico:** Licenciado
- 1.3. **Institución donde labora:** Coimolache
- 1.4. **Especialidad del validador:** Ingeniería de Minas
- 1.5. **Título de la investigación:** "Indicador granulométrico (P80) en el rendimiento de la excavadora CAT 374D L de una operación minera superficial de la región Cajamarca - 2020"
- 1.6. **Nombre del Instrumento:** Libreta de Campo.
VARIABLE 1: Indicador granulométrico (P80)
VARIABLE 2: Rendimiento de la excavadora CAT 374D L
- 1.7. **Autores del Instrumento:** Cruchaga Cruz, Martín Benito
Roncal Rios, Smiker

MATRIZ DE EVALUACIÓN DE EXPERTOS				
Título de la investigación:	"Indicador granulométrico (P80) en el rendimiento de la excavadora CAT 374D L de una operación minera superficial de la región Cajamarca - 2020"			
Línea de investigación:	Nuevas tecnologías			
El instrumento de medición pertenece a la variable:	V1- Indicador granulométrico (P80) V2- Rendimiento de la excavadora CAT374DL			
Mediante la matriz de evaluación de expertos, Ud. tiene la facultad de evaluar cada una de las preguntas marcando con una "x" en las columnas de SI o NO. Asimismo, le exhortamos en la corrección de los items, indicando sus observaciones y/o sugerencias, con la finalidad de mejorar la coherencia de las preguntas sobre la variable en estudio.				
Items	Preguntas	Aprecia		Observaciones
		SI	NO	
1	¿El instrumento de medición presenta el diseño adecuado?	X		
2	¿El instrumento de recolección de datos tiene relación con el título de la investigación?	X		
3	¿En el instrumento de recolección de datos se mencionan las variables de investigación?	X		
4	¿El instrumento de recolección de datos facilitará el logro de los objetivos de la investigación?	X		
5	¿El instrumento de recolección de datos se relaciona con las variables de estudio?	X		
6	¿La redacción de las preguntas tienen un sentido coherente y no están sesgadas?	X		
7	¿Cada una de las preguntas del instrumento de medición se relaciona con cada uno de los elementos de los indicadores?	X		
8	¿El diseño del instrumento de medición facilitará el análisis y procesamiento de datos?	X		
9	¿Son entendibles las alternativas de respuesta del instrumento de medición?	X		
10	¿El instrumento de medición será accesible a la población sujeto de estudio?	X		
11	¿El instrumento de medición es claro, preciso y sencillo de responder para, de esta manera, obtener los datos requeridos?	X		
Sugerencias:				
Nombre completo: Cruz Bermudez, Cristian Daniel DNI: 70341081 Profesión: Ingeniero de Minas Grado: Superior		 Firma del Experto Cristian Daniel Cruz Bermúdez ING. DE MINAS R. CIP. N° 222208		

III. PROMEDIO DE VALORACIÓN: OPINIÓN DE APLICABILIDAD:

(X) El instrumento puede ser aplicado, tal como está elaborado.

() El instrumento debe ser mejorado antes de ser aplicado.

Universidad Privada del Norte 19/09/2020

DNI. N°: 70341081

N° CIP: 222208

Teléfono N°: 944469922




Cristian Daniel Cruz Bermúdez
ING. DE MINAS
R. CIP. N° 222208

INFORME DE OPINIÓN DE EXPERTOS DE INSTRUMENTO DE MEDICIÓN

I. DATOS GENERALES:

- 1.1. **Apellidos y nombres del validador:** Méndez Rios, Fanny
- 1.2. **Grado Académico:** Licenciado
- 1.3. **Institución donde labora:** Gobierno Regional – La Libertad
- 1.4. **Especialidad del validador:** Ingeniería Civil
- 1.5. **Título de la investigación:** "Indicador granulométrico (P80) en el rendimiento de la excavadora CAT 374D L de una operación minera superficial de la región Cajamarca - 2020"
- 1.6. **Nombre del Instrumento:** Libreta de Campo.
VARIABLE 1: Indicador granulométrico (P80)
VARIABLE 2: Rendimiento de la excavadora CAT 374D L
- 1.7. **Autores del Instrumento:** Cruchaga Cruz, Martín Benito
Roncal Rios, Smiker

MATRIZ DE EVALUACIÓN DE EXPERTOS				
Título de la investigación:	"Indicador granulométrico (P80) en el rendimiento de la excavadora CAT 374D L de una operación minera superficial de la región Cajamarca - 2020"			
Línea de investigación:	Nuevas tecnologías			
El instrumento de medición pertenece a la variable:	V1- Indicador granulométrico (P80) V2- Rendimiento de la excavadora CAT374DL			
Mediante la matriz de evaluación de expertos, Ud. tiene la facultad de evaluar cada una de las preguntas marcando con una "x" en las columnas de SI o NO. Asimismo, le exhortamos en la corrección de los ítems, indicando sus observaciones y/o sugerencias, con la finalidad de mejorar la coherencia de las preguntas sobre la variable en estudio.				
Items	Preguntas	Aprecia		Observaciones
		SÍ	NO	
1	¿El instrumento de medición presenta el diseño adecuado?	X		
2	¿El instrumento de recolección de datos tiene relación con el título de la investigación?	X		
3	¿En el instrumento de recolección de datos se mencionan las variables de investigación?	X		
4	¿El instrumento de recolección de datos facilitará el logro de los objetivos de la investigación?	X		
5	¿El instrumento de recolección de datos se relaciona con las variables de estudio?	X		
6	¿La redacción de las preguntas tienen un sentido coherente y no están sesgadas?	X		
7	¿Cada una de las preguntas del instrumento de medición se relaciona con cada uno de los elementos de los indicadores?	X		
8	¿El diseño del instrumento de medición facilitará el análisis y procesamiento de datos?	X		
9	¿Son entendibles las alternativas de respuesta del instrumento de medición?	X		
10	¿El instrumento de medición será accesible a la población sujeto de estudio?	X		
11	¿El instrumento de medición es claro, preciso y sencillo de responder para, de esta manera, obtener los datos requeridos?	X		
Sugerencias:				
<p>Nombre completo: Méndez Ríos, Fanny DNI: 41608893 Profesión: Ingeniero Civil Grado: Superior</p> <div style="text-align: right;">  Fanny Méndez Ríos <small>INGENIERA CIVIL CIP 146979</small> </div>				

III. PROMEDIO DE VALORACIÓN: OPINIÓN DE APLICABILIDAD:

(X) El instrumento puede ser aplicado, tal como está elaborado.

() El instrumento debe ser mejorado antes de ser aplicado.

Universidad Privada del Norte 20/09/2020

DNI. N°: 41608893

N° CIP: 146979

Teléfono N°: 968260500



Fanny Méndez Ríos
INGENIERA CIVIL
CIP 146979

INFORME DE OPINIÓN DE EXPERTOS DE INSTRUMENTO DE MEDICIÓN

I. DATOS GENERALES:

- 1.1. Apellidos y nombres del validador:** Mayta Rodas Ronald Smith
- 1.2. Grado Académico:** M. Sc. Hidrogeología
- 1.3. Institución donde labora:** UPN - Cajamarca
- 1.4. Especialidad del validador:** Hidrogeología
- 1.5. Título de la investigación:** "Indicador granulométrico (P80) en el rendimiento de la excavadora CAT 374D L de una operación minera superficial de la región Cajamarca - 2020"
- 1.6. Nombre del Instrumento:** Libreta de Campo.
VARIABLE 1: Indicador granulométrico (P80)
VARIABLE 2: Rendimiento de la excavadora CAT 374D L
- 1.7. Autores del Instrumento:** Cruchaga Cruz, Martín Benito
Roncal Ríos, Smiker

MATRIZ DE EVALUACIÓN DE EXPERTOS				
Título de la investigación:	"Indicador granulométrico (P80) en el rendimiento de la excavadora CAT 374D L de una operación minera superficial de la región Cajamarca - 2020"			
Línea de investigación:	Nuevas tecnologías			
El instrumento de medición pertenece a la variable:	V1- Indicador granulométrico (P80) V2- Rendimiento de la excavadora CAT374DL			
Mediante la matriz de evaluación de expertos, Ud. tiene la facultad de evaluar cada una de las preguntas marcando con una "x" en las columnas de SI o NO. Asimismo, le exhortamos en la corrección de los ítems, indicando sus observaciones y/o sugerencias, con la finalidad de mejorar la coherencia de las preguntas sobre la variable en estudio.				
Items	Preguntas	Aprecia		Observaciones
		SI	NO	
1	¿El instrumento de medición presenta el diseño adecuado?	X		
2	¿El instrumento de recolección de datos tiene relación con el título de la investigación?	X		
3	¿En el instrumento de recolección de datos se mencionan las variables de investigación?	X		
4	¿El instrumento de recolección de datos facilitará el logro de los objetivos de la investigación?	X		
5	¿El instrumento de recolección de datos se relaciona con las variables de estudio?	X		
6	¿La redacción de las preguntas tienen un sentido coherente y no están sesgadas?	X		
7	¿Cada una de las preguntas del instrumento de medición se relaciona con cada uno de los elementos de los indicadores?	X		
8	¿El diseño del instrumento de medición facilitará el análisis y procesamiento de datos?	X		
9	¿Son entendibles las alternativas de respuesta del instrumento de medición?	X		
10	¿El instrumento de medición será accesible a la población sujeto de estudio?	X		
11	¿El instrumento de medición es claro, preciso y sencillo de responder para, de esta manera, obtener los datos requeridos?	X		
Sugerencias:				
 _____ Firma del Experto				
Nombre completo: Ronald Smith Mayta Rodas DNI: 42319154 Profesión: Ing. Geólogo Grado: M. Sc. Hidrogeología				

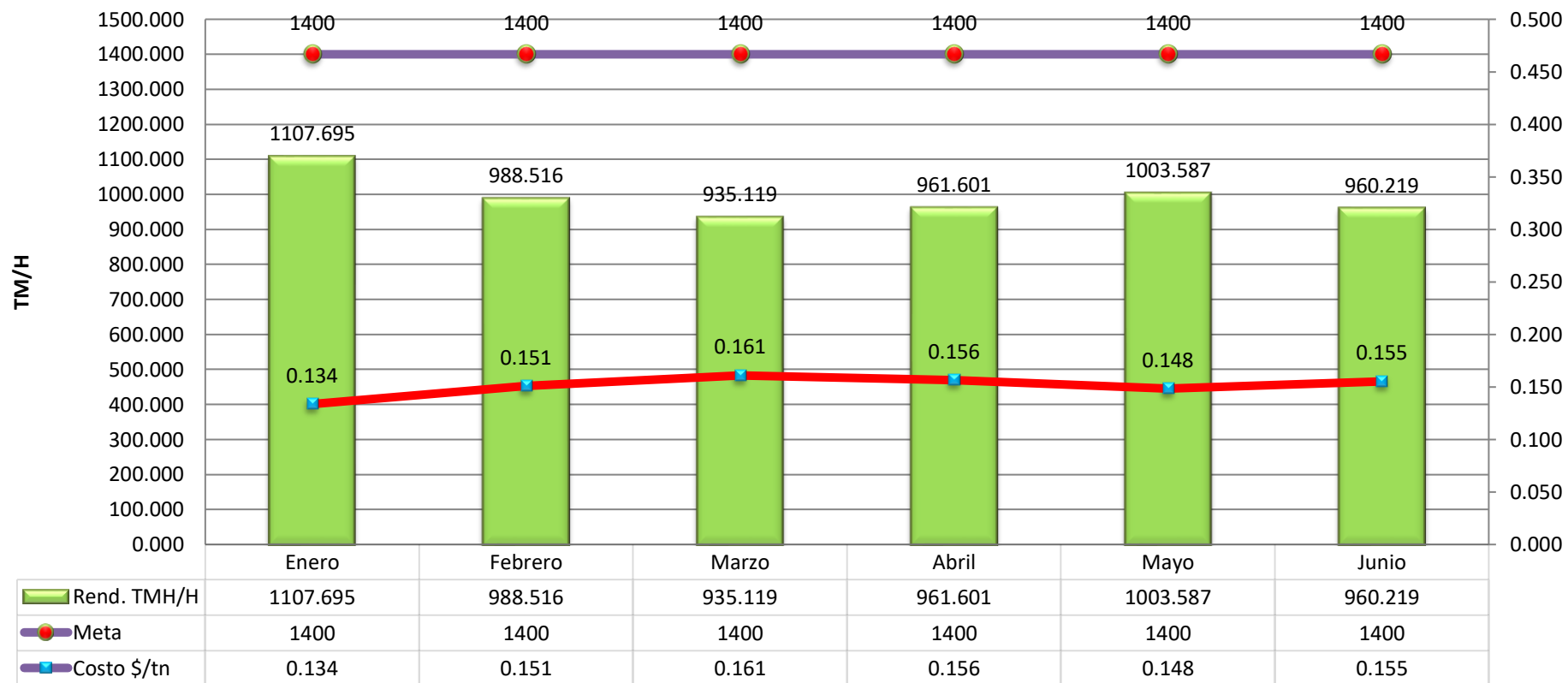
III. PROMEDIO DE VALORACIÓN: OPINIÓN DE APLICABILIDAD:	
<input checked="" type="checkbox"/> (X) El instrumento puede ser aplicado, tal como está elaborado.	
<input type="checkbox"/> () El instrumento debe ser mejorado antes de ser aplicado.	
Universidad Privada del Norte 20/09/2020	
DNI. N°: 42319154 N° CIP: 129860 Teléfono N°: 985578053	
	

Anexo 4: Rendimiento de la excavadora 374 DL durante los meses Enero – Junio.

Mes	TipoEquipo	Equ. de Car.	H.Trabajadas	Costo Equipo (\$)	Total Viajes	t/m ³ mes.	Viajes/h	Ren. t/h	C. U. \$/tn	Meta
Enero	Excavadora	374D L	149,290	22106,638	6059,00	165368,00	40,59	1107,695	0,134	1400
Febrero	Excavadora	374D L	371,085	55375,285	13237,00	366823,00	35,67	988,516	0,151	1400
Marzo	Excavadora	374D L	543,783	81830,706	17787,00	508502,00	32,71	935,119	0,161	1400
Abril	Excavadora	374D L	572,374	86116,171	18374,00	550395,00	32,10	961,601	0,156	1400
Mayo	Excavadora	374D L	463,554	69045,226	15518,00	465217,00	33,48	1003,587	0,148	1400
Junio	Excavadora	374D L	281,575	41969,107	9021,00	270374,00	32,04	960,219	0,155	1400

Nota. Datos proporcionados por Control de Equipos de la compañía minera de la región Cajamarca. Fuente: Los autores (2020).

Anexo 5: Rendimiento de la excavadora CAT 374 DL.



Nota. El Anexo 5 muestra el rendimiento esperado con el ejecutado de la excavadora CAT 374 DL durante el primer medio año 2020. Fuente: Operaciones Mina (2020).

Anexo 6: Intervalos del tamaño de fragmento.

Dimensiones del Fragmento Volado		
Pequeño	Mediano	Grande
(100 mm a 250 mm)	(250 mm a 400 mm)	(400 mm a 550 mm)
Voladura 6	Voladura 3	Voladura 2

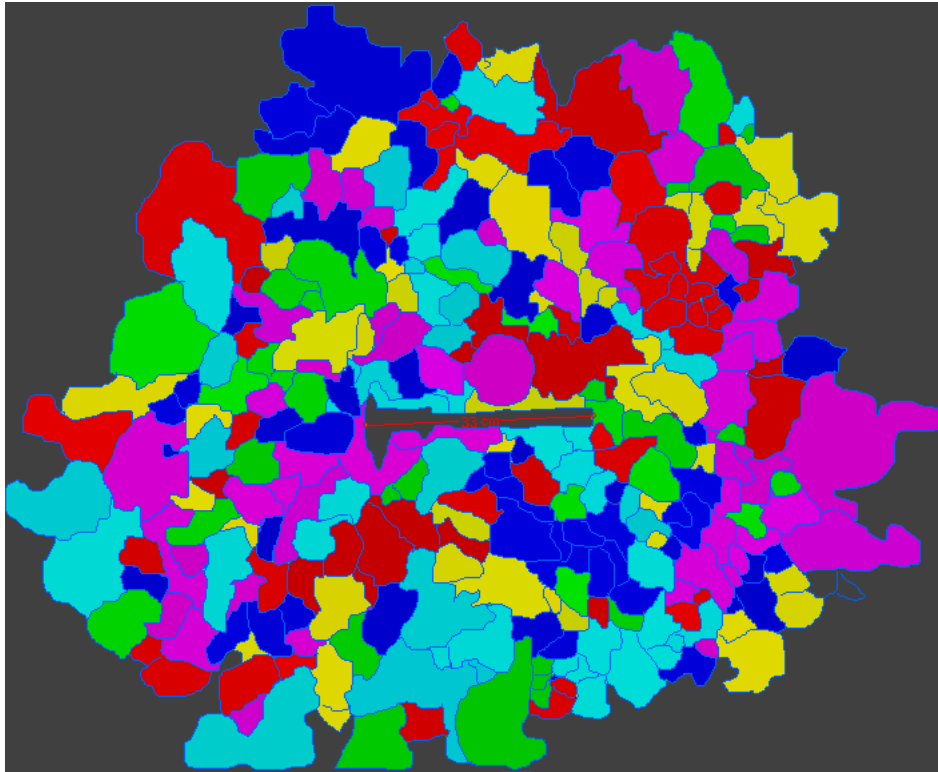
Nota. Datos analizados en el software WipFrag 2010. Fuente: Los autores (2020).

Anexo 7: Fotografías pertenecientes a la voladura 6.



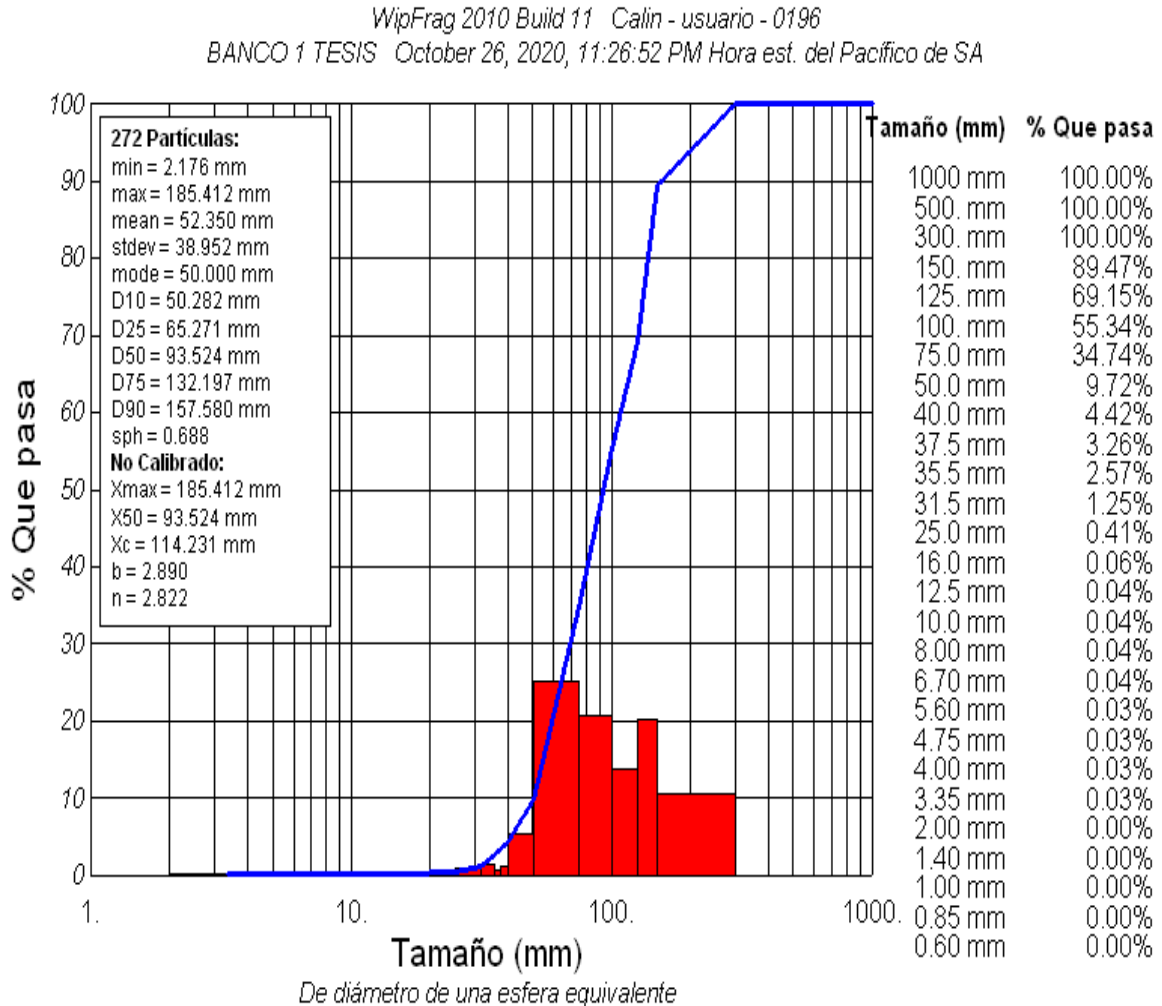
Nota. El Anexo 7 muestra los tamaños de fragmento obtenidos luego de realizar la voladura 6 en el banco 3196W. Fuente: Los autores (2020).

Anexo 8: Edición Manual en el Software WipFrag de la voladura 6.



Nota. El Anexo 8 muestra el mallado manual para determinar el P80 de la voladura 6 a partir de un objeto de dimensiones conocidas (regla de 33 cm). Fuente: Los autores (2020).

Anexo 9: Curva Granulométrica de la voladura 6.



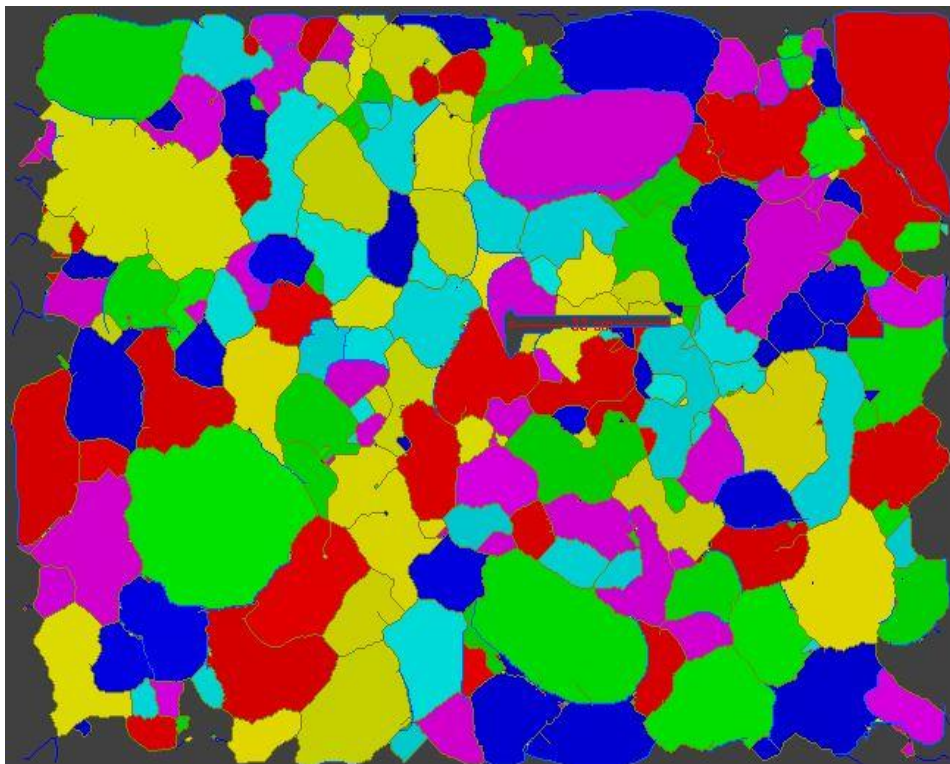
Nota. El Anexo 9 muestra los valores del tamaño de fragmento, donde se analiza los intervalos del P80 obtenidos en la voladura 6. Fuente: Los autores (2020).

Anexo 10: *Fotografías pertenecientes a la voladura 3.*



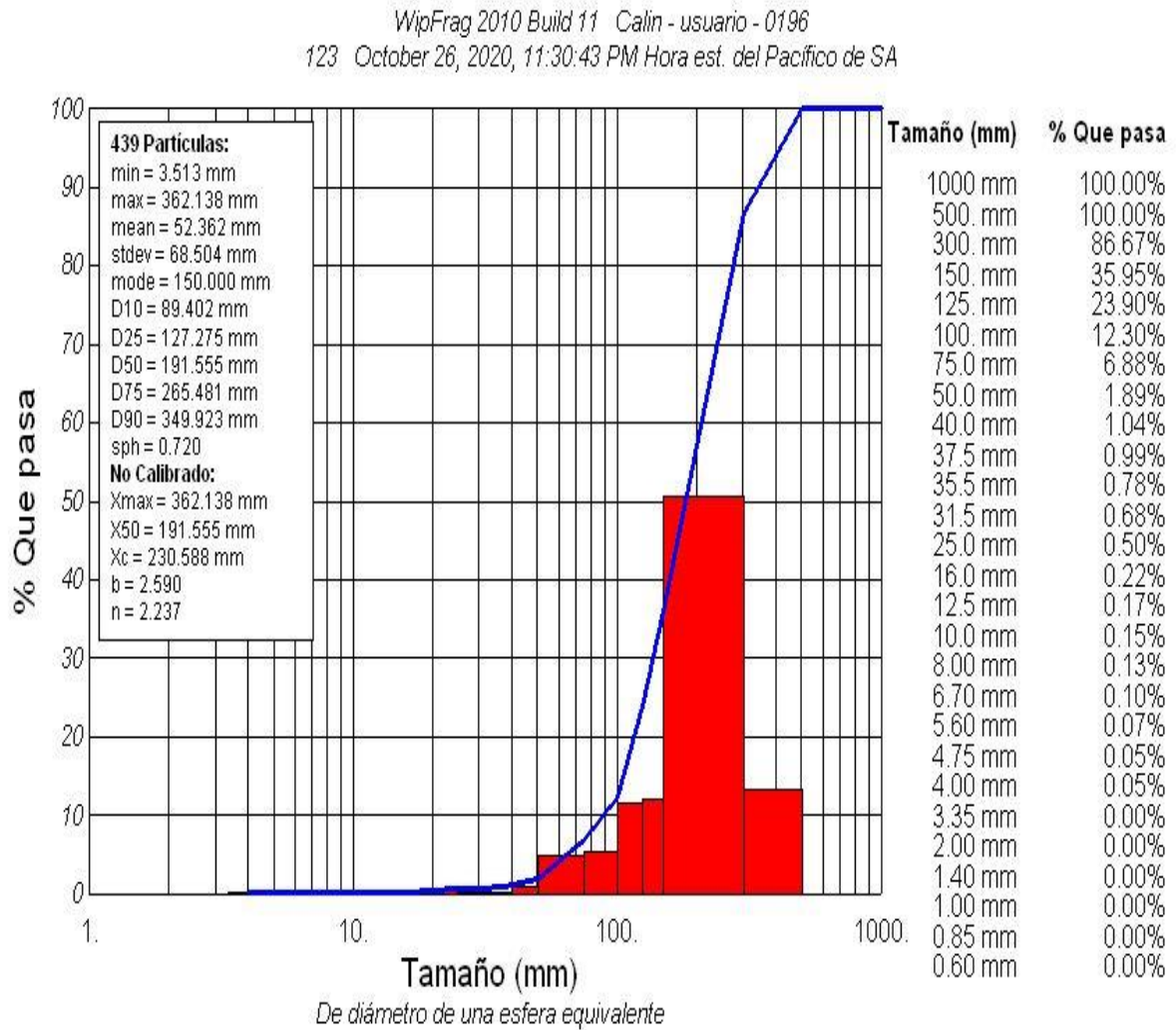
Nota. El Anexo 10 muestra los tamaños de fragmento obtenidos luego de realizar la voladura 3 en el banco 3372W. Fuente: Los autores (2020).

Anexo 11: *Edición Manual en el Software WipFrag de la voladura 3.*



Nota. El Anexo 11 muestra el mallado manual para determinar el P80 de la voladura 3 a partir de un objeto de dimensiones conocidas (regla de 33 cm) . Fuente: Los autores (2020).

Anexo 12: Curva Granulométrica de la voladura 3.



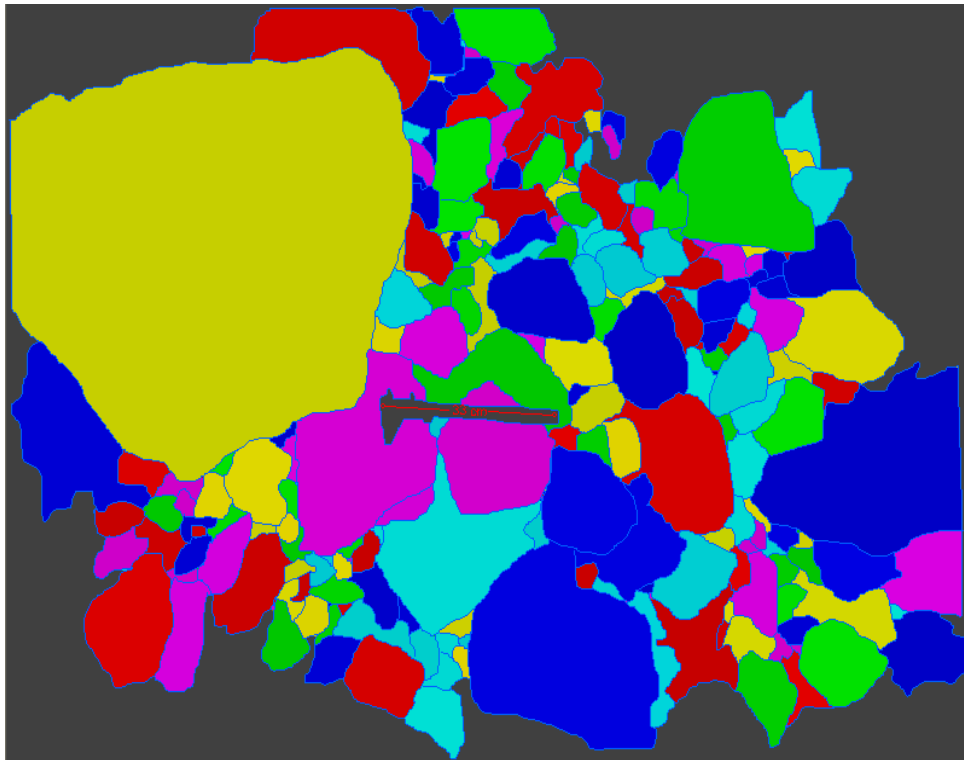
Nota. El Anexo 12 muestra los valores del tamaño de fragmento, donde se analiza los intervalos del P80 obtenidos en la voladura 3. Fuente: Los autores (2020).

Anexo 13: *Fotografías pertenecientes a la voladura 2.*



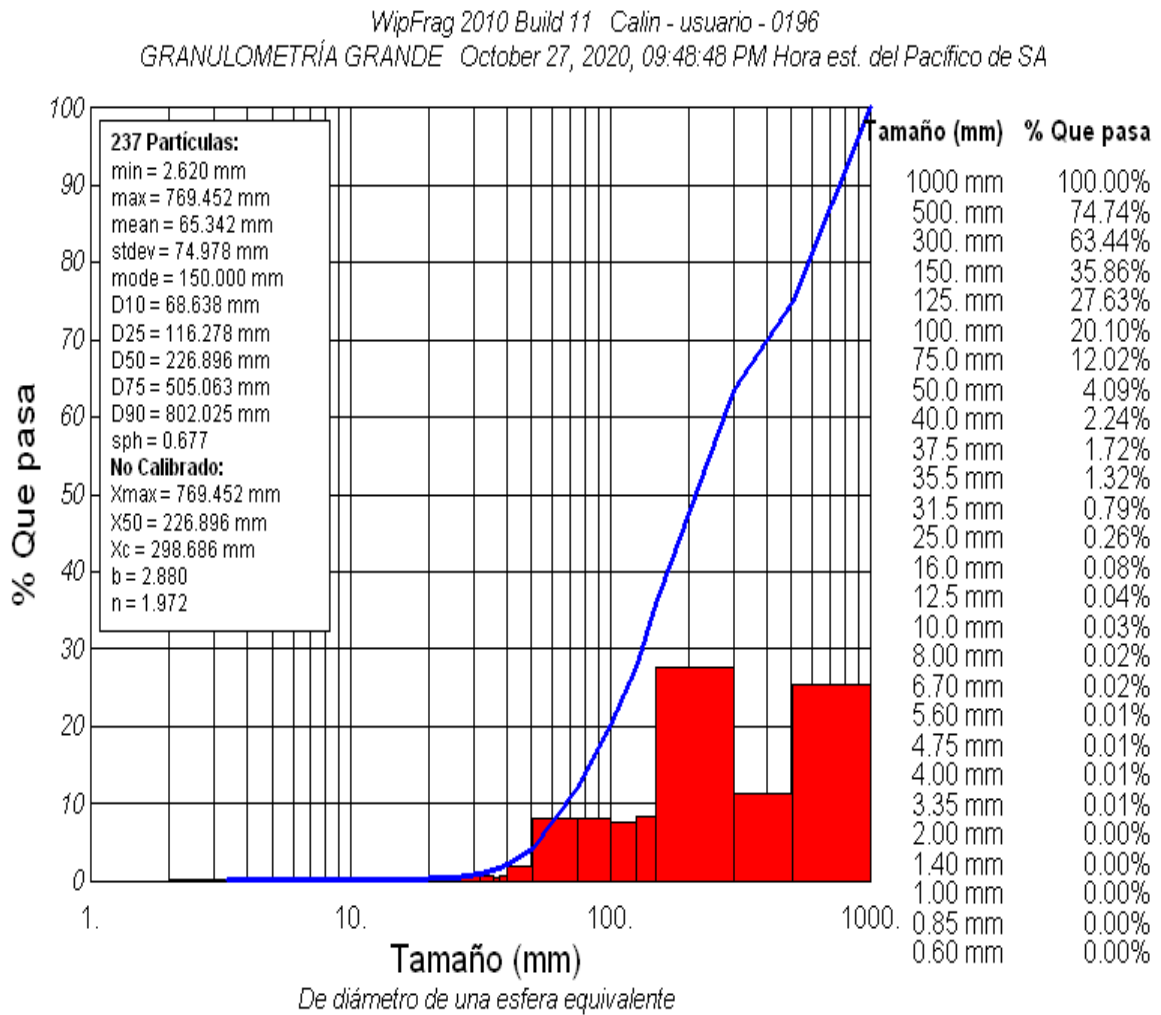
Nota. El Anexo 13 muestra los tamaños de fragmento obtenidos luego de realizar la voladura 2 en el banco 3248E. Fuente: Los autores (2020).

Anexo 14: *Edición Manual en el Software WipFrag de la voladura 2.*



Nota. El Anexo 14 muestra el mallado manual para determinar el P80 de la voladura 2 a partir de un objeto de dimensiones conocidas (regla de 33 cm) . Fuente: Los autores (2020).

Anexo 15: Curva Granulométrica de la voladura 2.



Nota. El Anexo 15 muestra los valores del tamaño de fragmento, donde se analiza los intervalos del P80 obtenidos en la voladura 2. Fuente: Los autores (2020).

Anexo 16: *Rendimiento promedio de la excavadora CAT 374 DL en la voladura 6.*

COD. EQUIPO	HORAS DE TRABAJO	TIEMPO DE CARGUÍO (s)	N° DE VIAJES /h	N° PASES/ VOLQUETE	RENDIMIENTO (t/h)	DEMORAS (min/h)
CAT 374DL	6:30 - 7:30 a.m	53	38	4	1284,4	4,8
CAT 374DL	7:30 - 8:30 a.m	55	39	4	1318,2	3,3
CAT 374DL	8:30 - 9:30 a.m	56	39	4	1318,2	2,6
CAT 374DL	9:30 - 10:30 a.m	55	41	4	1385,8	4,7
CAT 374DL	10:30 - 11:30 a.m	56	38	4	1284,4	2,9
CAT 374DL	11:30 - 12:30 a.m	53	40	4	1352,0	4,2
CAT 374DL	1:30 - 2:30 p.m	55	42	4	1419,6	3,5
CAT 374DL	2:30 - 3:30 p.m	54	36	4	1216,8	3,1
CAT 374DL	3:30 - 4:30 p.m	57	39	4	1318,2	2,9
CAT 374DL	4:30 - 5:30 p.m	54	37	4	1250,6	3,9
CAT 374DL	5:30 - 6:30 p.m	56	41	4	1385,8	4,1
PROMEDIO		54,9 s.	39,1 viajes	4 pases	1321,3 t/h	3,6 min/h

Nota. El Anexo 16 muestra el rendimiento promedio de la excavadora en la voladura 6 con el grado de fragmentación de tamaño pequeño (100mm a 250mm), considerando indicadores tales como: Tiempo de carguío, número de viajes por hora, número de pases por volquete y demoras. Fuente: Los Autores (2020).

Anexo 17: Rendimiento promedio de la excavadora CAT 374 DL en la voladura 3.

COD. EQUIPO	HORAS DE TRABAJO	TIEMPO DE CARGUÍO (s)	N° DE VIAJES/h	N° PASES/VOLQUETE	RENDIMIENTO (t/h)	DEMORAS (min/h)
CAT 374DL	6:30 - 7:30 a.m	55	35	4	1183,0	5,1
CAT 374DL	7:30 - 8:30 a.m	59	37	4	1250,6	3,7
CAT 374DL	8:30 - 9:30 a.m	58	38	4	1284,4	3,4
CAT 374DL	9:30 - 10:30 a.m	57	39	4	1318,2	4,7
CAT 374DL	10:30 - 11:30 a.m	59	35	4	1183,0	4,1
CAT 374DL	11:30 - 12:30 a.m	56	38	4	1284,4	3,9
CAT 374DL	1:30 - 2:30 p.m	57	40	4	1352,0	3,8
CAT 374DL	2:30 - 3:30 p.m	56	33	4	1115,4	4,2
CAT 374DL	3:30 - 4:30 p.m	60	35	4	1183,0	4,9
CAT 374DL	4:30 - 5:30 p.m	55	34	4	1149,2	3,9
CAT 374DL	5:30 - 6:30 p.m	57	36	4	1216,8	4,8
PROMEDIO		57,2 s.	36,4 viajes	4 pases	1229,1 t/h	4,2 min/h

Nota. El Anexo 17 muestra el rendimiento promedio de la excavadora en la voladura 3 con el grado de fragmentación de tamaño mediano (250mm a 400mm), considerando indicadores tales como: Tiempo de carguío, número de viajes por hora, número de pases por volquete y demoras. Fuente: Los Autores (2020).

Anexo 18: Rendimiento promedio de la excavadora CAT 374D L en la voladura 2.

COD. EQUIPO	HORAS DE TRABAJO	TIEMPO DE CARGUÍO (s)	N° DE VIAJES POR h	N° PASES/ VOLQUETE	RENDIMIENTO (t/h)	DEMORAS (min/h)
CAT 374DL	6:30 - 7:30 a.m	59	32	4	1081,6	6,3
CAT 374DL	7:30 - 8:30 a.m	62	33	5	1115,4	4,1
CAT 374DL	8:30 - 9:30 a.m	63	35	5	1183,0	3,9
CAT 374DL	9:30 - 10:30 a.m	61	34	5	1149,2	5,5
CAT 374DL	10:30 - 11:30 a.m	64	31	5	1047,8	6,1
CAT 374DL	11:30 - 12:30 a.m	60	37	5	1250,6	5,9
CAT 374DL	1:30 - 2:30 p.m	59	38	5	1284,4	4,8
CAT 374DL	2:30 - 3:30 p.m	63	29	4	980,2	6,2
CAT 374DL	3:30 - 4:30 p.m	65	30	5	1014,4	7,4
CAT 374DL	4:30 - 5:30 p.m	62	31	4	1047,8	4,8
CAT 374DL	5:30 - 6:30 p.m	65	32	5	1081,6	5,8
PROMEDIO		62,1 s.	32,9 viajes	5 pases	1112,3 t/h	5,5 min/h

Nota. El Anexo 18 muestra el rendimiento promedio de la excavadora en la voladura 2 con el grado de fragmentación de tamaño grande (400mm a 550mm), considerando indicadores tales como: Tiempo de carguío, número de viajes por hora, número de pases por volquete y demoras.

Fuente: Los Autores (2020).

Anexo 19: Cálculo de los rendimientos de la excavadora CAT 374 DL.

- ✓ Cálculo del Rendimiento de la excavadora cuando opera con Fragmentación Pequeña
(100 mm a 250 mm)

Datos:

- # de camiones cargados/hora: 39,1/h
- Cap. de Tolva: 20 m³
- $\rho_{material}$: 1,69 t/m³

Ecuación 1: Determinación del Rendimiento de un equipo de carguío.

$$R = \# \text{ Camiones cargados/h} * \text{Cap. de Tolva (m}^3) * \rho_{material} (t/m^3)$$

$$R = 39,1/h * 20 m^3 * 1,69 t/m^3$$

$$R = 1321,3 t/h$$

- ✓ Cálculo del Rendimiento de la excavadora cuando opera con Fragmentación
Mediana (250 mm a 400 mm)

- # de camiones cargados/hora: 36,4/h
- Cap. de Tolva: 20 m³
- $\rho_{material}$: 1,69 t/m³

$$R = \# \text{ Camiones cargados/h} * \text{Cap. de Tolva (m}^3) * \rho_{material} (t/m^3)$$

$$R = 36,4/h * 20 m^3 * 1,69 t/m^3$$

$$R = 1229,1 ton/h$$

- ✓ Cálculo del Rendimiento de la excavadora cuando opera con Fragmentación Grande
(400 mm a 550 mm)

- # de camiones cargados/hora: 32,9/h

- Cap. de Tolva: 20 m³
- $\rho_{material}$: 1,69 t/m³

$$R = \# \text{ Camiones cargados/h} * \text{Cap. de Tolva (m}^3) * \rho_{material} (t/m^3)$$

$$R = 32,9/h * 20 m^3 * 1,69 t/m^3$$

$$R = 1112,3 t/h$$

Anexo 20: Rendimiento de la excavadora CAT 374D L según el tamaño de la fragmentación (P80).

FRAGMENTACIÓN PEQUEÑA (100mm a 250mm)	FRAGMENTACIÓN MEDIANA (250mm a 400 mm)	FRAGMENTACIÓN GRANDE (400mm a 550 mm)
1321,3 t/h	1229,1 t/h	1112,3 t/h

Datos promedios tomados de los Anexos 16, 17 y 18 para determinar la relación entre el rendimiento de la excavadora y el tamaño de la fragmentación. Fuente: Los autores (2020).

Anexo 21: Indicador granulométrico (P80) en diversos factores.

	FRAGMENTACIÓN PEQUEÑA (100mm a 250mm)	FRAGMENTACIÓN MEDIANA (250mm a 400 mm)	FRAGMENTACIÓN GRANDE (400mm a 550 mm)
Tiempo de carguío	54,9 s.	57,2 s.	62,1 s.
N° de viajes/hora	39,1 viajes	36,4 viajes	32,9 viajes
N° de pas./vol.	4 pases	4 pases	5 pases
Demoras (min/h)	3,6 min/h	4,2 min/h	5,5 min/h

Datos promedios tomados de los Anexos 16, 17 y 18 para determinar la relación del P80 en los cuatro factores fundamentales de la etapa de carguío. Fuente: Los autores (2020).

Anexo 22: Costos Unitarios de la excavadora CAT 374 DL.

	FRAGMENTACIÓN PEQUEÑA (100mm – 250mm)	FRAGMENTACIÓN MEDIANA (250mm – 400 mm)	FRAGMENTACIÓN GRANDE (400mm – 550 mm)
Rendimiento (t/h)	1321,3 t/h	1229,1 t/h	1112,3 t/h
Costo/h (\$/h)	160 \$/h	160 \$/h	160 \$/h
Costo Unitario	0,121 \$/t	0,130 \$/t	0,144 \$/t

Datos calculados para determinar la variación del costo unitario cuando se trabaja con diferentes granulometrías. Fuente: Los autores (2020).

Anexo 23: Prueba de hipótesis mediante coeficiente de correlación de Pearson.

VARIABLE 1 (X)	VARIABLE 2 (Y)
101	1321,27
325	1219,09
475	1112,33
168	1315,23
120	1340,17
190	1325,21
220	1323,04
231	1301,49
199	1322,72
310	1225,71
267	1234,36
298	1231,08
337	1223,42
370	1219,64
392	1203,69
415	1100,91
320	1252,94
350	1207,83
441	1107,89
473	1105,99
138	1365,49
283	1267,01
319	1150,16
365	1166,98
454	1116,73
505	1109,51
525	995,41
473	1110,53

$$r = \frac{n \sum XY - \sum X \sum Y}{\sqrt{n \sum X^2 - (\sum X)^2} \sqrt{n \sum Y^2 - (\sum Y)^2}}$$

r = -0,9459