

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



**EFFECTO DEL PARÁMETRO DE FRAGMENTACIÓN P80 EN LA
VELOCIDAD DE EXCAVACIÓN DE LAS PALAS ELECTRO-
MECÁNICAS EN MINA CUAJONE**

TESIS

PRESENTADA POR:

RONI ALEXANDER COTRADO CAHUI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

PUNO – PERÚ

2017



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

“EFECTO DEL PARÁMETRO DE FRAGMENTACIÓN P80 EN LA VELOCIDAD DE EXCAVACIÓN DE LAS PALAS ELECTRO-MECÁNICAS EN MINA CUAJONE”

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. RONI ALEXANDER COTRADO CAHUI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE

:


M.Sc. Ing. JORGE DURANT BRODEN

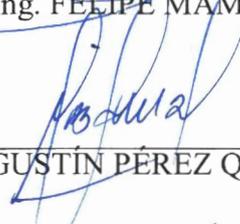
PRIMER MIEMBRO

:


M.Sc. Ing. FELIPE MAMANI OVIEDO

SEGUNDO MIEMBRO

:


Ing. AGUSTÍN PÉREZ QUISPE

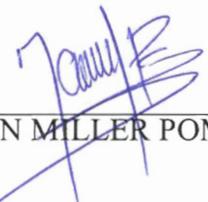
DIRECTOR DE TESIS

:


M.Sc. Ing. ESTEBAN MARÍN PAUCARA

ASESOR DE TESIS

:


Ing. DARWIN MILLER POMA CARITA

Área: Ingeniería de Minas
Tema: Operaciones Mina

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 15-09-2017

DEDICATORIA

A la memoria de mi madre Olga Benita Cahui Ylaquita...

A mi padre Rubén Artemio Cotrado Cotrado y a mis hermanos Elvis y Gloria...

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional del Altiplano por permitirme formarme como profesional y poder laborar en las minas peruanas.

A todos los docentes de la Facultad de Ingeniería de Minas por brindarme sus conocimientos y experiencias que hoy me sirven para poder desempeñarme eficientemente en mi carrera profesional.

Al Ing. Javier Leonardo Salazar Muñoz – Gerente de Mina, al Sr. José Antonio Medina Lazo – Superintendente de Operaciones Mina de la empresa *Southern Peru Copper Corporation*, por darme la oportunidad de laborar en Mina Cuajone, por formarme día a día potenciando mis habilidades. A mis demás compañeros (funcionarios y trabajadores), con los que sacamos adelante la operación.

Al Ing. Enrique Paredes Rivero – actual Gerente de Mina Las Bambas, por confiar en mí persona cuando iniciaba la carrera en Cuajone.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	11
ABSTRACT	12
INTRODUCCIÓN	13

CAPÍTULO I

**PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE
LA INVESTIGACIÓN**

1.1. Planteamiento del problema	15
1.1.1. Problema general.....	16
1.1.2. Problemas específicos	17
1.2. Antecedentes de la investigación	17
1.3. Objetivos de la investigación	20
1.3.1. Objetivo general	20
1.3.2. Objetivos específicos	20

CAPÍTULO II

**MARCO TEÓRICO, MARCO CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA
INVESTIGACIÓN**

2.1. Marco teórico	21
2.1.1. Etapas del proceso de minado a cielo abierto	21
2.1.2. Diseños de voladura.....	21
2.1.3. Evaluación de voladuras	22
2.1.4. Monitoreo de la fragmentación	22
2.1.5. Beneficios económicos de la optimización de las voladuras	24
2.1.6. Tipos de palas	24
2.1.7. Factores de productividad de palas electro-mecánicas	25
2.1.8. Monitoreo de la velocidad de excavación.....	27
2.2. Marco conceptual.....	28
2.2.1. Palas electro-mecánicas	28
2.2.2. Fragmentación (P80).....	29
2.2.3. Velocidad de excavación	32
2.2.4. Horas totales	33
2.2.5. Horas disponibles.....	33

2.2.6. Horas malogradas	33
2.2.7. Horas operativas	33
2.2.8. Horas en demoras.....	34
2.2.9. Horas en stand-by	34
2.3. Hipótesis de la investigación	35
2.3.1. Hipótesis general.....	35
2.3.2. Hipótesis específicas.....	35

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo y diseño de la investigación	36
3.2. Método de investigación.....	36
3.3. Identificación y operacionalización de variables.....	37
3.3.1. Variables independientes	37
3.3.2. Variables dependientes	37
3.3.3. Operacionalización de variables	37
3.4. Población y muestra.....	38
3.5. Técnica de muestreo	39
3.6. Instrumentos de medición de datos.....	40
3.7. Procesamiento de información.....	40
3.8. Procedimiento de obtención de datos de fragmentación P80	41
3.9. Procedimiento de obtención de datos de velocidad de excavación	45
3.10. Software Split Desktop – procedimiento y bondades	49
3.11. Matriz de consistencia	54

CAPÍTULO IV

CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INVESTIGACIÓN

4.1. Ubicación	55
4.2. Accesibilidad	56
4.3. Geología.....	56
4.4. Geotecnia	60
4.5. Operaciones mina	61
4.5.1. Perforación.....	62
4.5.2. Voladura.....	63
4.5.3. Carguío.....	63

4.5.4. Acarreo.....	64
4.5.5. Sistema de control mina y despacho trenes	65

CAPÍTULO V

EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

5.1. Desarrollo y análisis de resultados para la hipótesis H ₁	67
5.1.1. Variable fragmentación P80 para H ₁	67
5.1.2. Variable velocidad de excavación para H ₁	67
5.1.3. Prueba de hipótesis H ₁	67
5.2. Desarrollo y análisis de resultados para la hipótesis H ₂	68
5.2.1. Variable fragmentación P80 para H ₂	68
5.2.2. Variable velocidad de excavación para H ₂	70
5.2.3. Prueba de hipótesis H ₂	72
5.3. Desarrollo y análisis de resultados para la hipótesis H ₃	72
5.3.1. Variable fragmentación P80 para H ₃	72
5.3.2. Variable velocidad de excavación para H ₃	75
5.3.3. Prueba de hipótesis H ₃	76
5.4. Desarrollo y análisis de resultados para la hipótesis H ₄	77
5.4.1. Variable fragmentación P80 para H ₄	77
5.4.2. Variable velocidad de excavación para H ₄	78
5.4.3. Prueba de hipótesis H ₄	80
5.5. Discusión de resultados con otros estudios.....	82
CONCLUSIONES	83
RECOMENDACIONES.....	84
REFERENCIAS	85
ANEXOS	88

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1. Operacionalización de variables.....	37
Tabla 3.2. Muestreo.....	39
Tabla 4.1. Acceso desde Lima.....	56
Tabla 4.2. Acceso desde Moquegua.....	56
Tabla 4.3. Tipo de rocas.....	57
Tabla 4.4. Tipo de alteraciones.....	58
Tabla 4.5. Tipo de mineralización.....	59
Tabla 4.6. Dureza.....	59
Tabla 4.7. Ángulos inter-rampas.....	61
Tabla 5.1. Estadística descriptiva de P80 en pala 04.....	69
Tabla 5.2. Datos para histograma de P80 en pala 04.....	69
Tabla 5.3. Estadística descriptiva de velocidad de excavación de pala 04.....	70
Tabla 5.4. Datos para histograma de velocidad de excavación en pala 04.....	71
Tabla 5.5. Estadística descriptiva de P80 en pala 05.....	73
Tabla 5.6. Datos para histograma de P80 en pala 05.....	74
Tabla 5.7. Estadística descriptiva de velocidad de excavación de pala 05.....	75
Tabla 5.8. Datos para histograma de velocidad de excavación de pala 05.....	75
Tabla 5.9. Estadística descriptiva de P80 en pala 06.....	78
Tabla 5.10. Datos para histograma de P80 en pala 06.....	78
Tabla 5.11. Estadística descriptiva de velocidad de excavación de pala 06.....	79
Tabla 5.12. Datos para histograma de velocidad de excavación de pala 06.....	80

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Instalación de la cámara en la pluma de la pala.....	23
Figura 2.2. Visualización de la cámara sobre el cucharón de la pala.....	24
Figura 2.3. Diagrama de aplicación de fuerzas de la pala.....	26
Figura 2.4. Base de datos de tiempo de carguío de pala 04 en volquetes 797F.....	27
Figura 2.5. Base de datos tonelaje de pala 04 en volquetes 797F.....	28
Figura 2.6. Pala electro-mecánica BUCYRUS.....	29
Figura 2.7. Fotografía del material volado.....	30
Figura 2.8. Segmentación de la imagen.....	31
Figura 2.9. Conversión a imagen binaria.....	31
Figura 2.10. Generación de curva de distribución granulométrica.....	32
Figura 2.11. Fórmula de velocidad de excavación.....	32
Figura 2.12. Diagrama de tiempos de equipos.....	33
Figura 2.13. Ciclo de pala.....	34
Figura 3.1. Ventana SIO.....	41
Figura 3.2. Ventana SIO reportes mina Cuajone.....	42
Figura 3.3. Ventana SIO reportes SplitShovel.....	42
Figura 3.4. Ventana SIO reporte SplitShovel diario.....	43
Figura 3.5. Despliegue de datos SplitShovel Diario.....	43
Figura 3.6. Exportación de datos al Excel.....	44
Figura 3.7. Filtro de datos.....	44
Figura 3.8. Ventana de logueo para ingreso al sistema JView.....	45
Figura 3.9. Ventana principal del JView.....	45
Figura 3.10. Cubo de cargas y descargas.....	46
Figura 3.11. Filtro de datos de fecha, pala y volquetes.....	47
Figura 3.12. Ventana principal del JView (TruckCyclesCube).....	47
Figura 3.13. Filtro de datos de tiempo de carguío.....	48
Figura 3.14. Cálculo de velocidad de excavación.....	48
Figura 3.15. Inicio de proyecto.....	49

Figura 3.16. Imagen cargada.....	49
Figura 3.17. Configuración de delineación.....	50
Figura 3.18. Delineación.....	50
Figura 3.19. Botón escalar.....	51
Figura 3.20. Configuración de escala.....	51
Figura 3.21. Edición de delineaciones.....	52
Figura 3.22. Propiedades de imagen.....	52
Figura 3.23. Configuración del factor de finos.....	53
Figura 3.24. Botón resultados.....	53
Figura 3.25. Gráfica de resultados.....	54
Figura 4.1. Ubicación de la unidad minera Cuajone.....	55
Figura 4.2. Flujo de operación mina.....	62
Figura 4.3. Sistema de control mina.....	66
Figura 5.1. Histograma de P80 en pala 04.....	70
Figura 5.2. Histograma de velocidad de excavación en pala 04.....	71
Figura 5.3. Diagrama de dispersión XY, P80 vs velocidad de excavación – pala 04.....	73
Figura 5.4. Histograma de P80 en pala 05.....	74
Figura 5.5. Histograma de velocidad de excavación de pala 05.....	76
Figura 5.6. Diagrama de dispersión XY, P80 vs velocidad de excavación – pala 05.....	77
Figura 5.7. Histograma de P80 en pala 06.....	79
Figura 5.8. Histograma de velocidad de excavación en pala 06.....	80
Figura 5.9. Diagrama de dispersión XY, P80 vs velocidad de excavación – pala 06.....	81

RESUMEN

El presente estudio de investigación denominado “Efecto del parámetro de fragmentación P80 en la velocidad de excavación de las palas electro-mecánicas en mina Cuajone” fue realizado en la unidad minera Cuajone de la empresa *Southern Peru Copper Corporation* durante el año 2015, en el cual se ha tratado el problema de carguío de palas electromecánicas de gran capacidad en minería superficial, y tiene como objetivo: Evaluar las variables de fragmentación P80 (menor y mayor a 40 cm) y la velocidad de excavación (TM/h) de tres palas *BUCYRUS* de 42,8; 45,9 y 55,8 m³ de capacidad de cuchara que cargaron volquetes de 363 y 290 TM de capacidad de tolva, las cuales según los antecedentes han sido poco estudiados en este tipo de palas y volquetes, no conociéndose con precisión en cuánto varia la velocidad de excavación frente a la variación de la fragmentación P80. El método usado para dar respuesta a la interrogante de cuánto varia la velocidad de excavación de las palas que cargan material con fragmentación P80 menor o mayor a 40 cm fue el método aplicativo, en el cual se usó el conocimiento y tecnología disponible con respecto a la fragmentación P80 y la velocidad de excavación de las palas electro-mecánicas. Para la obtención de datos de fragmentación se usó el *software Split-Online* y para los datos de velocidad de excavación se usó el *software MineOps*. Para el análisis estadístico descriptivo se usó el *software Microsoft Excel – módulo Data Analyst*, en el cual se ingresaron 180 datos de fragmentación y 180 datos de velocidad de excavación de un año de trabajo en el turno día solamente. La metodología de investigación fue del tipo no experimental – longitudinal. De acuerdo al análisis estadístico realizado, resulta que existe una tendencia al incremento de la velocidad de excavación mayor a 9 000 TM/h cuando la fragmentación P80 es menor a 40 cm y por el contrario se produce una disminución en la velocidad de excavación cuando la fragmentación P80 es mayor a 40 cm.

Palabras clave: Fragmentación P80, velocidad de excavación, carguío, pala, mina.

ABSTRACT

The present research study called "Effect of fragmentation parameter P80 on the speed of excavation of electro-mechanical shovels in Cuajone mine" was carried out in Cuajone mine of Southern Peru Copper Corporation during 2015, in which the problem of high-capacity electromechanical shovel loading in open-pit mining has been treated, and it has as target to evaluate the fragmentation P80 (less than and greater than 40 cm) and the dig rate (TM / h) variables of three shovels BUCYRUS of 42.8; 45.9 and 55.8 m³ dipper capacity that loaded dump trucks of 363 and 290 TM of capacity, which according to the antecedents have been little studied in this type of shovels and dump trucks, not knowing with precision how much the dig rate varies with the variation of fragmentation P80. The method used to answer the question of how much varies the shovel dig rate that load material with fragmentation P80 less than or greater than 40 cm was the application method, which used the knowledge and technology available with respect to the P80 fragmentation and the electro-mechanical shovels dig rate. To obtain fragmentation data, the Split-Online software was used and the MineOps software was used for the dig rate data. For the descriptive statistical analysis, the Microsoft Excel - Data Analyst module was used, in which 180 fragmentation data and 180 dig rate data were entered for one year of work in the day shift only. The research methodology was of the non experimental - longitudinal type. According to the statistical analysis performed, it appears that there is a tendency to increase the dig rate greater than 9,000 MT / h when the fragmentation P80 is less than 40 cm and on the contrary there is a decrease in the dig rate when the fragmentation P80 is greater than 40 cm.

Key words: Fragmentation P80, dig rate, loading, shovel, mine.

INTRODUCCIÓN

En el presente estudio de investigación denominado *Efecto del parámetro de fragmentación P80 en la velocidad de excavación de las palas electro-mecánicas en Mina Cuajone*, se analiza el desempeño del proceso de carguío con palas electro-mecánicas de gran capacidad por medio de la medición de la velocidad de excavación frente al material fragmentado que se va a cargar medido en P80. Siendo la intención de la investigación, encontrar los límites de velocidad de excavación en TM/h en palas *BUCYRUS* de 42,8; 45,9 y 55,8 m³ que cargan volquetes *CAT 797F* de 363 TM y *KOMATSU 930E* de 290 TM cuando existe variación en la fragmentación P80 (menor o mayor a 40 cm).

En el capítulo I se muestran las generalidades de la investigación, en donde se plantea el problema de la escasez de información cuantitativa con respecto a estudios sobre fragmentación P80 y velocidad de excavación, se revisan estudios previos relacionados y se plantea el objetivo de evaluar la velocidad de excavación cuando se tiene variación de la fragmentación P80 (menor o mayor a 40 cm).

En el capítulo II se muestra el marco teórico referido al tema tratado, se ha buscado en base de datos como *OneMine* y se han encontrado varios artículos de minas de Australia y Estados Unidos en el cual se afirma que la fragmentación tiene una incidencia significativa en cuanto al desempeño de los equipos de carguío pero la mayoría de afirmaciones se realizan de forma cualitativa y en un caso en particular se ha comparado el P80 con el tiempo de excavación de forma cuantitativa. Además, se definen los conceptos claves y en función a ello se plantea la hipótesis de que la velocidad de excavación sufre una tendencia de disminución cuando se incrementa el P80 mayor a 40 cm y viceversa.

En el capítulo III se indica la metodología de investigación el cual tiene el enfoque cuantitativo, el método de investigación aplicativo y el diseño de investigación no experimental longitudinal, muestreo e instrumentos que se usaron para llegar a confirmar o desconfirmar las hipótesis planteadas.

En el capítulo IV se hace una breve descripción de la unidad minera Cuajone, en donde se ha realizado el presente estudio, aquí se muestra aspectos generales sobre las operaciones que se realizan en el día a día como son: Perforación, voladura, carguío y acarreo.

En el capítulo V se exponen los resultados de la medición de los datos de fragmentación P80 y velocidad de excavación analizada en tres palas, se muestra la estadística descriptiva (medidas de centralización, desviación estándar, etc.), histogramas, curva de comportamiento a lo largo del año 2015 y diagramas de dispersión XY, en las cuales se han confirmado la hipótesis. De acuerdo al análisis, de los cuatro resultados, en tres casos se ha llegado al objetivo y por consiguiente se han confirmado las hipótesis, en un caso (H_1) se ha llegado al objetivo y se ha confirmado la hipótesis de forma parcial debido a la falta de datos de fragmentación mayores a 40 cm para la pala 05. Se incluye una discusión de resultados con otros estudios, en el cual se observa en el presente estudio que cuando se reduce la fragmentación a valores menores de 40 cm se obtiene un incremento de 22 a 23 % en la velocidad de excavación, el cual es mayor a lo obtenido en la mina *Sunrise Dam* que alcanzaron un 10 % de incremento (Vaughan, 2007), y con la mina *Wallaby Pit* se aproxima puesto que alcanzaron una mejora de 26 % en la velocidad de excavación (Brunton, 2003).

En la parte final se muestran las conclusiones y recomendaciones producto de la investigación, en el cual se indica que la velocidad de excavación se incrementa por encima de las 9 000 TM/Hr cuando se tienen valores de P80 menores a 40 cm y la velocidad de excavación disminuye cuando se tiene valores de P80 mayores a 40 cm.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema

Dentro de las operaciones mineras de tajo abierto que se realizan en Mina Cuajone, el carguío es un proceso clave que consiste en el llenado de material a los volquetes con la ayuda de palas electro-mecánicas, estos equipos utilizan cucharones de gran capacidad (42,8 a 55,8 m³) con la finalidad de cargar los volquetes de alto tonelaje (363 TM) en el menor tiempo posible.

Uno de los parámetros de evaluación de estos equipos de carguío es la velocidad de excavación o *dig rate*, el cual muestra el ratio en toneladas por hora en el cual una pala puede llenar los volquetes, esta velocidad no considera los tiempos de espera de volquetes, traslados, limpiezas de piso, etc. puesto que solamente considera el tiempo específico de carguío.

Según la literatura (Miller y Martin, 2007) y (Vaughan, 2007), uno de los parámetros que influyen directamente en la velocidad de excavación es la fragmentación, pero muy poco se menciona de forma cuantitativa en qué grado la fragmentación es favorable o desfavorable para el proceso de carguío de palas electro-

mecánicas; es decir, si produce un incremento o reducción en la velocidad de excavación de las palas (TM/h). En las operaciones mineras se usa comúnmente el parámetro de fragmentación denominado P80 (mayor o menor a 40 cm), el cual nos indica que el 80 % del material disparado tiene un tamaño promedio medido en centímetros. Este parámetro de fragmentación se obtiene por métodos convencionales y la cantidad de muestras para caracterizar el material total disparado son limitadas (4 a 5 muestras).

Actualmente, uno de los métodos tradicionales de evaluación de la calidad de las voladuras es el análisis de la productividad de los equipos de carguío (López y García, 2003); es decir cuando un equipo de carguío tenga una alta productividad indicará que la fragmentación fue favorable, en cambio si la productividad es baja indicará que la fragmentación fue desfavorable para la operación. No existen estudios que respalden lo anterior, por lo que es necesario verificar con datos reales que sucede cuando existe variación de la fragmentación con relación a la velocidad de excavación de las palas.

Lo que se propone en la presente investigación es evaluar la velocidad de excavación que es diferente a la productividad con respecto a la variación de la fragmentación (medido en P80 menor o mayor a 40 cm) del material con el que se trabaja *in situ*, puesto que ahora se cuentan con sistemas avanzados de medición de la fragmentación en línea y con mayor cantidad de muestras, lo cual nos da mayor confiabilidad de la medición.

Al tener mayor comprensión de cómo influye la fragmentación, será posible sustentar mejoras en el proceso de voladura el cual optimizará el proceso de carguío en la reducción del costo global. Como aporte al conocimiento minero, se contará con un estudio base aplicado en palas electro-mecánicas de gran capacidad el cual podrá ser usado como referencia para estimar la productividad de un sistema de carguío.

1.1.1. Problema general

- ¿En cuánto varía la velocidad de excavación de las palas de 42,8; 45,9 y 55,8 m³ que cargan material con fragmentación P80 menor o mayor a 40 centímetros a volquetes de 363 y 290 toneladas?

1.1.2. Problemas específicos

- ¿En cuánto varía la velocidad de excavación de una pala de 42,8 m³ que carga material con fragmentación P80 mayor a 40 centímetros a volquetes de 363 toneladas?.
- ¿En cuánto varía la velocidad de excavación de una pala de 45,9 m³ que carga material con fragmentación P80 mayor a 40 centímetros a volquetes de 363 toneladas?.
- ¿En cuánto varía la velocidad de excavación de una pala de 55,8 m³ que carga material con fragmentación P80 mayor a 40 centímetros a volquetes de 290 toneladas?.

1.2. Antecedentes de la investigación

El *dig rate* o velocidad de excavación se menciona comúnmente en los estudios de optimización de voladuras o como una forma de evaluar el resultado de las mismas producto de las mejoras tecnológicas aplicadas, el parámetro de velocidad de excavación está relacionado con la fragmentación puesto que a menor fragmentación mayor será la velocidad de excavación de los equipos de carguío.

En estudios previos se ha analizado la variable fragmentación con respecto al desempeño de las palas electro-mecánicas obteniéndose resultados que muestran que esta variable tiene efectos significativos.

- Chaucayanqui, B. E. (1992). Universidad Nacional del Altiplano, en su tesis *Factores de inciden al llenado del cucharón de las palas P&H-1900AL y optimización del sistema de carguío*, aplicado en la mina Cerro Verde, determina que para una fragmentación muy buena, el porcentaje de llenado del cucharón es de 97,5 %; las demoras operativas son menores (o mínimas de 5,5 %), en cambio para una fragmentación muy difícil es bajo el porcentaje de llenado y mayor es el porcentaje en las demoras operativas (de 24,25 %). La granulometría debe estar entre 10 pulgadas (25 cm) a 60 pulgadas (153 cm) de longitud máximo, la

cual permite el carguío continuo (sin interrupciones), así mismo, incidiendo en mayor porcentaje de llenado al cucharón de las palas, en estas condiciones la operación (carguío) es económica (con utilidad). Pero si la granulometría de fragmentación es mayor a 60 pulgadas, el carguío será antieconómico, similarmente menor a 10 pulgadas, debido a que produce polvo en el área de carguío, anulando la visibilidad.

- Saldaña, A. (2013). Universidad Nacional de Ingeniería, en su tesis *Productividad en el ciclo de carguío y acarreo en el tajo Chaquicocha bajo clima severo – Minera Yanacocha*, concluye que en minería de tajo abierto, una mala fragmentación demuestra falta de control en los costos de operación al no tener controlado los parámetros de perforación y voladura, sumado a las condiciones climáticas adversas, generan un efecto negativo en la productividad del sistema de carguío y acarreo.
- Canturin, R., Siucho, R. (2004). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, en su estudio *Aplicación de métodos de productividad en las operaciones de equipos de movimiento de tierras (ejemplo práctico: Cantera de la fábrica de Cementos Lima)*, determinan que entre los principales factores que afectan positivamente a la productividad se encuentran: Capacitación al personal, seguridad en obra, innovación de técnicas de operación de equipos, planificación adecuada, programas de motivación del personal, comunicación constante entre la supervisión y personal obrero, adecuado mantenimiento, estimular la sana competencia y una mejor fragmentación de la roca volada.
- Gunderson, J., Summer, C. (2004). Instituto de minería del carbón Montaña Rocky – Estados Unidos, en su estudio *Evaluación del diseño de voladuras a través del desempeño de las palas*, determinan que la evaluación del diseño de voladuras por medio del desempeño de las palas se considera como un método electrónico en el cual se monitorea la productividad del equipo de carguío en tiempo real. Son numerosas las variables que intervienen en el factor productividad los cuales son: Variabilidad del material, variabilidad de las flotas

de volquete, variabilidad de operadores, precisión en la profundidad de perforación, diseños de voladura, etc.

- Miller, D., Martin, D. (2007), Empresa Orica, según su estudio realizado en una cantera al sur de Australia se halló que el uso de detonadores electrónicos en las voladuras proporciona la ventaja de obtener material mejor fragmentado, incrementándose el ratio de minado en 23 %, reducción del 43 % de la presencia de rocas con sobre tamaño y un incremento de 18 % en el ratio de chancado.
- Vaughan, M., Hall, E., Gribble, D., Varga, D., Billing, G. y MacSweeney, K. (2007). Instituto Australiano de Minería y Metalurgia, en su estudio denominado *Mejoras de voladura con el uso de detonadores electrónicos*, realizado en la mina de oro *Sunrise Dam*, se obtuvo un incremento de 11 % en la velocidad de excavación instantánea o *dig rate*, por medio del uso de los detonadores electrónicos versus el sistema convencional de iniciación pirotécnica.
- Brunton, D., Thornton, R., Hodson, R. and Sprott, D. (2003). Universidad de Queensland – Australia, en su estudio denominado *Impacto de la fragmentación por voladura en el tiempo de excavación de excavadoras hidráulicas*, en el cual se realizó un análisis de las variables de fragmentación P20, P50 y P80 versus el tiempo de excavación por pase y tiempo total de excavación con una excavadora hidráulica *LIEBHERR* 994 y 995 (14 y 23 m³), trabajando con volquetes *CATERPILLAR* 777 y 785. En este se concluye que el mejor parámetro de fragmentación para comparar con otros valores de productividad es el P80, puesto que resulta un mejor grado de correlación ($R^2 = 0,45$); se menciona que el tiempo total de excavación es función del P80 y el número de pases; de acuerdo a simulaciones realizadas indican que con un cambio de fragmentación de 600 a 200 milímetros resulta en una mejora de 26 % en el tiempo de excavación y en 12 % a 46 % de mejora en el tiempo total de excavación, en un rango de 4 a 8 pases.

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

- Evaluar la velocidad de excavación de las palas de 42,8; 45,9 y 55,8 m³ cuando cargan material con fragmentación P80 menor o mayor a 40 centímetros a volquetes de 363 y 290 toneladas.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar la velocidad de excavación de una pala de 42,8 m³ cuando carga material con fragmentación P80 mayor a 40 centímetros a volquetes de 363 toneladas.
- Determinar la velocidad de excavación de una pala de 45,9 m³ cuando carga material con fragmentación P80 mayor a 40 centímetros a volquetes de 363 toneladas.
- Determinar la velocidad de excavación de una pala de 55,8 m³ cuando carga material con fragmentación P80 mayor a 40 centímetros a volquetes de 290 toneladas.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO, MARCO CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Marco teórico

2.1.1. Etapas del proceso de minado a cielo abierto

En minería de tajo o cielo abierto, el ciclo de minado típicamente consiste en realizar las operaciones de: Perforación, voladura, carguío y acarreo de material.

En el presente trabajo se ahondará en dos procesos los cuales son la voladura y el carguío; en el primero específicamente nos referiremos a la fragmentación medida en P80 del material resultante producto de la aplicación de explosivos sobre los bancos *in situ* de mineral o desmonte y en el segundo haremos referencia a la velocidad de excavación de las palas electro-mecánicas que desarrollan en determinados tipos de material.

2.1.2. Diseños de voladura

El objetivo de la voladura es la fragmentación de rocas por medio del uso de material explosivo a un menor costo, la voladura facilita los subsiguientes procesos como son el carguío, el transporte y el procesamiento de minerales.

Existe una serie de factores o variables que interviene directa o indirectamente en la voladura, que son mutuamente dependientes o que están relacionados uno u otro; unos son controlables y otros no. Son controlables, por ejemplo, las variables de diseño de perforación o del explosivo a emplear, mientras que no podemos modificar la geología o las características de la roca (EXSA, 2003).

2.1.3. Evaluación de voladuras

Existen diferentes aspectos para evaluar una voladura, entre ellas tenemos: La fragmentación y esponjamiento de la pila de escombros, geometría de la pila (altura y desplazamiento), estado físico de macizo residual, análisis del piso del banco, presencia de bolos en la pila de material y nivel de vibraciones. Dentro de lo que concierne a la fragmentación se tienen los siguientes métodos: Análisis visual, por métodos fotográficos, fotogramétricos y estudio de la productividad del equipo de carga. El estudio de la productividad consiste en la evaluación del rendimiento del equipo de carguío, para ello se deben descontar los tiempos muertos, los equipos a evaluar deben ser del mismo tipo y capacidad y en lo posible con los mismos operadores (López y García, 2003).

2.1.4. Monitoreo de la fragmentación

Para obtener las curvas granulométricas se usan métodos aproximados como: Procesamiento digital de imágenes, métodos fotográficos, métodos fotogramétricos, fotografía ultrarrápida. De estos métodos, el más utilizado es el procesamiento digital de imágenes al que referiremos como “método convencional”, el cual ha venido siendo ampliamente utilizado por las compañías mineras y empresas especializadas en voladura de rocas por su bajo costo, este método consiste en la captación manual de imágenes por medio de una cámara y luego sometido a un proceso de digitalización con *software*, haciendo uso de un objeto de tamaño conocido para escalar los fragmentos de roca para luego generar la curva granulométrica e identificar el tamaño medio, este método generalmente se aplica al término de un disparo y se toman entre 2 y 3 muestras del frente de minado (López y García, 2003).

En la última década, el análisis de la fragmentación ha ganado gran valor, particularmente en la industria minera puesto que es de gran utilidad para los ingenieros de voladura que deben ajustar los parámetros de diseño para optimizar los disparos y obtener una granulometría adecuada, mientras más información se tenga de la estadística de fragmentación, mayor será la precisión en el ajuste de los demás parámetros (Kemeny, Devgan, Roberta y Wu, 1993).

Actualmente existen sistemas autónomos de medición y análisis de la fragmentación, el cual consiste en la instalación de una cámara en la parte superior de la pluma de la pala electro-mecánica el cual toma fotografías cuando se tiene el cucharón lleno, adicionalmente se instala una computadora en la cabina del operador de la pala que va almacenando la información obtenida por la cámara y envía la información vía *wi-fi* a un servidor ubicado en oficinas para que por medio de un *software* se analice cada imagen y se obtenga como resultado los parámetros de fragmentación: P10, P20, P30, P40, P50, P60, P70, P80 y P90. Cabe resaltar que con este sistema se pueden tomar hasta un promedio de 400 muestras en un turno de 8 horas en el turno día (Tafazoli y Ziraknejad, 2009).

En la figura 2.1 se muestra la infraestructura necesaria para el sistema de monitoreo en línea y en la figura 2.2 se muestra el enfoque que realiza la cámara.

Figura 2.1. Instalación de la cámara en la pluma de la pala.



Fuente: *Motion Metrics International Corp.*

Figura 2.2. Visualización de la cámara sobre el cucharón de la pala.



Fuente: *Motion Metrics International Corp.*

2.1.5. Beneficios económicos de la optimización de las voladuras

En una mina de oro de Tanzania se ha implementado un sistema de monitoreo para mejorar la calidad de las voladuras y medir su efecto económico en diferentes aspectos del proceso de minado, encontrándose beneficios en el carguío y chancado. En cuanto al carguío se ha medido con el sistema *Dispatch-Modular*® la productividad de los equipos de producción vs la calidad de las voladuras, observándose que los equipos incrementaban su rendimiento cuando tenían material volado clasificado como “bien fragmentado” y por el contrario el rendimiento disminuía cuando se trabajaba en material denominado “pobremente fragmentado”, concluyéndose que la voladura tiene un directo impacto en la productividad de los equipos y los costos en las operaciones subsecuentes. Con respecto al chancado se ha identificado que la fragmentación tiene relación con la eficiencia de los chancadores y consumo de energía de los mismos (Ndibalema, 2008).

2.1.6. Tipos de palas

Para realizar las operaciones de carguío, se tienen dos opciones a la hora de seleccionar el equipo adecuado para una mina. Dentro de estos se encuentran las palas de cables, las cuales tienen las siguientes características: La altura de excavación debe

estar entre 10 y 20 metros, el sistema de traslación es sobre orugas y el accionamiento eléctrico, proporcionan una producción elevada a un bajo costo, son máquinas pesadas y robustas, tienen capacidad para remontar pendientes reducidas no siendo aconsejable que operen sobre firmes inclinados debido a que pueden aparecer problemas en el sistema de giro de las máquinas, la operación la realizan con buena estabilidad y suavidad, en los desplazamientos disponen de una velocidad muy baja, inferior a 1,5 km/h y dependen de un cable de alimentación por lo que tienen una movilidad limitada, requieren de un equipo auxiliar para mantener la limpieza del piso, el mantenimiento debe hacerse en el tajo, las inversiones son elevadas. Por otro lado tenemos las palas hidráulicas, que tienen las siguientes características: Son de diseño compacto y peso relativamente reducidos en relación a la capacidad del cucharón, gran movilidad y flexibilidad en la operación especialmente en la versión *diésel* con velocidades de desplazamiento de hasta 2,4 km/h, excelente posicionamiento de las máquinas gracias al posicionamiento independiente de las orugas, capacidad para remontar pendientes de hasta 80 % y posibilidad de realizar la operación continuada en pendientes del 60 %, menor necesidad de empleo de equipos auxiliares, costo de operación medio e inversión medios (Gomez, López, López, Manglano y Toledo, 1995).

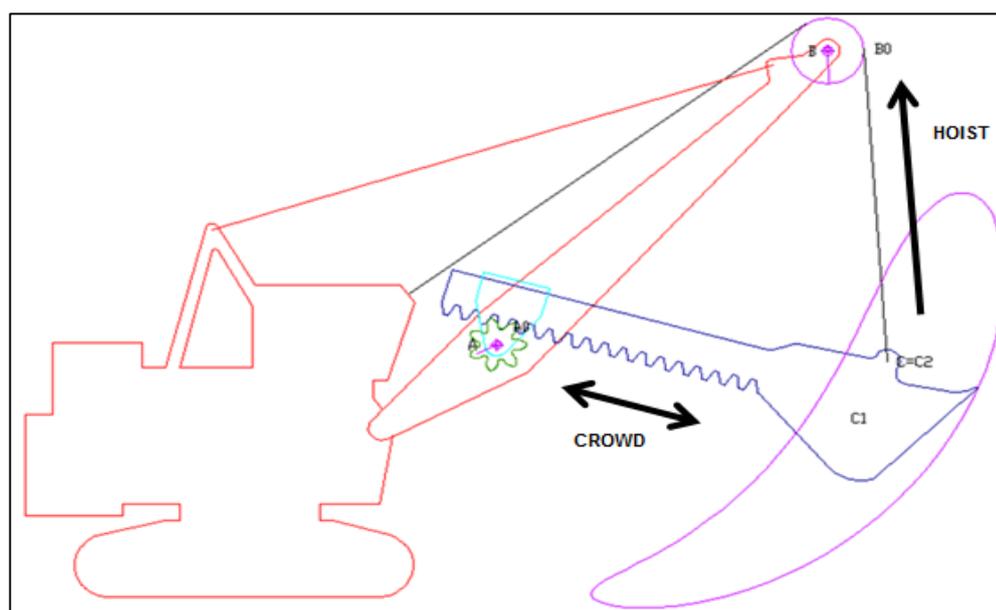
2.1.7. Factores de productividad de palas electro-mecánicas

Existen tres elementos que determinan la capacidad de productiva de una pala electro-mecánica, los cuales son: Capacidad de cucharón (payload), tiempo de ciclo y la disponibilidad del equipo. Una pala eléctrica está diseñada para poder soportar una carga bruta máxima permitida, el cual está definido por la combinación del peso del cucharón y el payload. El tiempo de ciclo consiste en: Carguío del cucharón, descarga y tiempo de giro; siendo el tiempo de carguío un elemento considerable debido a que depende de varios factores, entre ellos: La habilidad del operador, naturaleza del material (fragmentación, altura de banco, densidad de material, fricción, etc.), diseño del cucharón, diseño de los accesorios del cucharón, características de los sistemas de control; y por otra parte se considera al tiempo de giro como el segmento de tiempo más largo, la velocidad de este tiempo está determinado por: La inercia, fuerza de torque desarrollado con respecto al centro de rotación y la velocidad máxima de giro. Con respecto a la disponibilidad del equipo, se menciona que depende básicamente de: La

simplicidad del diseño, calidad de la manufactura, cumplimiento de los mantenimientos y obviamente evitar los abusos de operación (Profio, 1984).

La aplicación básica de una pala eléctrica es cargar verticalmente el material hacia arriba *shovel up* comenzando desde el nivel del piso con el cucharón moviéndose dentro de la corte de trabajo o banco, siendo impráctico excavar por debajo del nivel del piso, a excepción de situaciones específicas o inusuales, la fuerza que hace posible esta operación es la combinación de la fuerza de izaje *hoist* y la fuerza de empuje/recojo *crowd* (ver figura 2.3). Además menciona que, los tiempos que mayor consumen en el ciclo son el tiempo de carguío y los segmentos de tiempo de giro. Considerando un tiempo de ciclo de 25 segundos con un ángulo de movimiento de 60 grados en condiciones duras de excavación, para llenar el cucharón en el banco se requieren 6 segundos el cual es equivalente al 25 % del tiempo total del ciclo, el tiempo que le toma girar son acerca de 8 segundos que es el 32 % del tiempo tal, uno o dos segundos para descargar el material en el equipo de acarreo, luego la pala gira para retornar a su posición de carguío el cual le toma un 35 % del tiempo total incluyendo el tiempo de descarga, finalmente se tiene el tiempo de acomodo del cucharón en el toe para comenzar con el siguiente ciclo, siendo dos segundos que representa el 8 % restante del ciclo total (Hirner, 1981).

Figura 2.3. Diagrama de aplicación de fuerzas de la pala.



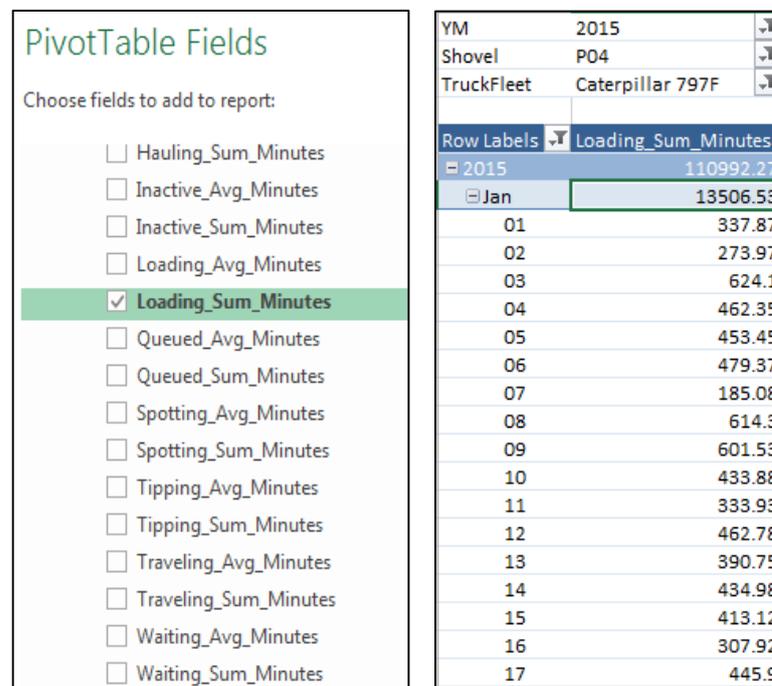
Fuente: Simionescu P.A.

Conforme a los puntos anteriores, se observa que la velocidad de excavación está influenciada considerablemente por el tipo de material y la aplicación de las diferentes fuerzas que tenga la pala por diseño, siendo la fragmentación un parámetro importante que podría definir la facilidad o dificultad en el proceso de carguío.

2.1.8. Monitoreo de la velocidad de excavación

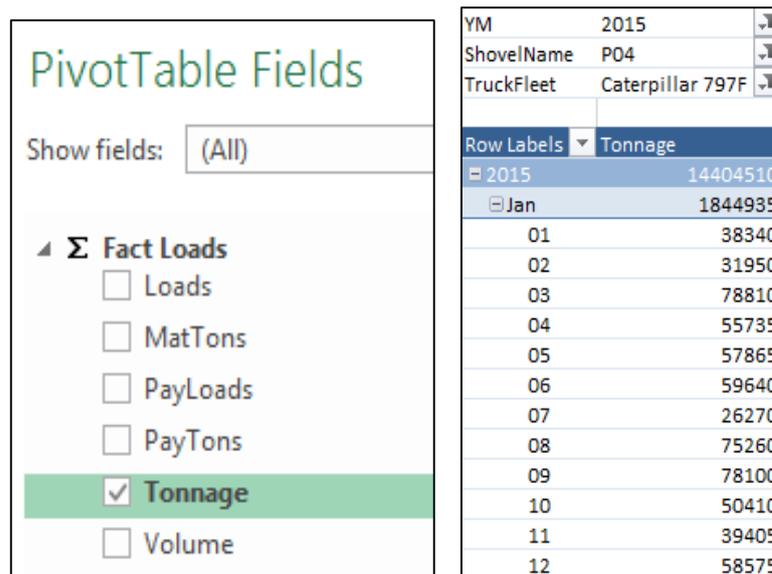
Dentro de los sistemas de monitoreo de equipos de mina, existe el sistema *MineOps*®, el cual consiste en la instalación de *GPS* en las palas y volquetes en donde se registra los principales datos, tales como: Tiempo de cola, tiempo de cuadrado en pala, tiempo de espera, tiempo de carguío, tiempo de viaje cargado, tiempo de cuadrado para descarga, tiempo de descarga, tiempo de viaje vacío y tonelaje. El sistema interpreta la información de acuerdo a los movimientos del equipo. Esta información es almacenada en una base de datos y puede ser consultada por los usuarios (ver figura 2.4 y figura 2.5). La velocidad de excavación se obtiene con el tonelaje y el tiempo de la pala cargando para una determinada flota de volquetes en un determinado tiempo (hora, guardia, día).

Figura 2.4. Base de datos de tiempo de carguío de pala 04 en volquetes 797F.



Fuente: Reporte *JView – Dispatch* mina Cuajone.

Figura 2.5. Base de datos tonelaje de pala 04 en volquetes 797F.



Fuente: Reporte JView – Dispatch mina Cuajone.

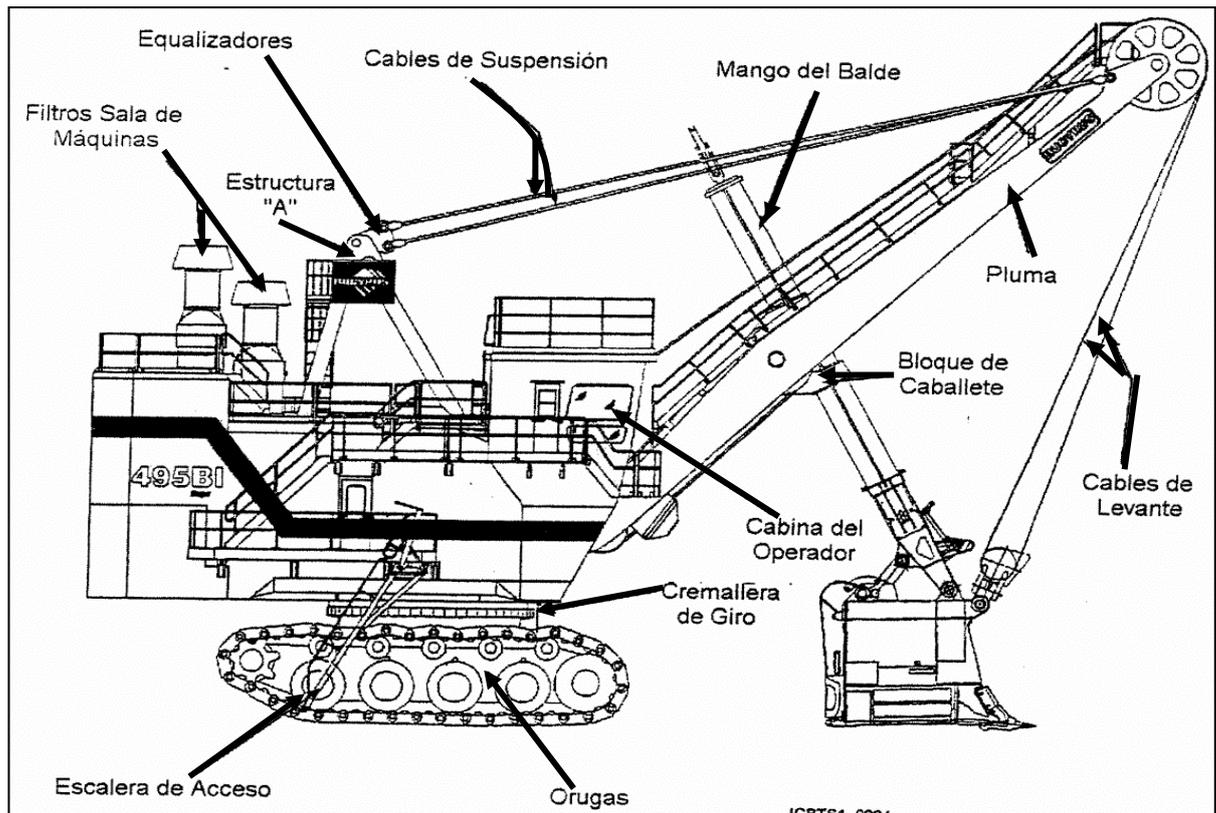
2.2. Marco conceptual

2.2.1. Palas electro-mecánicas

La pala electromecánica, pala mecánica, pala eléctrica o simplemente pala de cables, es un tipo de excavadora frontal eléctrica autopropulsada, sobre orugas, que usa cables para accionar el desplazamiento del cucharón o balde.

Las palas electro-mecánicas son las excavadoras cargadoras de mayor tamaño que existen. Las más grandes con cucharones de 120 toneladas de capacidad llegan a tener masas del orden de las 1 400 toneladas, medir alrededor de 22 metros de altura, 14 metros de ancho y 30 metros desde las poleas de la pluma hasta el contrapeso. Sus partes son: Chasis o *truck frame*, corona de giro o *revolving frame*, estructura en A, cucharón, sistemas de accionamiento que son cables propulsados por motores eléctricos y cables de alimentación (ver figura 2.6). El motor de propulsión está accionado por dos motores de corriente alterna (AC).

Estas palas, requieren de un programa de mantenimiento predictivo y preventivo para que pueda alcanzar su máximo rendimiento. Además, es imprescindible un programa de capacitación para los operadores.

Figura 2.6. Pala electro-mecánica *BUCYRUS*.

Fuente: Manual pala electro-mecánica *BUCYRUS*.

2.2.2. Fragmentación (P80)

Kuznetsov realizó estudios de fragmentación, en el cual hace referencia al tamaño medio de fragmentación, al factor de carga de TNT y a la estructura geológica; sin embargo, su trabajo quedó corto debido a que el tamaño medio de la fragmentación no representaba a las rocas grandes ni a los finos resultantes de la voladura. Lo que necesitaba era una manera de determinar la distribución real de tamaños y no solo el promedio (Konya y Albarrán, 1998).

La fragmentación medida en P80 (Pasante 80) es la representación de la distribución de tamaños menores a X valores de los fragmentos correspondientes al 80% del material total. Este valor se obtiene por medio del procesamiento digital de imágenes con *software*.

Adicional al P80, existen otros parámetros como el P20 y P50 que también nos representan la distribución de tamaños; sin embargo, el P80 tiene una mejor correlación con parámetros de carguío (Brunton, 2003).

Para la obtención del P80 actualmente se usa el análisis de imágenes, en el cual debe existir un objeto de tamaño conocido para el cambio de escalas, luego esta imagen pasa por un proceso de segmentación para que se reconozca como una imagen binaria para luego ser medida e interpretado estereométricamente (López y García, 2003).

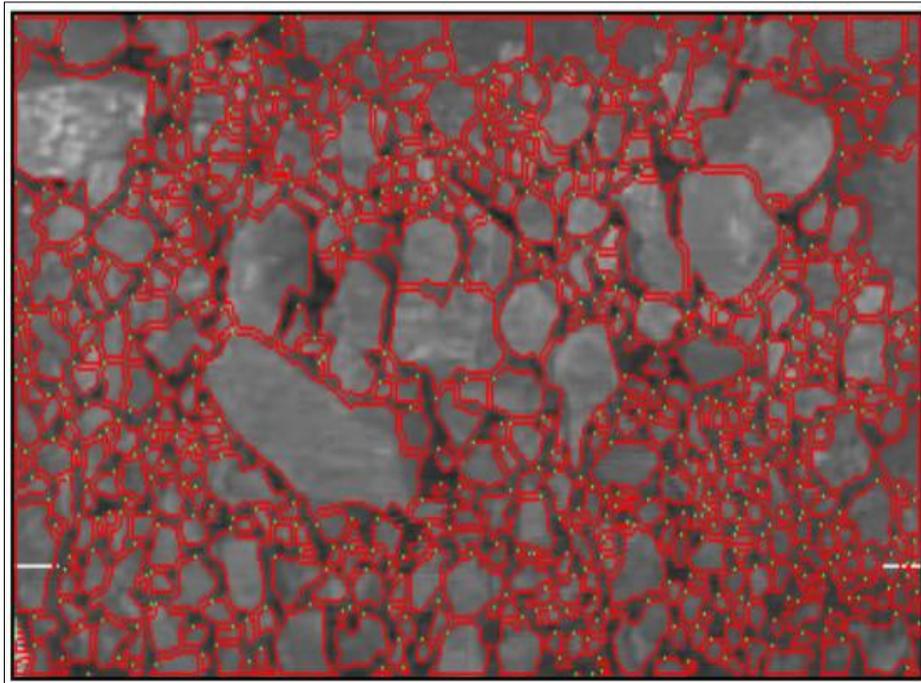
Por ejemplo, si se obtiene un P80 igual a 30 centímetros, significa que el 80% del material tiene un tamaño igual o menor que 30 centímetros. En las figuras 2.7, 2.8, 2.9 y 2.10 se muestra el proceso para obtener el parámetro de P80.

Figura 2.7. Fotografía del material volado.



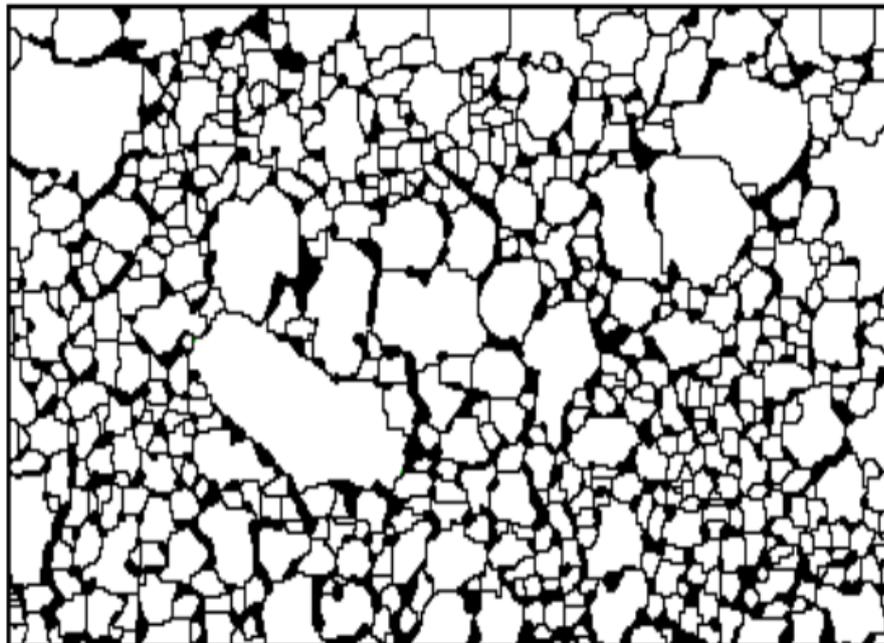
Fuente: Reporte perforación y pisparos mina Cuajone.

Figura 2.8. Segmentación de la imagen.



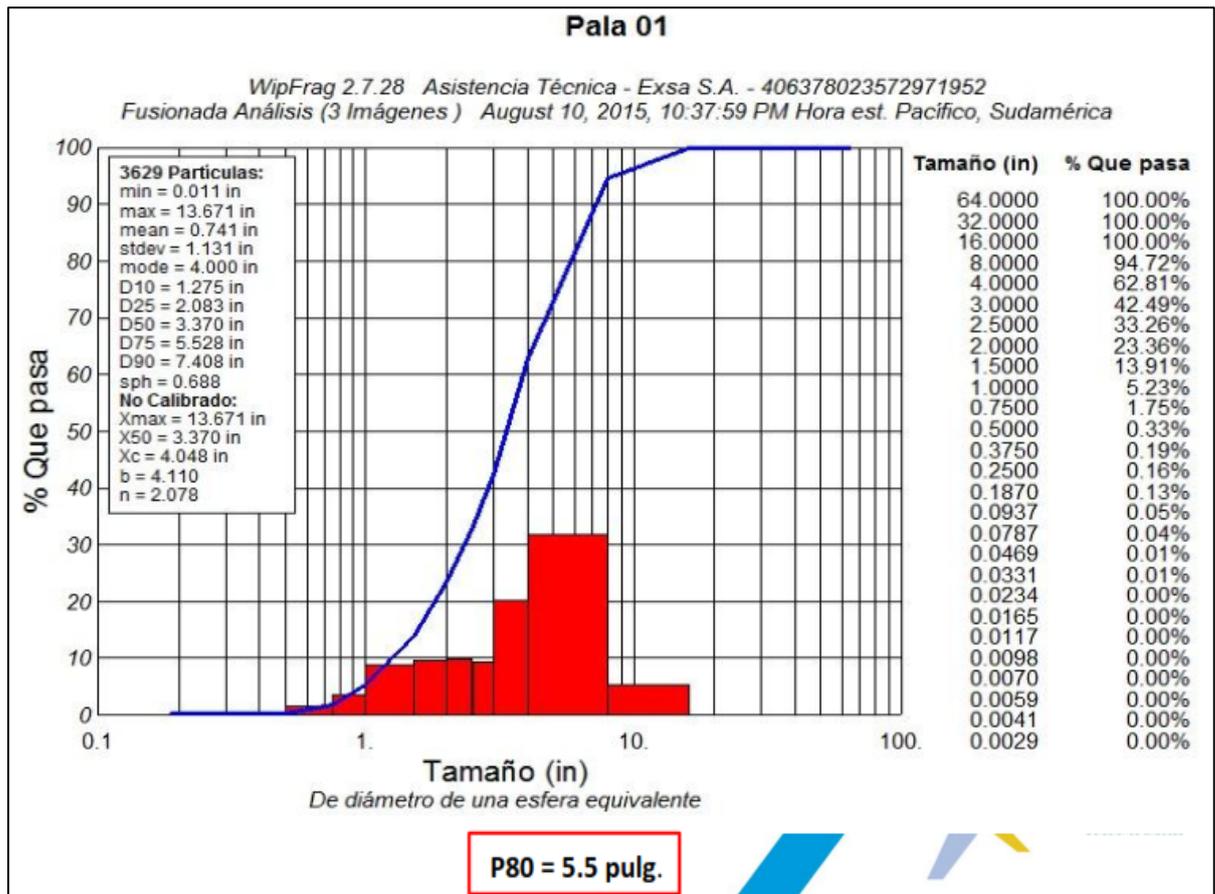
Fuente: *Motion Metrics International Corp.*

Figura 2.9. Conversión a imagen binaria.



Fuente: *Motion Metrics International Corp.*

Figura 2.10. Generación de curva de distribución granulométrica.



Fuente: Reporte Wipfrag.

2.2.3. Velocidad de excavación

La velocidad de excavación o *dig rate* está definida como el ratio entre el tonelaje o *payload* y el tiempo de excavación relevante (ver figura 2.11). La medida del tiempo de excavación es parte del ciclo, el cual es registrado en la base de datos de los sistemas de monitoreo de palas (Halatchev y Knights, 2007).

Figura 2.11. Fórmula de velocidad de excavación.

$$Velocidad\ de\ excavación\ (Tn/Hr) = \frac{Tonelaje\ nominal\ (Toneladas\ métricas)}{Tiempo\ de\ carguío\ (Horas)}$$

Fuente. Elaboración propia.

Para obtener la fórmula anterior, primeramente debemos conocer cómo se estructura el tiempo de los equipos en mina, en la figura 2.12 se muestra el diagrama de tiempos que se registra para cada equipo:

Figura 2.12. Diagrama de tiempos de equipos.



Fuente. Elaboración propia.

2.2.4. Horas totales

Es el tiempo calendario total, puede referirse a todo el turno, todo el día, todo el mes o todo el año.

2.2.5. Horas disponibles

Es el tiempo en el cual el equipo está listo para trabajar, es el tiempo que está a disposición de la operación minera.

2.2.6. Horas malogradas

Es el tiempo en el cual el equipo está en mantenimiento (mantenimiento programado y no programado), el cual es necesario para garantizar la vida útil de los equipos.

2.2.7. Horas operativas

Son las horas en las cuales los equipos están encendidos y realizando trabajo; sin embargo, en este no se refleja los tiempos de trabajo efectivamente realizados.

2.2.8. Horas en demoras

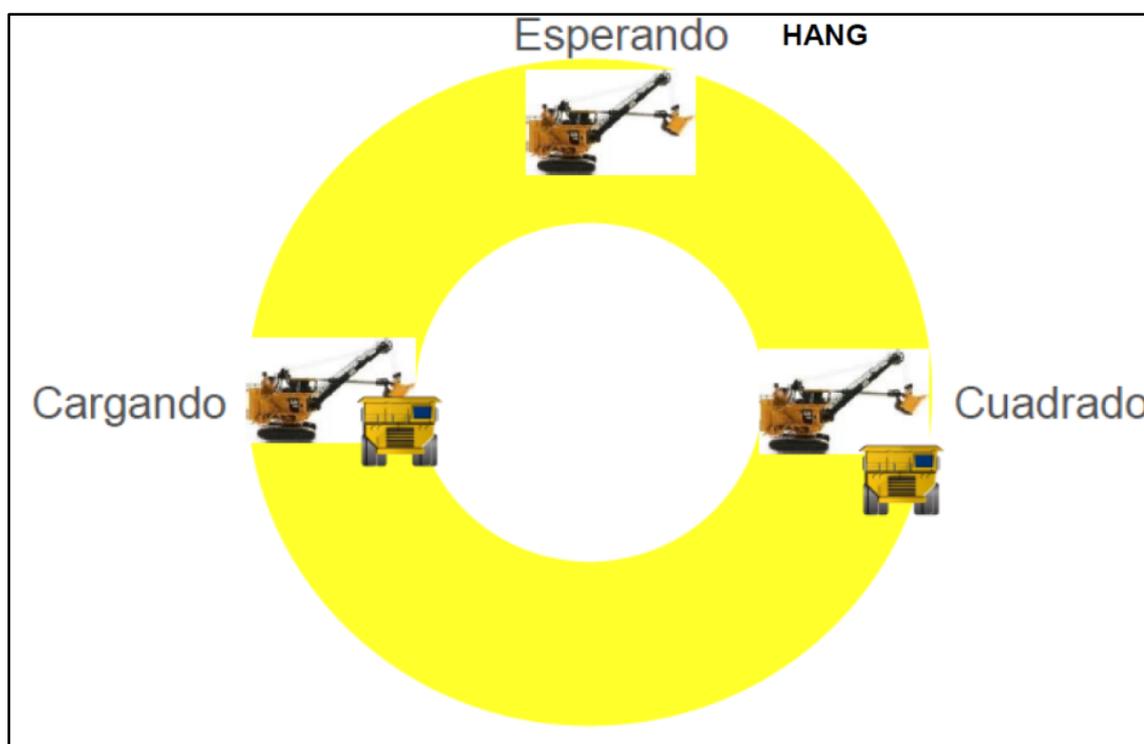
Son las horas en las cuales el equipo está operativo, pero no está realizando algún trabajo, por ejemplo se tienen demoras por: Cambio de guardia, refrigerio, abastecimiento de combustible, etc.

2.2.9. Horas en stand-by

Es el tiempo en el cual el equipo está apagado o detenido, pero disponible para la operación, por ejemplo si tienen las siguientes paradas por *stand-by*: Falta de palas, falta de volquetes, falta de operador, etc.

Dentro de las horas operativas, se tiene el ciclo de operación de una pala, el cual consiste en: Tiempo volquete cuadrando, tiempo pala cargando y tiempo pala esperando (ver figura 2.13). Para el cálculo de la velocidad de excavación solamente se toma en cuenta el tiempo de pala cargando a los volquetes y el tonelaje cargado durante ese tiempo.

Figura 2.13. Ciclo de pala.



Fuente: Reporte operacional *CATERPILLAR*.

2.3. Hipótesis de la investigación

2.3.1. Hipótesis general

- A medida que se reduce el parámetro de fragmentación P80 menor a 40 centímetros se produce un incremento en la velocidad de excavación mayor a 9 000 toneladas por hora, cuando es mayor a 40 centímetros se produce una disminución en la velocidad de excavación de las palas electro-mecánicas (H₁).

2.3.2. Hipótesis específicas

- Cuando se tiene material con fragmentación P80 mayor a 40 centímetros, la velocidad de excavación de la pala de 42,8 m³ sufre una variación menor a 9 000 toneladas por hora, cuando carga a volquetes de 363 toneladas (H₂).
- Cuando se tiene material con fragmentación P80 mayor a 40 centímetros, la velocidad de excavación de la pala de 45,9 m³ sufre una variación menor a 9500 toneladas por hora, cuando carga a volquetes de 363 toneladas (H₃).
- Cuando se tiene material con fragmentación P80 mayor a 40 centímetros, la velocidad de excavación de la pala de 55,8 m³ sufre una variación menor a 11000 toneladas por hora, cuando carga a volquetes de 290 toneladas (H₄).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo y diseño de la investigación

La investigación es de tipo cuantitativo con alcance descriptivo, puesto que se medirá valores numéricos de fragmentación y tiempos de excavación que realiza el equipo de carguío; es descriptivo porque se evaluará como afecta el cambio de la fragmentación con respecto a la velocidad de excavación.

El diseño de la investigación es de tipo no experimental – longitudinal, en el cual las variables no han sido manipuladas deliberadamente, se analizará la información de enero a diciembre 2015, en los turnos de día solamente.

3.2. Método de investigación

Se empleará el método de investigación aplicativo, debido a que se usará la información y conocimiento disponible acerca de las palas electro-mecánicas y se propondrá nuevas aplicaciones de utilidad en base a los resultados que se obtendrán de forma inductiva (de lo particular a lo general).

El procedimiento para manejar los factores (velocidad de excavación y fragmentación P80) se hará de la siguiente forma:

- Muestreo de factores por medio de la obtención de la base de datos de tonelajes, tiempo de carguío y fragmentación P80.
- Filtrado de datos inconsistentes.
- Selección de datos.
- Procesamiento de datos utilizando estadística descriptiva.
- Generación de gráficas estadísticas (curvas, histogramas, nubes de puntos XY).
- Interpretación de datos.

3.3. Identificación y operacionalización de variables

3.3.1. Variables independientes

La variable independiente es el parámetro de fragmentación P80 (cm).

3.3.2. Variables dependientes

La variable dependiente es la velocidad de excavación o *dig rate* (TM/h).

3.3.3. Operacionalización de variables

Tabla 3.1. Operacionalización de variables.

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍNDICE	VALOR FINAL
Efecto del parámetro de fragmentación P80	Es la representación de la distribución de tamaños menores a X valores de los fragmentos correspondientes al 80% del material total.	Pala 04 (42,8 m ³) que carga a volquetes CAT 797F de 363 TM	Fragmentación P80	cm	Bajo: < 40 cm Alto: > 40 cm
		Pala 05 (45,9 m ³) que carga volquetes CAT 797F de 363 TM	Fragmentación P80	cm	Bajo: < 40 cm Alto: > 40 cm
		Pala 06 (55,8 m ³) que carga volquetes K930E de 290 TM	Fragmentación P80	cm	Bajo: < 40 cm Alto: > 40 cm
Velocidad de excavación de las palas electro-mecánicas	Es el ratio entre el tonelaje y el tiempo específico de carguío de una pala a un determinado volquete.	Pala 04 (42,8 m ³) que carga a volquetes CAT 797F de 363 TM	Toneladas métricas por hora	TM/h	Bajo: < 9 000 Alto: > 9 000
		Pala 05 (45,9 m ³) que carga volquetes CAT 797F de 363 TM	Toneladas métricas por hora	TM/h	Bajo: < 9 500 Alto: > 9 500
		Pala 06 (55,8 m ³) que carga volquetes K930E de 290 TM	Toneladas métricas por hora	TM/h	Bajo: < 11 000 Alto: > 11 000

Fuente: Elaboración propia.

La variable “efecto del parámetro de fragmentación P80” se medirá a partir de los 40 centímetros (mayor o menor a este valor) para todas las palas y todas las flotas de volquetes.

La variable “velocidad de excavación de las palas electro-mecánicas” será disgregada en función al tamaño del cucharón de cada pala. Por lo que, la pala de menor capacidad (42,8 m³) se medirá a partir de las 9 000 TM/Hr, la pala de mediana capacidad (45,9 m³) se medirá a partir de las 9 500 TM/Hr y la pala de mayor capacidad (55,8 m³) se medirá a partir de las 11 000 TM/Hr.

3.4. Población y muestra

La población “N” en estudio son los 900 datos de fragmentación P80 y velocidad de excavación de 03 palas electromecánicas *BUCYRUS 495BIII* y *495HR* de 42,8; 45,9 y 55,8 m³ que se generan en 01 año de trabajo (solo en el turno día). La muestra “n” son 180 datos de fragmentación P80 y velocidad de excavación tomados de una de las tres palas en mención. La metodología de cálculo del tamaño de la muestra (Hernández, Fernández, Baptista, 2006) es la siguiente:

$$n = \frac{n'}{1 + \left(\frac{n'}{N}\right)} \quad n' = \frac{s^2}{V^2} \quad V^2 = se^2 \quad s^2 = p(1 - p)$$

Dónde:

- N = tamaño de la población (900).
- n = tamaño de la muestra ajustada.
- n' = tamaño de la muestra sin ajustar.
- s² = Varianza de la muestra.
- V² = Varianza de la población al cuadrado.
- se = Error estándar (2 %).
- P = Nivel de confianza (90 %).

Reemplazando:

$$n' = \frac{0.9(1 - 0.9)}{(0.02)^2} = 225$$

$$n = \frac{225}{1 + \left(\frac{225}{900}\right)} = 180$$

3.5. Técnica de muestreo

La técnica seleccionada es el muestreo probabilístico estratificado con selección sistemática de las unidades de muestreo. Es probabilístico estratificado porque se tienen datos de un año de trabajo de tres palas con diferente tamaño de cucharón. La estructura de muestreo sistemática se muestra en la tabla 3.2.

Tabla 3.2. Muestreo.

Fecha	Pala 04	Pala 05	Pala 06	Fecha	Pala 04	Pala 05	Pala 06
01-Ene	1	61	121	05-Jul	31	91	151
06-Ene	2	62	122	10-Jul	32	92	152
11-Ene	3	63	123	15-Jul	33	93	153
16-Ene	4	64	124	20-Jul	34	94	154
21-Ene	5	65	125	25-Jul	35	95	155
05-Feb	6	66	126	04-Ago	36	96	156
10-Feb	7	67	127	09-Ago	37	97	157
15-Feb	8	68	128	14-Ago	38	98	158
20-Feb	9	69	129	19-Ago	39	99	159
25-Feb	10	70	130	24-Ago	40	100	160
02-Mar	11	71	131	03-Sep	41	101	161
07-Mar	12	72	132	08-Sep	42	102	162
12-Mar	13	73	133	13-Sep	43	103	163
17-Mar	14	74	134	18-Sep	44	104	164
22-Mar	15	75	135	23-Sep	45	105	165
01-Abr	16	76	136	03-Oct	46	106	166
06-Abr	17	77	137	08-Oct	47	107	167
11-Abr	18	78	138	13-Oct	48	108	168
16-Abr	19	79	139	18-Oct	49	109	169

21-Abr	20	80	140	23-Oct	50	110	170
01-May	21	81	141	02-Nov	51	111	171
06-May	22	82	142	07-Nov	52	112	172
11-May	23	83	143	12-Nov	53	113	173
16-May	24	84	144	17-Nov	54	114	174
21-May	25	85	145	22-Nov	55	115	175
05-Jun	26	86	146	02-Dic	56	116	176
10-Jun	27	87	147	07-Dic	57	117	177
15-Jun	28	88	148	12-Dic	58	118	178
20-Jun	29	89	149	17-Dic	59	119	179
25-Jun	30	90	150	22-Dic	60	120	180

Fuente: Elaboración propia.

3.6. Instrumentos de medición de datos

Para la realización del presente trabajo se utilizará los siguientes instrumentos de medición de datos:

- Sistema *Split-Online*® versión 4.1; este sistema consiste en la instalación de cámaras en las palas, las cuales registran fotografías del material que carga el cucharón durante el turno día, estas fotografías son procesadas en *software* emitiendo reportes de los valores de P80.
- Sistema *MineOps*® versión 2.02-001; este sistema consiste en la instalación de *GPS's* en las palas y volquetes, en el cual se registra las cargas realizadas en los volquetes (según factor de carga establecido) y registra los tiempos de carguío, por lo que se puede calcular la velocidad de excavación de cada pala en cada fecha.

3.7. Procesamiento de información

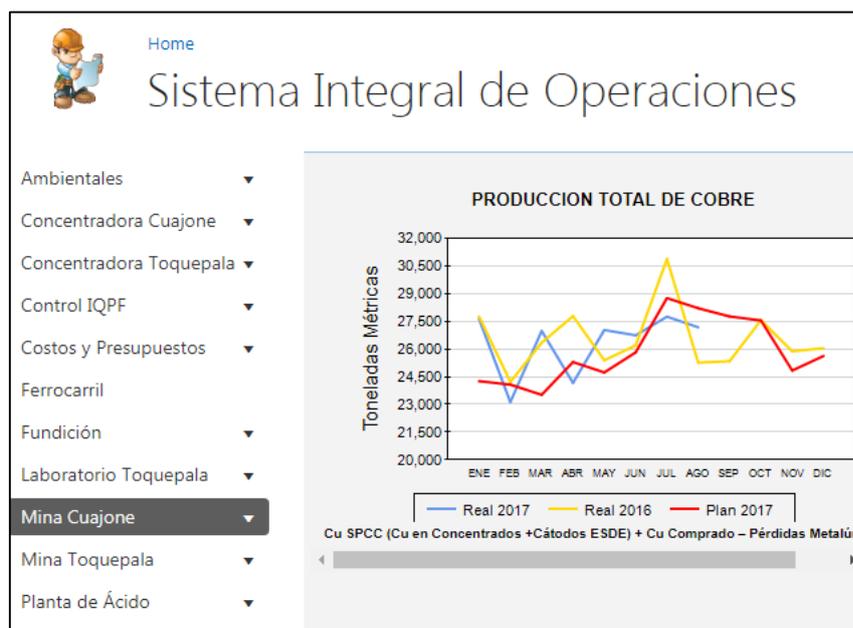
Se hará por medio de análisis estadístico descriptivo y se presentará en tablas, gráficas de tendencia e histogramas. Esta información se procesarán en una hoja de cálculo (*Microsoft Excel*®).

3.8. Procedimiento de obtención de datos de fragmentación P80

Para la obtención de información de fragmentación, se recurrió al sistema informático de SPCC “SIO” o “Sistema Integral de Operaciones”, el cual almacena toda la información que se capta del *Split-Online*. En este sistema se puede obtener datos de fragmentación de un turno de trabajo específico, de un mes, de un año, de una pala en particular, etc., dependiendo del tipo de análisis que se requiera. Es posible comparar con la velocidad de excavación calculada por cada pala, ver anexos D y E.

Para acceder a este sistema se tiene que ingresar mediante la Intranet de SPCC en la dirección: [Http://sio/SitePages/Home.aspx](http://sio/SitePages/Home.aspx), el cual se muestra en la figura 3.1.

Figura 3.1. Ventana SIO.

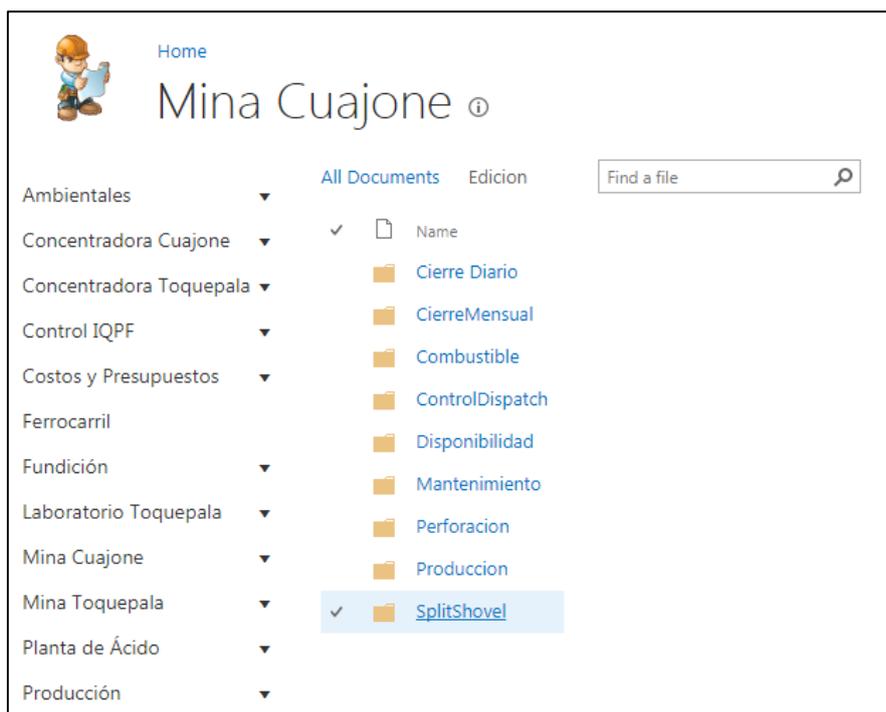


Fuente: SIO – SPCC.

En la parte izquierda, hacemos clic en Mina Cuajone y nos aparecerá las opciones del tipo de reporte (ver figura 3.2).

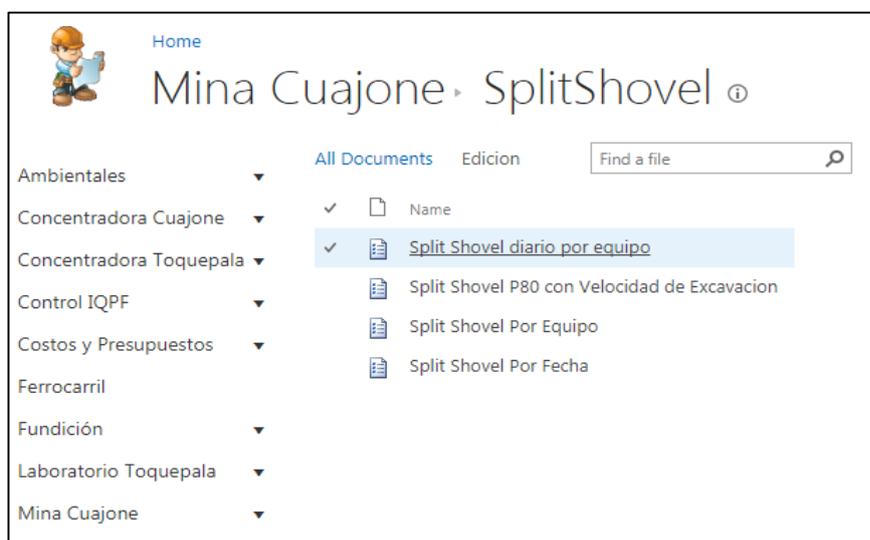
En la lista que aparece, damos clic en *SplitShovel*, luego dar clic en *Split Shovel* diario por equipo (ver figura 3.3).

Figura 3.2. Ventana SIO reportes mina Cuajone.



Fuente: SIO – SPCC.

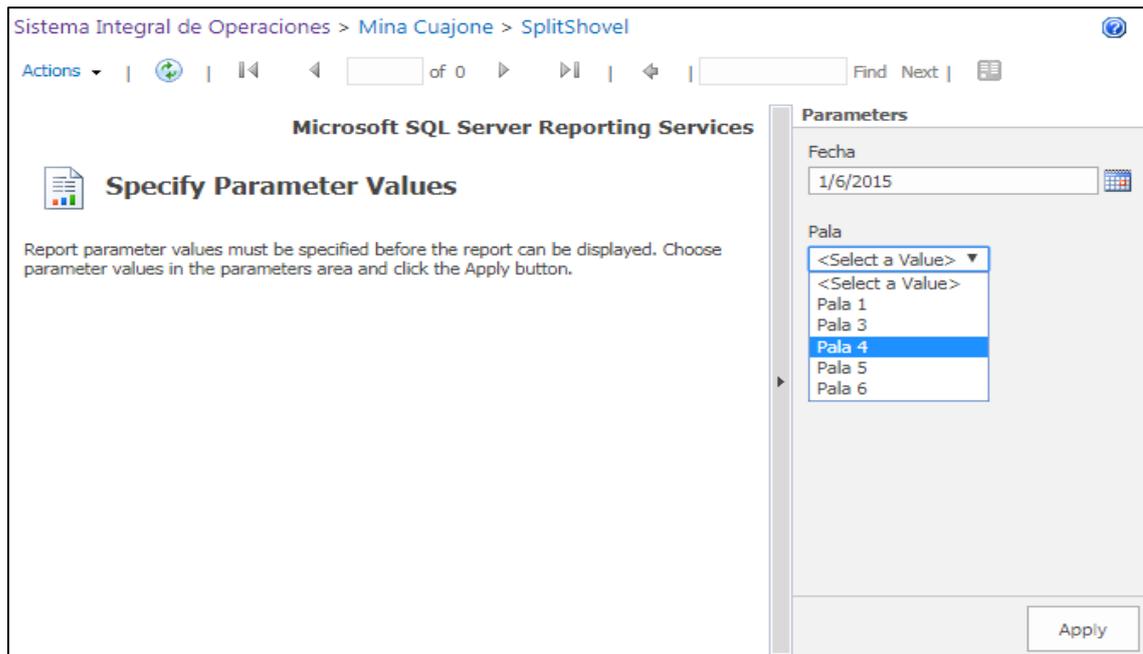
Figura 3.3. Ventana SIO reportes *SplitShovel*.



Fuente: SIO – SPCC.

En la lista de opciones, damos clic en *Split Shovel* diario por equipo, en el cual nos muestra los parámetros que queremos visualizar (ver figura 3.4).

Figura 3.4. Ventana SIO reporte *SplitShovel* diario.



Fuente: SIO – SPCC.

En la parte derecha seleccionamos la fecha y el número de la pala del cual deseamos obtener la información, luego hacemos clic en *Apply*, carga un momento y nos aparece los datos solicitados (ver figura 3.5).

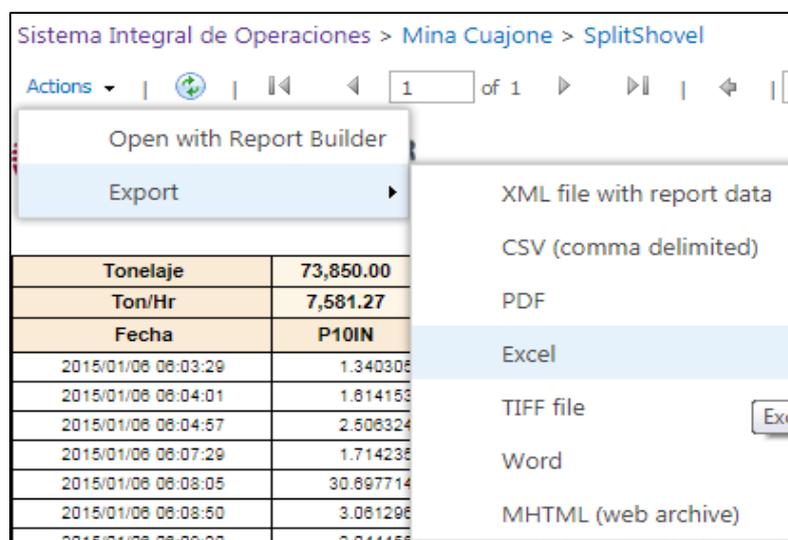
Figura 3.5. Despliegue de datos *SplitShovel* diario.

Tonelaje	73,850.00							
Ton/Hr	7,581.27							
Fecha	P10IN	P20IN	P30IN	P40IN	P50IN	P60IN	P70IN	P80IN
2015/01/06 06:03:29	1.340305	2.801108	3.938438	5.273508	6.719388	8.277098	10.810184	12.96253
2015/01/06 06:04:01	1.814153	3.203211	4.751792	5.751004	7.14417	8.708041	10.281843	14.094188
2015/01/06 06:04:57	2.608324	4.358119	6.032295	8.018828	9.35234	10.66824	13.32779	28.124438
2015/01/06 06:07:29	1.714235	3.705809	5.539041	7.398599	18.772983	18.812288	19.889031	23.754188
2015/01/06 06:08:05	30.897714	48.080364	78.098541	78.124181	78.131966	78.138	78.143854	78.149712
2015/01/06 06:08:50	3.081298	4.748878	5.937355	9.782741	10.503985	12.573834	17.972801	30.142718
2015/01/06 06:09:20	2.044456	4.400252	5.513893	7.167405	8.08723	9.878705	10.988451	11.936857
2015/01/06 06:10:12	1.588819	3.441726	4.915424	6.188393	7.483771	8.250278	9.194951	10.0088
2015/01/06 06:10:46	1.473818	2.881442	4.142549	5.864549	7.297882	8.177423	10.831495	12.39222
2015/01/06 06:11:18	0.905783	2.448813	3.863215	4.578537	5.82493	6.70585	7.288239	8.877558
2015/01/06 06:12:08	0.427027	0.928285	1.618583	2.1746	2.707428	3.31882	4.274889	5.52656

Fuente: SIO – SPCC.

Una vez que se cargan los datos, en la parte superior izquierda hacemos clic en *Actions*, *Export* y *Excel* para extraer la información en un formato conocido (ver figura 3.6).

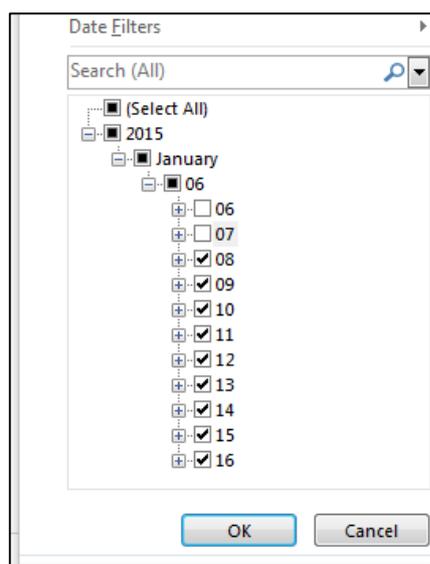
Figura 3.6. Exportación de datos al *Excel*.



Fuente: SIO – SPCC.

Una vez tengamos los datos exportados al *Excel*, debemos filtrar el campo de la fecha, en el cual debemos seleccionar solamente las horas de trabajo en el turno día solamente, de 8 a 16 horas (ver figura 3.7).

Figura 3.7. Filtro de datos.



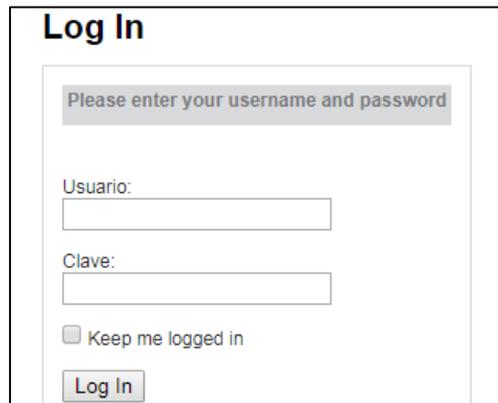
Fuente: *Excel*.

Luego de ello, con la ayuda del mismo *Excel* debemos calcular el promedio de los datos de fragmentación P80 del turno, convertirlo a centímetros y registrarlo en la base de datos del proyecto de investigación.

3.9. Procedimiento de obtención de datos de velocidad de excavación

Para la obtención de información de velocidad de excavación, se recurrió al sistema informático de *SPCC JView*, el cual almacena toda la información que se capta del *MineOps*. Para acceder a este sistema se tiene que ingresar mediante la Intranet de *SPCC* en la dirección: “*Http://cjview/jView/Account/Login.aspx*”, se debe ingresar usuario y clave (ver figura 3.8).

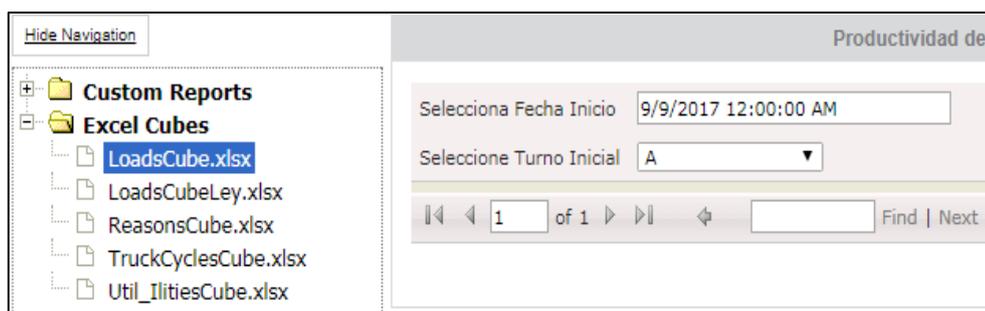
Figura 3.8. Ventana de logeo para ingreso al sistema *JView*.



Fuente: *JView*.

En la ventana principal, parte derecha seleccionamos *LoadsCube.xlsx* (ver figura 3.9).

Figura 3.9. Ventana principal del *JView*.

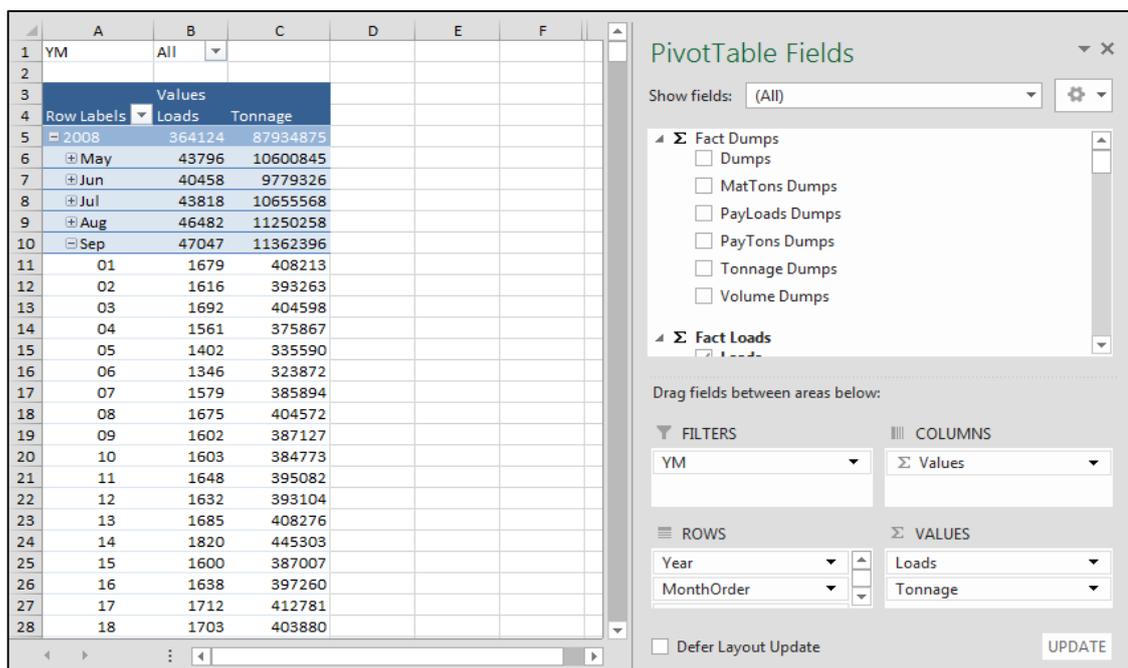


Fuente: *JView*.

A continuación nos mostrará una hoja *Excel* denominada *Cubo*, el cual es similar a una tabla dinámica, en el cual se puede desplegar los datos de número de cargas y descargar y el tonelaje correspondiente a cada carga.

En el cubo de cargas se puede personalizar la información que se desea mostrar, de acuerdo al volumen o tonelaje correspondiente a un determinado rango de turnos (ver figura 3.10).

Figura 3.10. Cubo de cargas y descargas.

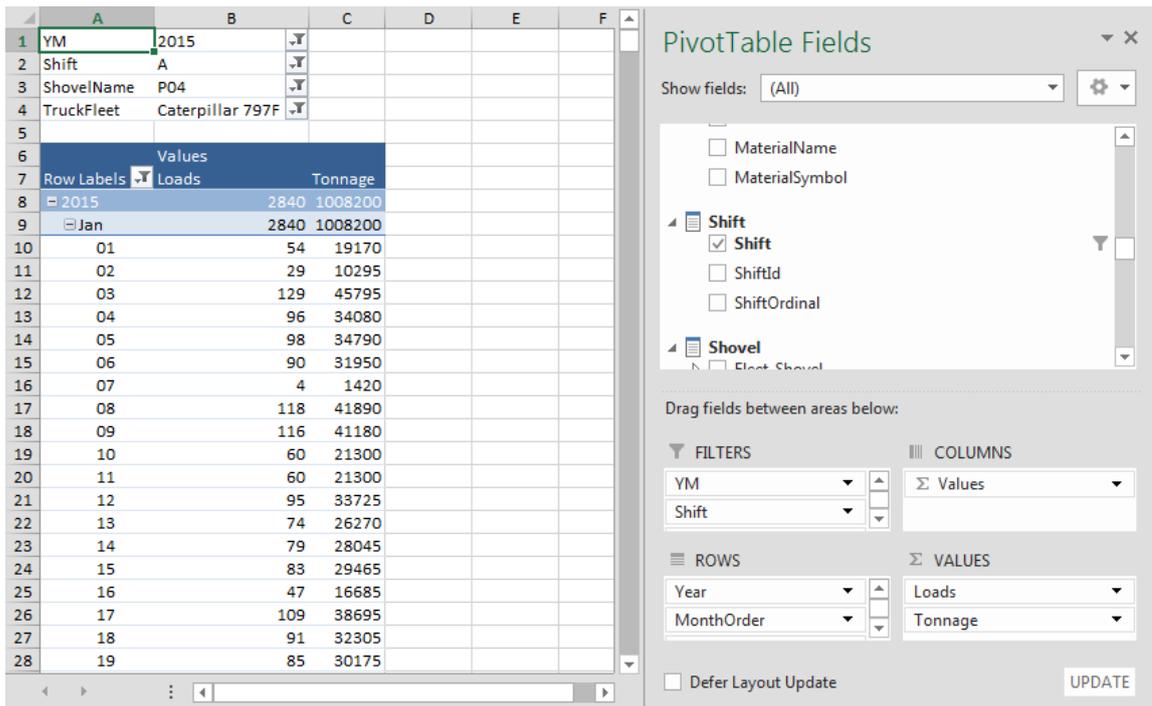


Fuente: *Excel LoadsCube*.

En el cubo, filtrar los campos de fecha, en este caso para todo Enero 2015, filtro de turno solo día, filtro de pala 4 y volquete 797F (ver figura 3.11).

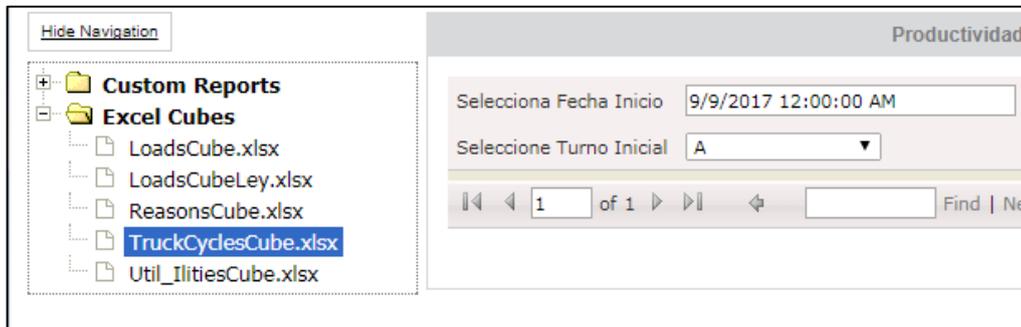
Los datos desplegados se deben copiar a otra hoja aparte, solamente considerar los tonelajes. Posteriormente se debe regresar a la ventana principal del *JView* para ingresar al cubo de ciclos de volquetes *TruckCyclesCube.xlsx* (ver figura 3.12), el cual nos puede mostrar toda la información de los tiempos de viaje, cola y tiempo de carguío.

Figura 3.11. Filtro de datos de fecha, pala y volquetes.



Fuente: *Excel LoadsCube*.

Figura 3.12. Ventana principal del *JView (TruckCyclesCube)*.

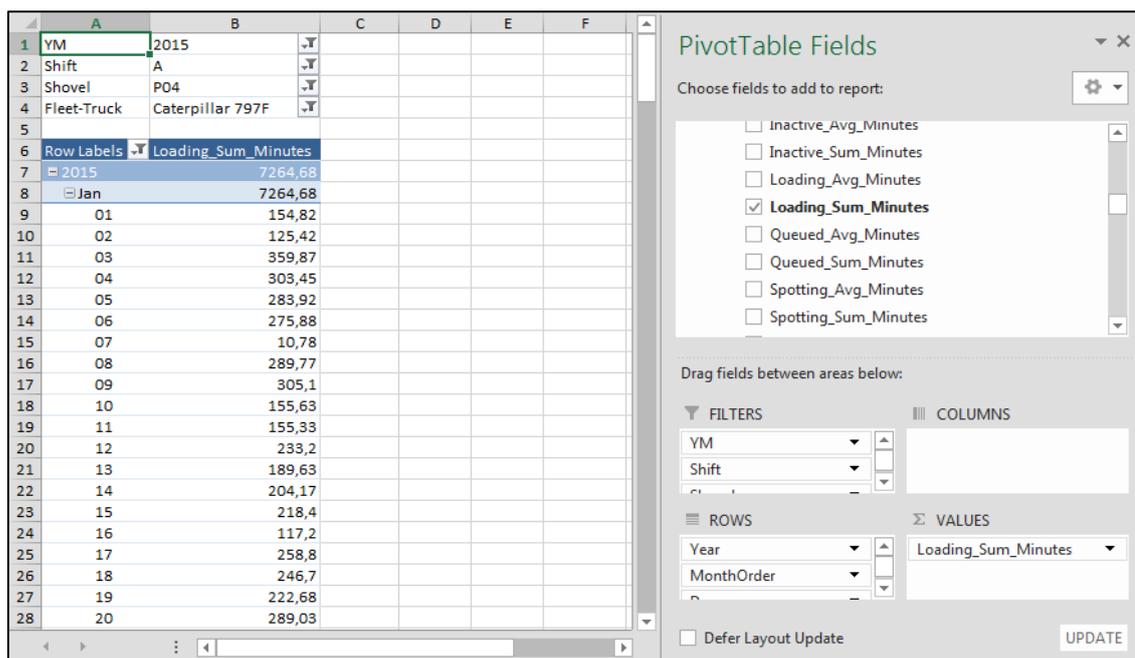


Fuente: *JView*.

En el cubo filtrar los datos de fecha para Enero 2015, turno día, pala 4, volquetes 797F y el campo *Loading_Sum_Minutes* (ver figura 3.13), el cual nos muestra la suma en minutos del tiempo de carguío.

Los datos se deben copiar a otra hoja aparte, convertir a horas y dividir los datos de tonelaje con los datos de tiempo de carguío, con ello se obtiene la velocidad de excavación (ver figura 3.14).

Figura 3.13. Filtro de datos de tiempo de carguío.



Fuente: *Excel LoadsCube*.

Figura 3.14. Cálculo de velocidad de excavación.

A	B	C	D	E
	Fecha	Tonelaje	Tiempo Carguío (Hrs.)	Vel. Excav. (Ton/Hr.)
1				
2				
3	1	19170	2.6	7429
4	2	10295	2.1	4925
5	3	45795	6.0	7635
6	4	34080	5.1	6739
7	5	34790	4.7	7352
8	6	31950	4.6	6949
9	7	1420	0.2	7901
10	8	41890	4.8	8674
11	9	41180	5.1	8098
12	10	21300	2.6	8212
13	11	21300	2.6	8227
14	12	33725	3.9	8677
15	13	26270	3.2	8312
16	14	28045	3.4	8242
17	15	29465	3.6	8095
18	16	16685	2.0	8542
19	17	38695	4.3	8971
20	18	32305	4.1	7857
21	19	30175	3.7	8130
22	20	38695	4.8	8033
23	21	32660	4.2	7855
24	22	32305	4.0	8037

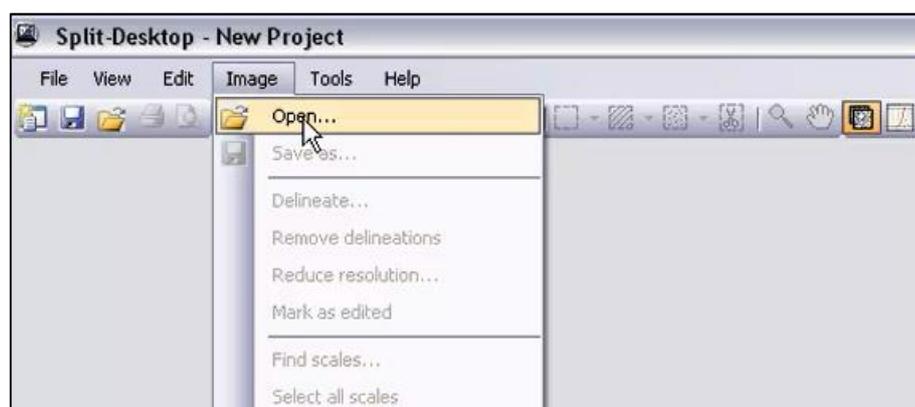
Fuente: Elaboración propia.

3.10. Software Split Desktop – procedimiento y bondades

A continuación se muestra los pasos para obtener el valor de P80 haciendo uso del *software Split Desktop* versión 3.0

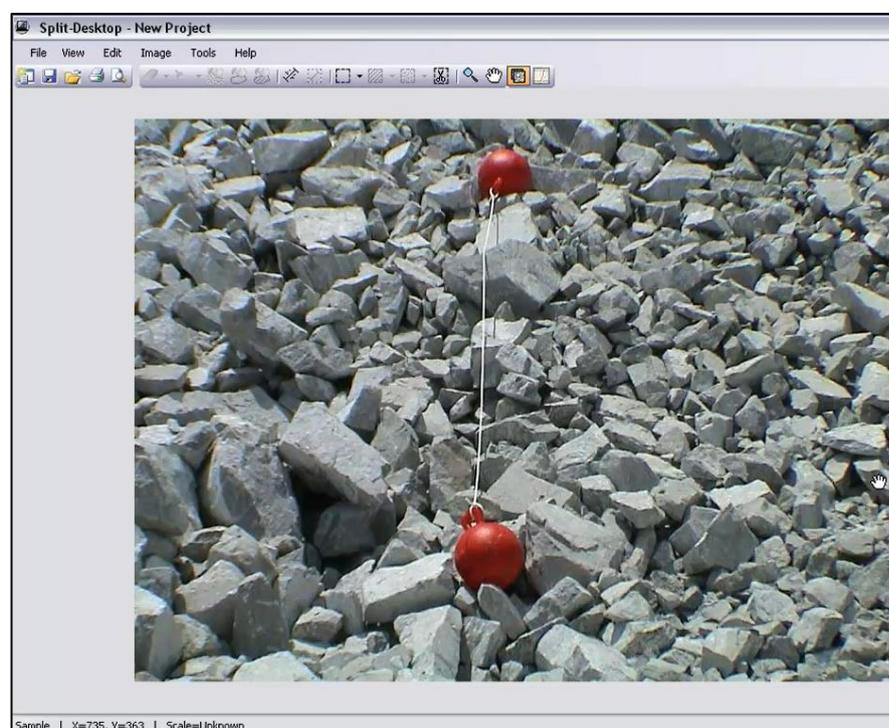
Una vez abierto el programa, en la barra de menú, hacer clic en *Image* y *Open*, en el explorador buscar el archivo y seleccionar, la imagen se cargará al proyecto.

Figura 3.15. Inicio de proyecto.



Fuente: *Split Engineering*.

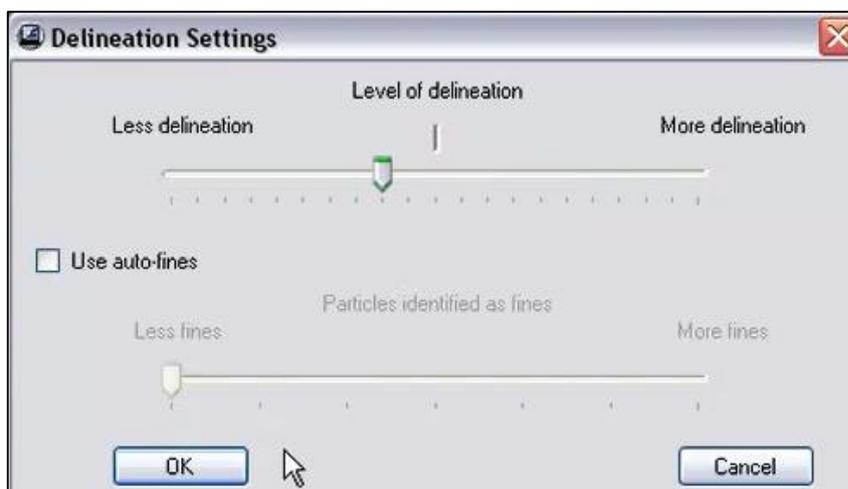
Figura 3.16. Imagen cargada.



Fuente: *Split Engineering*.

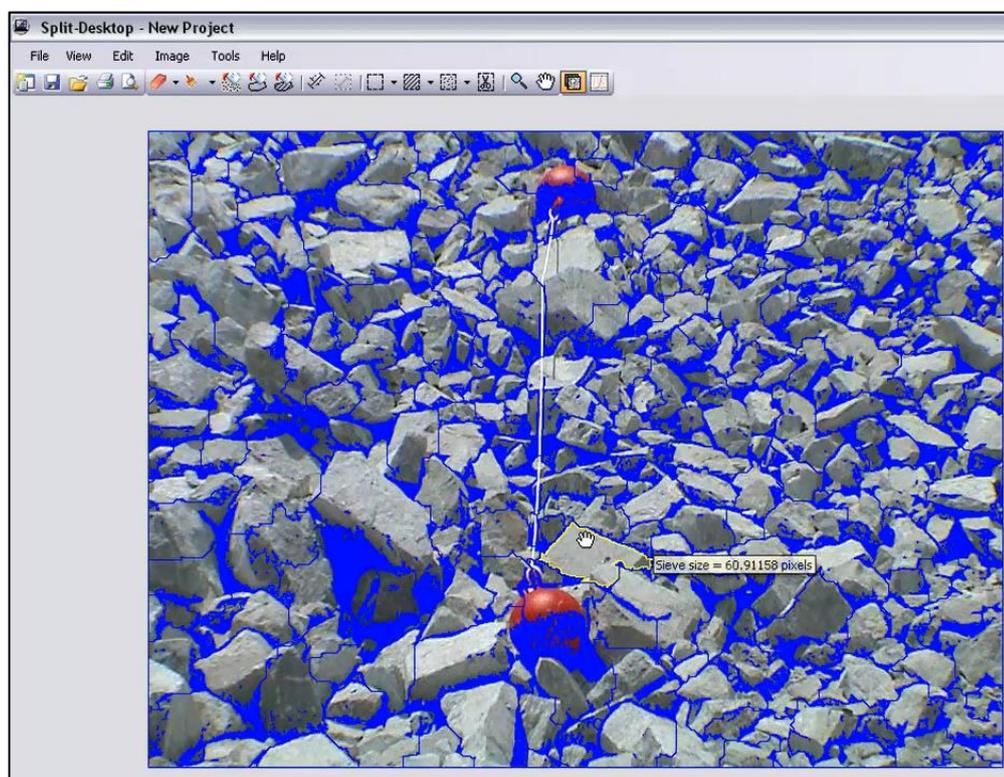
Como siguiente paso se debe delinear la imagen, para ello debemos seleccionar la imagen cargada en el proyecto, ir al menú *Image*, hacer clic en *Delineate*. Aparecerá una ventana en la cual se podrá ajustar el nivel de delimitación deseado, hacer clic en OK y nos mostrará las delimitaciones en color azul.

Figura 3.17. Configuración de delimitación.



Fuente: *Split Engineering*.

Figura 3.18. Delineación.



Fuente: *Split Engineering*.

Luego de la delimitación, procederemos a escalar la imagen, para ello en la barra de herramientas buscamos el botón *Scale tool*, con el cual trazaremos una línea sobre la el objeto de referencia, el cual indicaremos que tiene un diámetro de 10 pulgadas. Para mayor precisión podemos ocultar las delimitaciones y hacer un *zoom* a los objetos de referencia.

Figura 3.19. Botón escalar.



Fuente: *Split Engineering*.

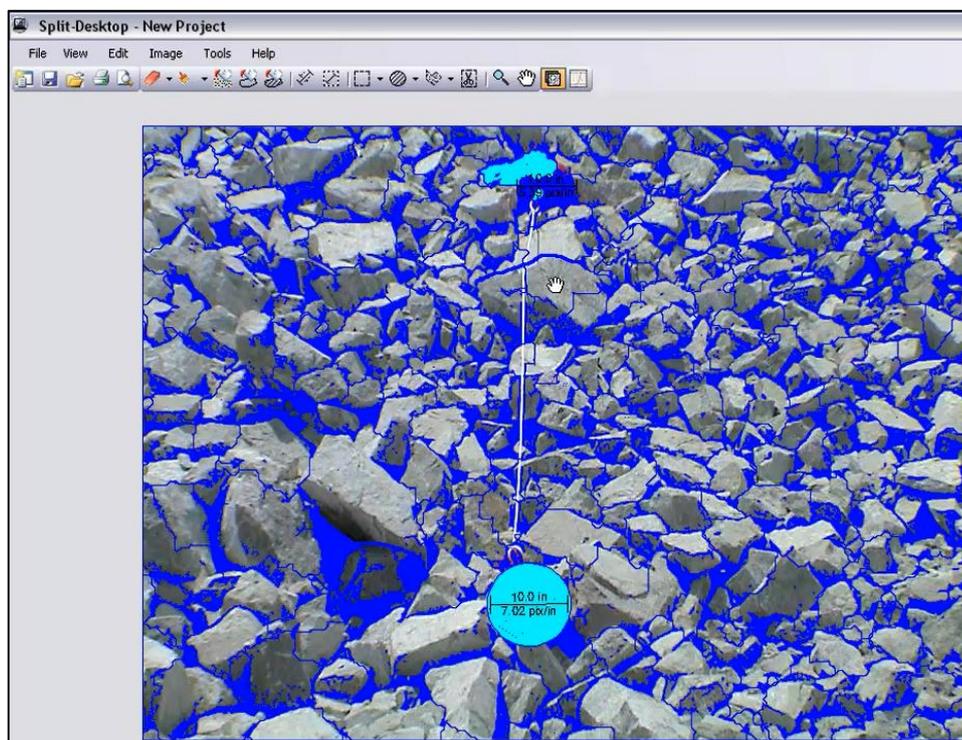
Figura 3.20. Configuración de escala.



Fuente: *Split Engineering*.

Opcionalmente, existen herramientas para editar las delineaciones, las cuales consisten en borrar áreas, crear nuevas delineaciones, delimitar áreas, rellenar áreas y borrar áreas, tal como se muestra en la figura 3.21.

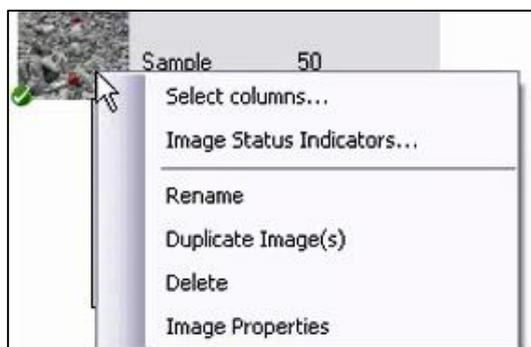
Figura 3.21. Edición de delineaciones.



Fuente: *Split Engineering*.

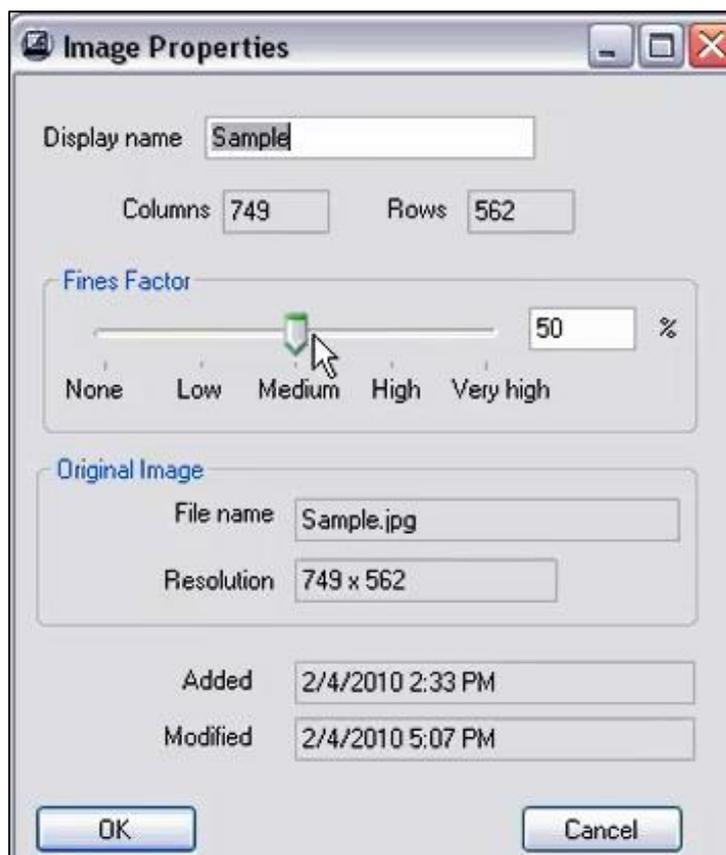
Un punto importante es ingresar el factor de finos, para ello hacemos clic derecho en la imagen y seleccionamos *Image Properties*, en el cual nos aparecerá un cuadro en el cual podemos ajustar este factor de 0 a 100 %, por defecto está al 50 %.

Figura 3.22. Propiedades de imagen.



Fuente: *Split Engineering*.

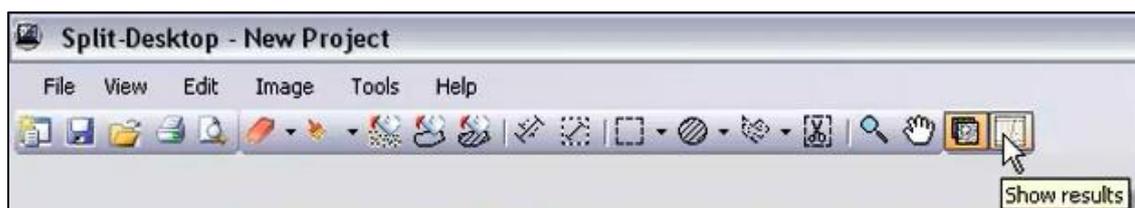
Figura 3.23. Configuración del factor de finos.



Fuente: *Split Engineering*.

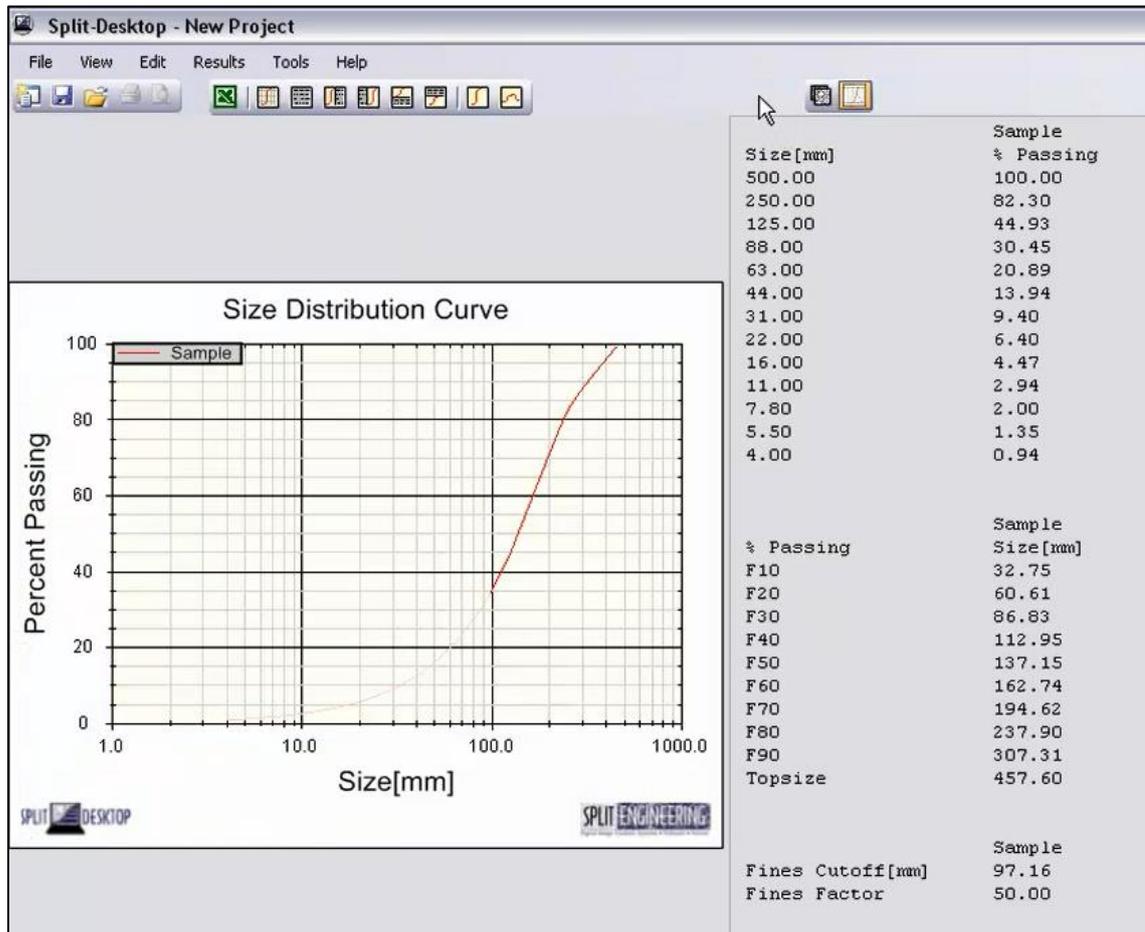
Finalmente debemos ejecutar el programa para que nos muestre los resultados de la fragmentación, por medio de una gráfica. Para ello hacemos clic en la imagen en la cual estamos trabajando y hacemos clic en el botón *Show results*, en la misma pantalla nos aparecerá curva de distribución granulométrica, esta gráfica puede ser editada (colores, leyenda, unidades) y además los datos pueden ser exportados a una hoja de cálculo.

Figura 3.24. Botón resultados.



Fuente: *Split Engineering*.

Figura 3.25. Gráfica de resultados.



Fuente: *Split Engineering*.

Las bondades que nos ofrece este *software* son:

- Tiene un entorno amigable, el cual no requiere mucha capacitación.
- Ajuste manual de cada imagen para tener mayor precisión de los resultados.
- Posibilidad de automatizar el ingreso y análisis de fragmentación de cada imagen.
- En conjunto con el *Split Online*, nos permite procesar masivamente las imágenes que se toman del cucharón de la pala.

3.11. Matriz de consistencia

Ver anexo J.

CAPÍTULO IV

CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INVESTIGACIÓN

4.1. Ubicación

La unidad minera Cuajone se encuentra ubicada al sur del Perú entre los 2 950 y 3 880 m.s.n.m., aproximadamente a 45 kilómetros de la ciudad de Moquegua, distrito de Torata, provincia de Mariscal Nieto, departamento de Moquegua (ver figura 4.1). El área de la unidad minera Cuajone está representada por las coordenadas *UTM* 317 685 E – 8 117 350 N; 319 515 E – 8 115 815 N. Zona 19, banda K (*Datum* WGS-84), las cuales pertenecen a la carta topográfica nacional 35-u correspondientes al cuadrángulo de Moquegua, ver Figura 4.1 y Anexo K.

Figura 4.1. Ubicación de la unidad minera Cuajone.



Fuente: Presentación general - gerencia mina Cuajone.

4.2. Accesibilidad

La accesibilidad por vía terrestre se muestra según la tabla 4.1.

Tabla 4.1. Acceso desde Lima.

RUTA	DISTANCIA (Km)	TIEMPO (En auto)	VÍA
Lima - Moquegua	1 146	14 h	Carretera Panamericana Sur
Arequipa - Moquegua	227	3 h	Carretera Panamericana Sur
Tacna-Moquegua	159	1,5 h	Carretera Panamericana Sur

Fuente: Elaboración propia.

Para acceder a la unidad minera desde Moquegua se muestra según la ruta indicada en la tabla 4.2.

Tabla 4.2. Acceso desde Moquegua.

RUTA	DISTANCIA (Km)	TIEMPO (En auto)	VÍA
Moquegua - Desvío Torata	25	20 min	Interoceánica Sur
Desvío Torata - Villa Botiflaca	20	20 min	Carretera Cuajone

Fuente: Elaboración propia.

4.3. Geología

Para poder realizar la interpretación geológica del yacimiento de Cuajone, se han utilizado un total de 774 taladros de perforación diamantina que han sido realizados en diferentes campañas de perforación desde el año 1942 a la fecha. Adicionalmente se ha considerado el mapeo superficial actualizado del yacimiento.

Modelo de roca

A través de los años en Cuajone se ha podido diferenciar un total de 29 rocas que han sido reconocidas en superficie y por medio de taladros diamantinos en profundidad. Se ha tomado en consideración el mapeo geológico actualizado en superficie de los diferentes tipos de roca y 774 logueos de taladros de perforación diamantina que equivalen a 268 853 metros de los cuales adicionalmente 87 taladros han sido relogueados para determinar los contactos entre los diferentes pulsos intrusivos de Latita Porfirítica. Estas rocas han sido diferenciadas en rocas Pre minerales, rocas Intrusivas y rocas post minerales de acuerdo a la tabla 4.3.

Tabla 4.3. Tipo de rocas.

Tipo de Roca	Símbolo	Código	Clasificación
Botaderos	Btx	87	
Material Aluvial	AL	51	Post Mineral
Pórfido Andesítico	PA	84	Post Mineral
Aglomerado Superior	AS	52	Post Mineral
Toba Superior	TS	53	Post Mineral
Aglomerado Inferior	AI	54	Post Mineral
Toba Inferior	TI	55	Post Mineral
Toba Cristal	TC	56	Post Mineral
Conglomerado Basal	CB	57	Post Mineral
Conglomerado Verde/Amarillo	CV/CA	60	Post Mineral
Aglomerado Tobáceo	AT	58	Post Mineral
Toba Blanca	TB	59	Post Mineral
Aglomerado Gris	AG	63	Post Mineral
Conglomerado Traquítico	CTR	88	Post Mineral
Traquita	TR	61	Post Mineral
Vitrófiro/Toba Salmón	VT/TS	62	Post Mineral
Conglomerado Riolítico	CR	64	Post Mineral
Latita Porfirítica 3	LP3	74	Intrusiva
Dique	DK	78	Intrusiva
Brecha Estéril	BXE (< 0,10% Cu)	65	Intrusiva
Brecha Marginal	BXMg (0,10 a 0,40% Cu)	82	Intrusiva
Brecha Mineralizada	BXM (> 0,40% Cu)	77	Intrusiva
Latita Porfirítica 2 (BLP)	LP2	68	Intrusiva
Latita Porfirítica 1	LP1	67	Intrusiva
Diorita	DI	71	Intrusiva
Dolerita	DO	90	Pre Mineral
Riolita Porfirítica	RP	69	Pre Mineral
Andesita Basáltica	BA1	70	Pre Mineral
Andesita Intrusiva	BA2	66	Pre Mineral

Fuente: Área de geología – Cuajone.

Modelo de alteración

Se tienen determinados ocho diferentes tipos de alteración que han sido seleccionados basados principalmente en los minerales de alteración predominantes que ocurren en los diferentes tipos de roca, estas se muestran en la tabla 4.4.

Tabla 4.4. Tipo de alteraciones.

Tipo de Alteración	Símbolo	Código
Sin Alteración	VOLCX	300
Propilítica	PROP	301
Propilítica – Fílica	PFIL	305
ArgílicaSupérgena	ARGS	303
Argílica – Fílica	AFIL	304
Fílica	FIL	306
Fílica - Potásica	FPTK	307
Potásica	PTK	309
Botaderos	BTX	310

Fuente: Área de geología – mina Cuajone.

Modelo de mineralización

Actualmente es posible cuantificar los diferentes tipos de minerales mediante el análisis químico del laboratorio en donde se puede identificar mediante el ensaye de cobre secuencial la cantidad o porcentaje de minerales de óxidos, sulfuros enriquecidos y sulfuros primarios de cobre (ver tabla 4.5). Se considera óxidos a todo el material que tiene un porcentaje de cobre soluble en ácido mayor al 20 % del cobre total ($CuSAc / Cu\ Total) \times 100$.

Se considera sulfuros enriquecidos a todo el material que tiene un porcentaje de cobre soluble en cianuro mayor al 50 % del cobre total ($CuSCn / Cu\ Total) \times 100$.

Se considera sulfuro transicional a todo el material que tiene un porcentaje de cobre soluble en cianuro que varía entre 25 y 50 % del cobre total.

Se considera sulfuro primario a todo el material que tiene un porcentaje de cobre residual mayor a 75 % del cobre total.

Tabla 4.5. Tipo de mineralización.

Mineralización	Símbolo	Código	Cu Total	CuSAc	CuSCn
LeachCapping	L	201	< 0,10 %		
Oxidos	O	202	> 0,10 %	> 20 %	
Enriquecido	E	203	> 0,10 %		> 50 %
Transicional	T	204	> 0,10 %		25 a 50 %
Primario	P	205	> 0,10 %		
Desmante	WP	206	< 0,10 %		

Fuente: Área de geología – mina Cuajone.

Modelo de dureza

Geológicamente es posible diferenciar la dureza de una roca principalmente por la presencia de sílice o cuarzo y por el contenido de arcillas lo cual puede ser corroborado con pruebas físicas de rayado de éstas muestras mediante la uña, navaja o golpes de martillo clasificándolas en la escala de *Mohs* con variaciones del 1 al 7 (más blando al más duro) o con variaciones de muy suave, suave, duro y muy duro que tenga una relación directa con el *Work Index* que se obtiene en la Concentradora (ver tabla 4.6).

Tabla 4.6. Dureza.

Roca / Alteración	Símbolo	Código	Clasificación
BA Argílica	BA-ARG	8	Muy Suave
IA Argílica	IA-ARG	9	Suave
LP Qz-Sericita	LP-QS	9,9	Suave
BA Qz en venas	BA-QV	10	Suave
RP Silicificación	RP-S	11	Dura
BA Débilmente fresca	BA-DF	11,5	Dura
IA Fílica Propílica	IA-FP	11,6	Dura
LP Mod. Silicificada	LP-MS	11,7	Dura
Brecha	BX	11,7	Dura
IA QzPervasivo	IA-QP	12	Muy Dura
IA Estruct. Ret. Qz	IA-ESRQ	12,5	Muy Dura
BA Fresca	BA-F	13	Muy Dura
LP Estruct. Ret.QZ	LP-ESRQ	15,2	Muy Dura
LP Fresca	LP-F	15,9	Muy Dura
LP Silicificada	LP-S	16,3	Muy Dura

Fuente: Área de geología – mina Cuajone.

4.4. Geotecnia

Los parámetros geotécnicos son estudiados por consultores con toda la información de campo y laboratorio (grado de cohesión, permeabilidad, porosidad de las rocas), monitoreo de piezómetros e inclinómetros, información del logeo de los taladros diamantinos (*RQD*, grado de fracturamiento, geomecánica de roca, pruebas uniaxiales), mapeos de celdas, mapeo estructural de la mina, información geológica (tipos de roca, mineralización, alteración).

Toda esta información servirá para obtener los ángulos de taludes y dividir la mina en sectores o en dominios estructurales.

Los tipos de roca considerados para los dominios estructurales son:

1. Aluvional-Botaderos (ALUV-BOT).
2. Rocas Volcánicas (VOLC).
3. Riolita Porfírica (RP).
4. Andesita Basáltica (BA).
5. Latita Porfírica (LP).

Taludes del tajo

Los ángulos de talud usados en el trabajo de optimización del tajo se basan en las recomendaciones hechas el estudio geotécnico de Noviembre 2000 por *Golder Associates*. Los ángulos recomendados de las paredes finales del tajo dependen de los siguientes factores:

- El tipo de roca expuesta sobre la superficie final del tajo.
- Los dominios estructurales definidos por *Golder*.
- El azimut (dirección) de las paredes finales del tajo.

Estos factores geológicos / geométricos fueron usados para construir un juego de polígonos de sectores de talud para controlar el ángulo de talud usados a lo largo de las paredes finales del tajo durante el proceso de optimización del tajo.

Sectores y ángulos de talud

En la tabla 4.7 se resume el tipo de roca e información del azimut de las paredes del tajo asociado con cada dominio estructural y el ángulo asociado de talud inter-rampa. Los ángulos de talud, área de sectores y tipo de rocas expuestas sobre el cascarón del tajo final (anexo I).

Tabla 4.7. Ángulos inter-rampas.

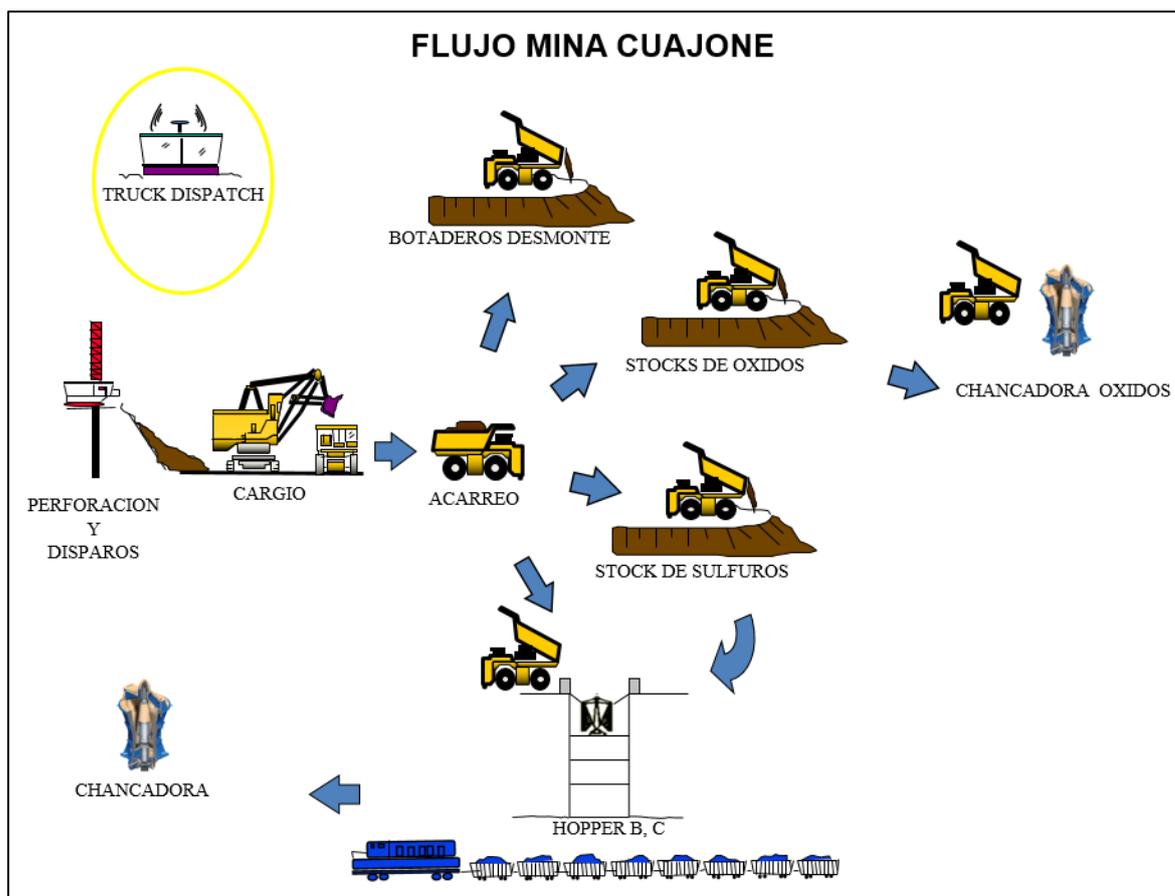
XTRA4	TIPO DE ROCA		SLOPE	PHSLP
codigo			BANCO	INTER-RAMPA
1	AL	AL/BOT	65	38
2	VOLC N	VOLC	70	47
3	VOLC S		70	47
4	RP	RP	60	38
5	RP		65	42
6	LP1		65	43
7	BLP		65	43
8	LP1	LP	65	46
9	BLP		65	46
10	LP1		65	46
11	BA NE		60	38
12	BA SE		60	38
13	BA SW	BA	65	42
14	BA NW		65	45
15		default	65	42

Fuente: Área de geotecnia – mina Cuajone.

4.5. Operaciones mina

La operación consiste en la explotación por método de minado a tajo abierto, el objetivo de movimiento de material fue de aproximadamente 525 000 toneladas por día (durante el periodo estudiado), siendo el ciclo de minado: Perforación, voladura, carguío y acarreo (ver figura 4.2); además de actividades que son asistidas por los trabajos realizados por equipos auxiliares, movimiento de cables, drenaje y sistema de control *Truck Dispatch*. Los destinos del acarreo pueden variar dependiendo del tipo de material que se acarrea y de la disponibilidad de las zonas de descarga (*Hopper*, *chancadora primaria*, etc.).

Figura 4.2. Flujo de operación mina.



Fuente: Presentación general gerencia mina Cuajone.

4.5.1. Perforación

La perforación se realiza con los siguientes equipos:

- 02 perforadoras rotativas eléctricas *P&H 120A*.
- 02 perforadoras rotativas eléctricas *P&H 320XPC*.
- 01 perforadora rotativa eléctrica *BUCYRUS 49RIII*.
- 01 perforadora rotativa eléctrica *BUCYRUS 49HR*.
- 01 perforadora rotativa eléctrica *BUCYRUS 39HR*.
- 02 perforadoras *DTH* a diésel *SANDVIK DR560* (para pre-corte).
- 01 perforadora *DTH* a diésel *ATLAS COPCO ROCK L8* (para pre-corte).
- 01 perforadora *DTH* a diésel *SANDVIK DX700* (para voladura secundaria).

Los diámetros de perforación son de 12 ¼” para producción, 5” para pre-corte y 3 ½” para voladura secundaria. Comúnmente se usa la malla de perforación de tipo

triangular equilátera en bancos de 15 metros de altura, la sobreperforación es de 1,5 metros y el burden y espaciamiento varían de acuerdo a la dureza de la roca, los mallas pueden variar de 6,9x8,0 a 9,5x11,0

El trazo de la malla de perforación se realiza con el *software Minesight* de acuerdo a los parámetros establecidos por la jefatura de perforación y disparos, para la perforación en campo se usa los sistemas de alta precisión con la que cuentan las perforadoras las cuales se transmiten por medio del sistema *MineOps*.

4.5.2. Voladura

Para la voladura se usan los siguientes equipos:

- 01 camión *ANFO*
- 01 camión fábrica

Estos equipos son utilizados para cargar el *Heavy ANFO* (50/50, 60/40, 45/55) o la emulsión gasificada en los taladros de voladura, adicionalmente se cuentan con 02 minicargadores para tapado de taladros. Se usa accesorios como: Retardos de superficie, *boosters*, línea silenciosa, etc. Para la voladura en material de desmonte se usan detonadores pirotécnicos *Exel* y para mineral se usa detonadores electrónicos *I-kon*, además se aplica la técnica de voladura con cámaras de aire en los taladros. El factor de carga varía de 0,19 a 0,55 kilogramo de explosivo por tonelada de material. El tipo de malla de voladura es por secuencia de salida en filas. Los trabajos relacionados a voladura integral (carguío de taladros, disparo) lo realiza la empresa EXSA, bajo la supervisión de la jefatura de perforación y disparos.

4.5.3. Carguío

Para el proceso de carguío se cuentan con los siguientes equipos:

- 02 palas electro-mecánicas *P&H 4100A* de 56 yd³.
- 01 palas electro-mecánicas *P&H 2800XPB* de 42 yd³.
- 01 palas electro-mecánicas *BUCYRUS 495BII* de 56 yd³.
- 01 palas electro-mecánicas *BUCYRUS 495 HR* de 73 yd³.

- 01 palas electro-mecánicas *BUCYRUS 495 HR* de 60 yd³.
- 01 palas electro-mecánicas pala *P&H 4100XPC* de 74 yd³.
- 01 cargador frontal *LETORNEAU 1800* de 33 yd³.
- 01 cargador frontal *LETORNEAU 2350* de 50 yd³.

Los cuales trabajan en mineral y desmonte. Los cargadores trabajan en los stocks de mineral o cuando se requiere apoyo en los frentes de las palas, puesto que tienen un alto costo de operación con respecto a estas.

4.5.4. Acarreo

Para el acarreo de mineral y desmonte se cuentan con los siguientes equipos:

Acarreo con volquetes (mineral y desmonte)

- 18 volquetes *CATERPILLAR 797F* de 360 TM.
- 17 volquetes *KOMATSU 930E* de 290 TM.
- 06 volquetes *CATERPILLAR 793C/D* de 220 TM.
- 10 volquetes *KOMATSU 830E* de 215 TM.

Acarreo con trenes (solo mineral)

- 06 convoys de trenes con 17 carros de 79 toneladas de capacidad cada uno.
- 01 tolva de transferencia de 1 814 toneladas.

Adicionalmente a los equipos mencionados, para realizar trabajos de limpieza, preparación, mantenimiento de vías y proyectos en general de mina, se usan los siguientes equipos auxiliares.

- 08 tractores de orugas *CATERPILLAR D10R/T*.
- 04 tractores de orugas *CATERPILLAR D11T*.
- 01 motoniveladora *CATERPILLAR 16H*.
- 02 motoniveladoras *CATERPILLAR 24H*.
- 03 motoniveladoras *CATERPILLAR 24M*.
- 01 cargador frontal *CATERPILLAR 966G*.

- 01 cargador frontal *CATERPILLAR 988H*.
- 01 cargador frontal *CATERPILLAR 992K*.
- 02 tractores de ruedas *CATERPILLAR 824H*.
- 01 tractor de ruedas *CATERPILLAR 834G*.
- 03 tractores de rueda *CATERPILLAR 834H*.
- 02 tractores de rueda *CATERPILLAR 834K*.
- 01 tractor de rueda *CATERPILLAR 844C*.
- 01 tanque de regadío *KOMATSU 830E* de 20 000 gal.
- 03 tanques de regadío *CATERPILLAR 785C* de 30 000 gal.
- 01 tanque de regadío *CATERPILLAR 785D* de 20 000 gal.
- 01 excavadora *KOMATSU PC300*.
- 01 excavadora *CATERPILLAR 336*.

La Gerencia de Mina cuenta con una fuerza laboral de 403 operadores, distribuidos en 07 grupos de trabajo que trabajan en sistema 4x3.

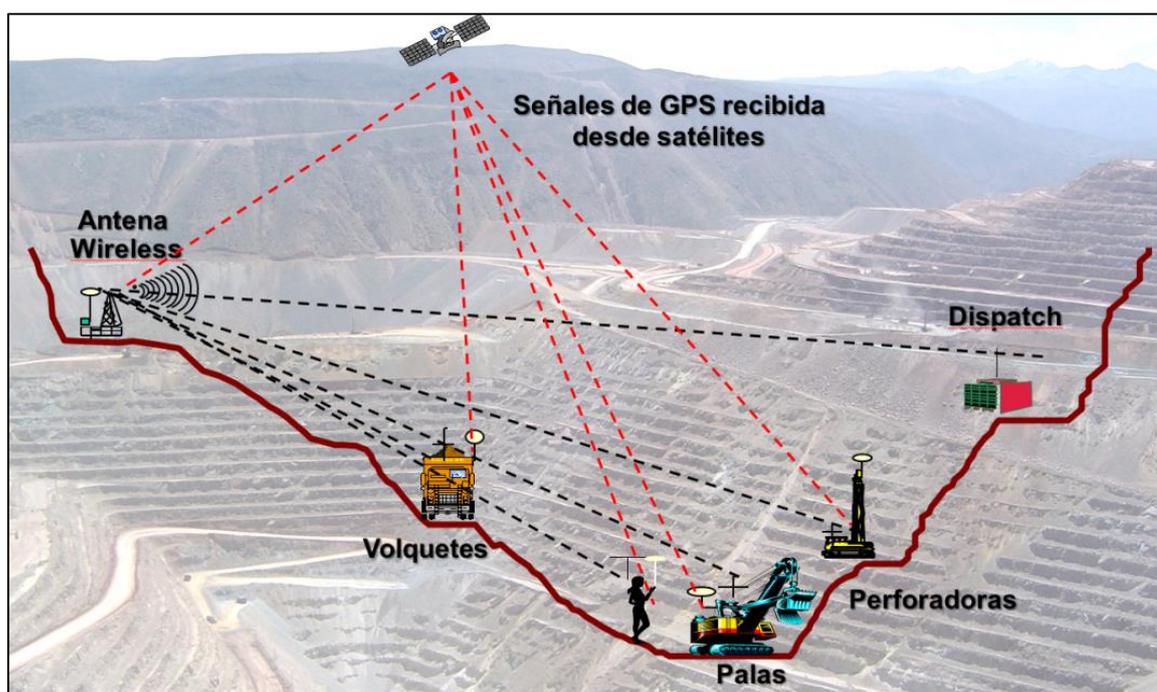
La supervisión de campo consta de 04 jefes generales de guardia y 16 supervisores mina, que también están distribuidos en los 07 grupos de trabajo, trabajando en sistema 4x3.

4.5.5. Sistema de control mina y despacho trenes

Se cuenta con el sistema *MineOps*®, el cual consiste en la instalación de *GPS* en los volquetes, palas y perforadoras. Este sistema sirve para que los equipos estén comunicados con el centro de control mina el cual asigna destinos para el caso de los volquetes con lo cual se reducen las colas y tiempos muertos de las palas. Además, se puede visualizar la información de los polígonos para el avance de las palas, con lo cual se maneja el *blending* de mineral para envío a concentradora. Otra funcionalidad es la de cargar y visualizar las mallas de perforación. Para que funcione este sistema, se tiene instalado la infraestructura (antenas, repetidoras, etc.), con la cual se puede transmitir la información de la operación en tiempo real (ver figura 4.3).

Para el caso de los trenes, se tiene un sistema de control de tráfico, en el cual se controla el movimiento de los trenes que transportan mineral hacia la concentradora. Este sistema consiste en la instalación de sensores a lo largo de la línea férrea que detectan el paso de los trenes y se restringe el movimiento por un sistema de semáforos. De la misma forma, esta información llega en tiempo real al centro de control mina – despacho trenes.

Figura 4.3. Sistema de control mina.



Fuente: Presentación general gerencia mina Cuajone.

CAPÍTULO V

EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

5.1. Desarrollo y análisis de resultados para la hipótesis H₁

5.1.1. Variable fragmentación P80 para H₁

Según lo mostrado en la tablas 5.1, 5.5 y 5.9 se observa que la media de fragmentación P80 es de 35,3; 32,3 y 39,1 cm para las palas de 42,8; 45,9 y 55,8 respectivamente, lo cual se usará para acotar el parámetro de fragmentación P80 en 40 cm y así poder evaluar la velocidad de excavación para cada caso.

5.1.2. Variable velocidad de excavación para H₁

Según lo mostrado en la tablas 5.3, 5.7 y 5.11 se observa que la media de velocidad de excavación es de 7 917,7; 8 635,4 y 9 631,4 TM/h para las palas de 42,8; 45,9 y 55,8 respectivamente, lo cual se usará para acotar la velocidad de excavación en 9 000 TM/h y así poder evaluar la fragmentación para cada caso.

5.1.3. Prueba de hipótesis H₁

De acuerdo a la figura 5.3, se observan 08 puntos que sobrepasan las 9 000 TM/h cuando se tiene material menor a 40 centímetros de fragmentación P80, por lo tanto se cumple la hipótesis para la pala 04, que tiene una capacidad de 42,8 m³ y cargó a volquetes de 363 toneladas.

De acuerdo a la figura 5.6, se observan 21 puntos que sobrepasan las 9 000 TM/h cuando se tiene material menor a 40 centímetros de fragmentación P80, por lo tanto se cumple la hipótesis para la pala 05, que tiene una capacidad de 45,9 m³ y cargó a volquetes de 363 toneladas.

De acuerdo a la figura 5.9, se observan 27 puntos que sobrepasan las 9 000 TM/h cuando se tiene material menor a 40 centímetros de fragmentación P80, por lo tanto se cumple la hipótesis para la pala 06, que tiene una capacidad de 55,8 m³ y cargó a volquetes de 290 toneladas.

De acuerdo a la recta con pendiente negativa que resulta en la figura 5.3, se observa que sí se cumple la hipótesis para la pala 04.

De acuerdo a la recta casi horizontal que resulta en la figura 5.6, no es posible determinar si se cumple o no la hipótesis para la pala 05, debido a los escasos datos de fragmentación mayores a 40 centímetros.

De acuerdo a la recta con pendiente negativa que resulta en la figura 5.9, se observa que sí se cumple la hipótesis para la pala 06.

5.2. Desarrollo y análisis de resultados para la hipótesis H₂

5.2.1. Variable fragmentación P80 para H₂

Se recolectó una muestra representativa de 60 datos de fragmentación P80 medido en centímetros para la pala 04 de 42,8 m³ de capacidad. La base de datos o información de entrada se muestran en el anexo A, con lo cual se obtuvo la estadística descriptiva usando el *software Excel* “Análisis de Datos”.

Los resultados se muestran en las tablas 5.1 y 5.2; además los resultados gráficos de la distribución de P80 se muestra en la figuras 5.1.

Tabla 5.1. Estadística descriptiva de P80 en pala 04.

Media	35,3
Error típico	1,57
Mediana	34,7
Moda	40,4
Desviación estándar	12,2
Varianza de la muestra	148,1
Curtosis	0,1
Coefficiente de asimetría	0,6
Rango	54,4
Mínimo	16,0
Máximo	70,3
Suma	2 119,2
Cuenta	60,0

Fuente: Elaboración propia.

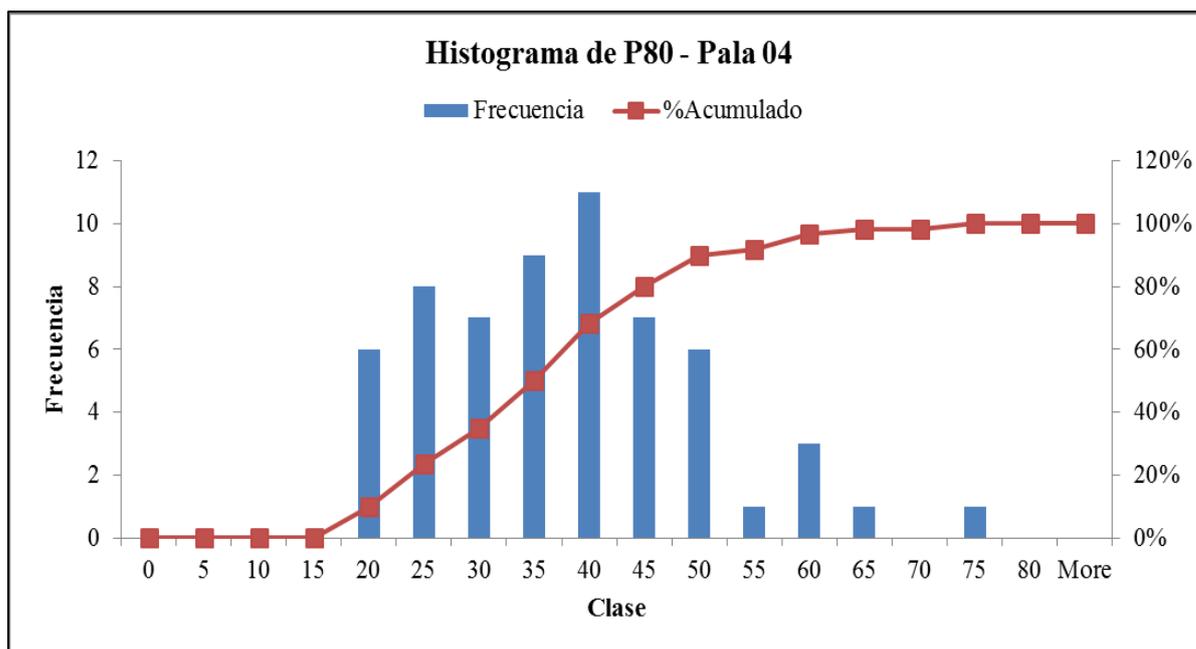
De acuerdo al histograma mostrado en la figura 5.1, se observa que la media de P80 es 35,3 cm. Estos datos se obtuvieron cuando la pala cargó solamente en volquetes CAT 797F de 360 TM.

Tabla 5.2. Datos para histograma de P80 en pala 04.

Clase	Frecuencia	%Frecuencia	%Acumulado
0	0	0%	0%
5	0	0%	0%
10	0	0%	0%
15	0	0%	0%
20	6	10%	10%
25	8	13%	23%
30	7	12%	35%
35	9	15%	50%
40	11	18%	68%
45	7	12%	80%
50	6	10%	90%
55	1	2%	92%
60	3	5%	97%
65	1	2%	98%
70	0	0%	98%
75	1	2%	100%
80	0	0%	100%
More	0	0%	100%

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.1. Histograma de P80 en pala 04.



Fuente: Elaboración propia.

5.2.2. Variable velocidad de excavación para H₂

Se recolectó 60 datos de velocidad de excavación en diferentes turnos para la pala 04 de 42,8 m³ de capacidad. La base de datos se encuentra en el anexo A, los resultados se muestran en las tablas 5.3 y 5.4

Tabla 5.3. Estadística descriptiva de velocidad de excavación de pala 04.

Media	7 917,7
Error típico	133,3
Mediana	7 897,4
Moda	N/A
Desviación estándar	1 032,5
Varianza de la muestra	1 066 148,5
Curtosis	-0,6
Coficiente de asimetría	0,1
Rango	4 131,5
Minimum	5 940,5
Maximum	10 072,0
Cuenta	60,0

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo al histograma mostrado en la figura 5.2, se observa que la media de la velocidad de excavación es de 7 917,7 TM/h. Estos datos se obtuvieron cuando la pala cargó solamente en volquetes CAT 797F de 360 TM.

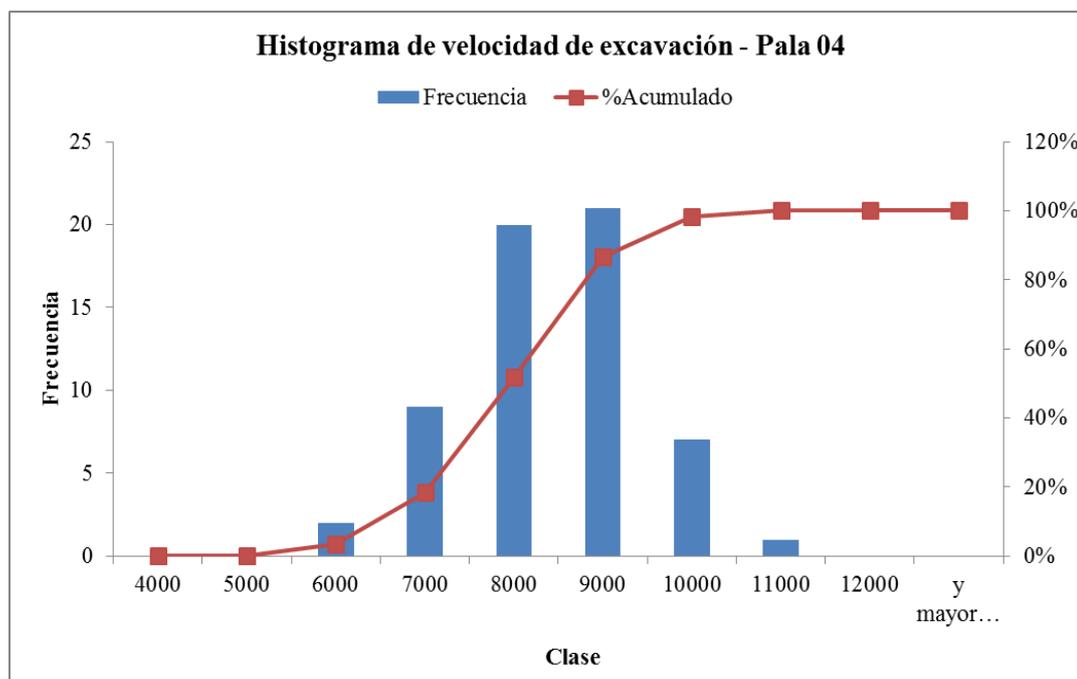
Tabla 5.4. Datos para histograma de velocidad de excavación en pala 04.

Clase	Frecuencia	%Frecuencia	% Acumulado
4000	0	0%	0%
5000	0	0%	0%
6000	2	3%	3%
7000	9	15%	18%
8000	20	33%	52%
9000	21	35%	87%
10000	7	12%	98%
11000	1	2%	100%
12000	0	0%	100%
y mayor...	0	0%	100%

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 5.4 se muestra la distribución de frecuencia de los datos de velocidad de excavación para la pala 04, el cual está ordenado en intervalos de 1000 unidades.

Figura 5.2. Histograma de velocidad de excavación en pala 04.



Fuente: Elaboración propia.

5.2.3. Prueba de hipótesis H_2

De acuerdo a la figura 5.3, se observa que ningún punto sobrepasa las 9 000 TM/h cuando se tiene material mayor a 40 centímetros de fragmentación P80, por lo tanto se cumple la hipótesis para la pala 04, que tiene una capacidad de 42,8 m³ y cargó a volquetes de 363 toneladas.

Así mismo, en el anexo F se muestra el comportamiento de la fragmentación P80 y la velocidad de excavación de la pala 04 durante el año 2015. Este muestreo se realizó sistemáticamente durante un año de trabajo, de tal manera que represente las diferentes condiciones de trabajo (factor operador, factor clima, factores operativos, etc.)

Se observa que el P80 ha tenido una tendencia de incremento a partir de abril hasta agosto, de septiembre a diciembre no se registraron datos debido a fallas en el sistema de medición del P80. Cuando el P80 registró valores mínimos (alrededor de 20 centímetros), la velocidad de excavación ha registrado sus valores más altos (alrededor de 9500 toneladas por hora).

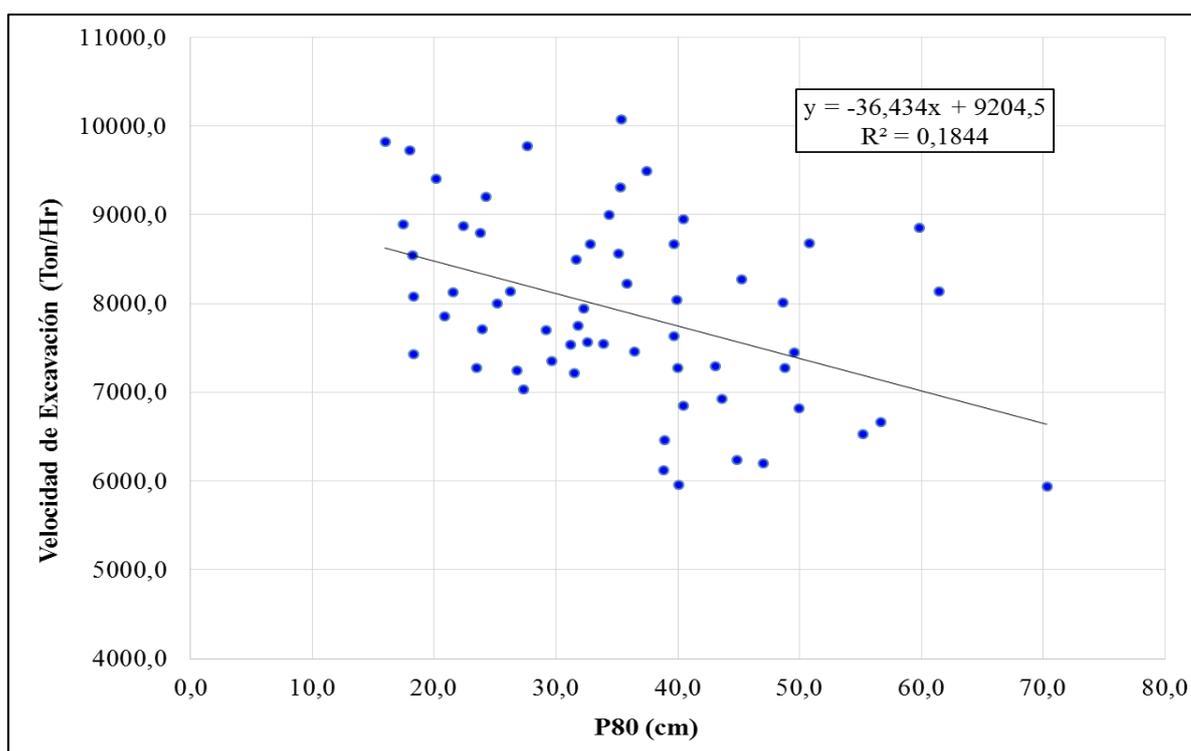
Y finalmente en la figura 5.3, se muestra un diagrama correlativo de dispersión XY de los datos de P80 y velocidad de excavación, en este gráfico se observa una ligera disminución de la velocidad de excavación a medida que el P80 sobrepasa los 40 centímetros y viceversa. Además, se observa que los cambios menores en la fragmentación no causan efectos significativos en la velocidad de excavación.

5.3. Desarrollo y análisis de resultados para la hipótesis H_3

5.3.1. Variable fragmentación P80 para H_3

De igual forma, para la pala 05 de 45,9 m³ de capacidad, se recolectó 60 datos de fragmentación P80 medido en centímetros en diferentes turnos. La base de datos o información de entrada se muestran en el anexo B, con lo cual se obtuvo la estadística descriptiva, los resultados se muestran en las tablas 5.5 y 5.6.

Figura 5.3. Diagrama de dispersión XY, P80 vs velocidad de excavación – pala 04.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5.5. Estadística descriptiva de P80 en pala 05.

Media	32,3
Error típico	3,6
Mediana	24,2
Moda	20,8
Desviación estándar	27,7
Varianza de la muestra	769,1
Curtosis	9,1
Coefficiente de asimetría	3,1
Rango	137,3
Mínimo	13,1
Máximo	150,5
Cuenta	60,0

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo al histograma mostrado en la figura 5.4, se observa que la media de P80 es 32,3 cm. Estos datos se obtuvieron cuando la pala cargó solamente en volquetes CAT 797F de 360 TM.

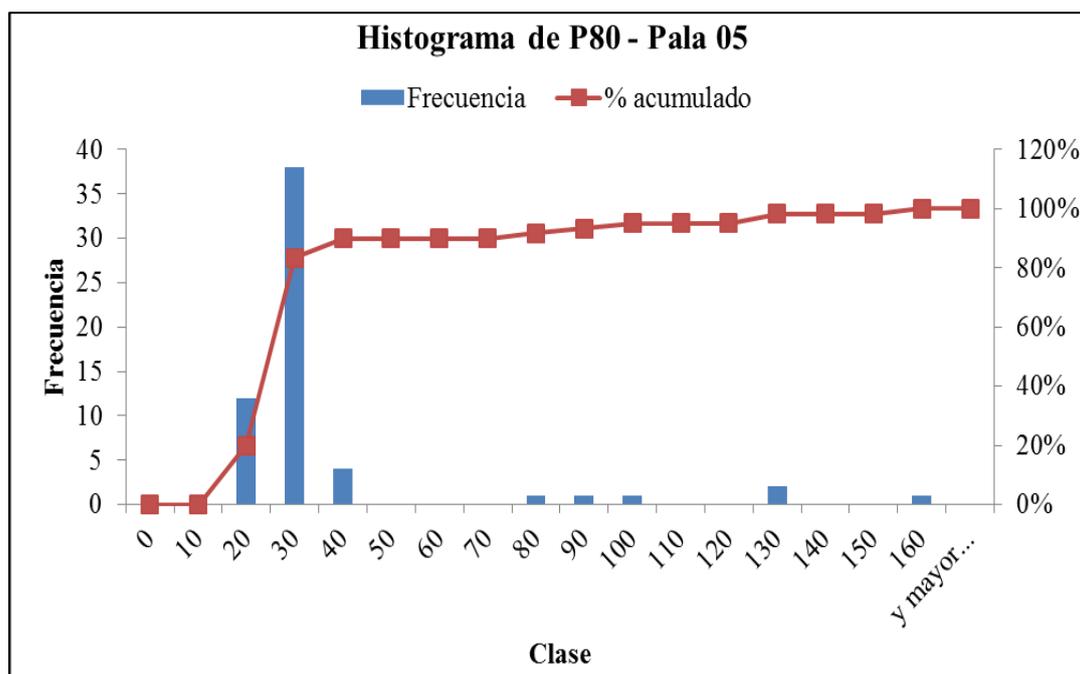
Tabla 5.6. Datos para histograma de P80 en pala 05.

Clase	Frecuencia	%Frecuencia	%Acumulado
0	0	0%	0%
10	0	0%	0%
20	12	20%	20%
30	38	63%	83%
40	4	7%	90%
50	0	0%	90%
60	0	0%	90%
70	0	0%	90%
80	1	2%	92%
90	1	2%	93%
100	1	2%	95%
110	0	0%	95%
120	0	0%	95%
130	2	3%	98%
140	0	0%	98%
150	0	0%	98%
160	1	2%	100%
y mayor...	0	0%	100%

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 5.6 se muestra la distribución de frecuencia de los datos de fragmentación P80 para la pala 05, el cual está ordenado en intervalos de 10 unidades.

Figura 5.4. Histograma de P80 en pala 05.



Fuente: Elaboración propia.

5.3.2. Variable velocidad de excavación para H₃

Se recolectó 60 datos de velocidad de excavación en diferentes turnos para la pala 05 de 45,9 m³ de capacidad. La base de datos se encuentra en el anexo B, los resultados se muestran en las tablas 5.7 y 5.8.

Tabla 5.7. Estadística descriptiva de velocidad de excavación de pala 05.

Media	8 635,4
Error típico	151,5
Mediana	8 668,3
Moda	N/A
Desviación estándar	1 173,4
Varianza de la muestra	1 376 807,0
Curtosis	2,1
Coefficiente de asimetría	-0,6
Rango	6 606,9
Mínimo	4 344,3
Máximo	10 951,3
Cuenta	60,0

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo al histograma mostrado en la figura 5.5, se observa que la media de velocidad de excavación es de 8 635,4 TM/h. Estos datos se obtuvieron cuando la pala cargó solamente en volquetes *CAT 797F* de 360 TM.

Tabla 5.8. Datos para histograma de velocidad de excavación de pala 05.

Clase	Frecuencia	%Frecuencia	%Acumulado
4000	0	0%	0%
5000	1	2%	2%
6000	0	0%	2%
7000	3	5%	7%
8000	13	22%	28%
9000	20	33%	62%
10000	15	25%	87%
11000	8	13%	100%
12000	0	0%	100%
y mayor...	0	0%	100%

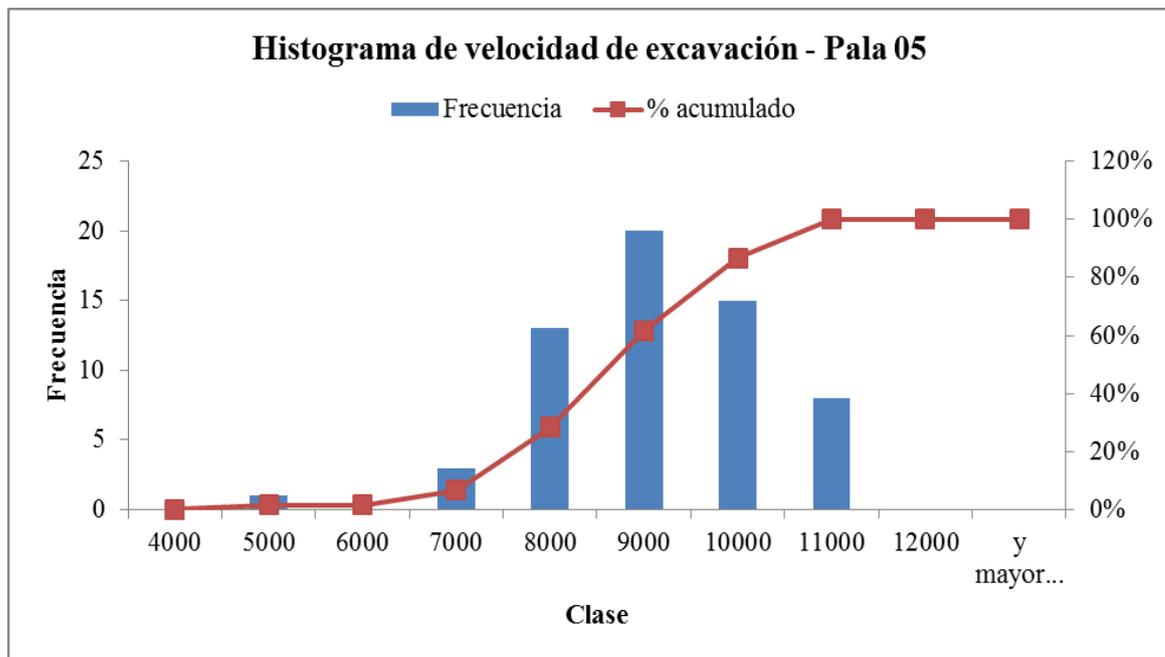
Fuente: Elaboración propia.

5.3.3. Prueba de hipótesis H₃

De acuerdo a la figura 5.6, se observa que ningún punto sobrepasa las 9 500 TM/h cuando se tiene material mayor a 40 centímetros de fragmentación P80, por lo tanto se cumple la hipótesis para la pala 05, que tiene una capacidad de 45,9 m³ y cargó a volquetes de 363 toneladas.

Así mismo, en el anexo G se muestra el comportamiento de la fragmentación P80 y la velocidad de excavación de la pala 05 durante el año 2015. Este muestreo se realizó sistemáticamente durante un año de trabajo, de tal manera que represente las diferentes condiciones de trabajo (factor operador, factor clima, factores operativos, etc.).

Figura 5.5. Histograma de velocidad de excavación de pala 05.



Fuente: Elaboración propia.

Se observa que el P80 ha tenido un considerable incremento solamente en el mes de febrero (hasta 150,5 cm.), el resto del año se ha mantenido uniforme (alrededor de 20 centímetros). La velocidad ha tenido grandes variaciones (hasta 10 951,3 TM/h) con valores de P80 por debajo de 40 centímetros.

Y finalmente en la figura 5.6, se muestra un diagrama correlativo de dispersión XY de los datos de P80 y velocidad de excavación en pala 05, en este gráfico se observa

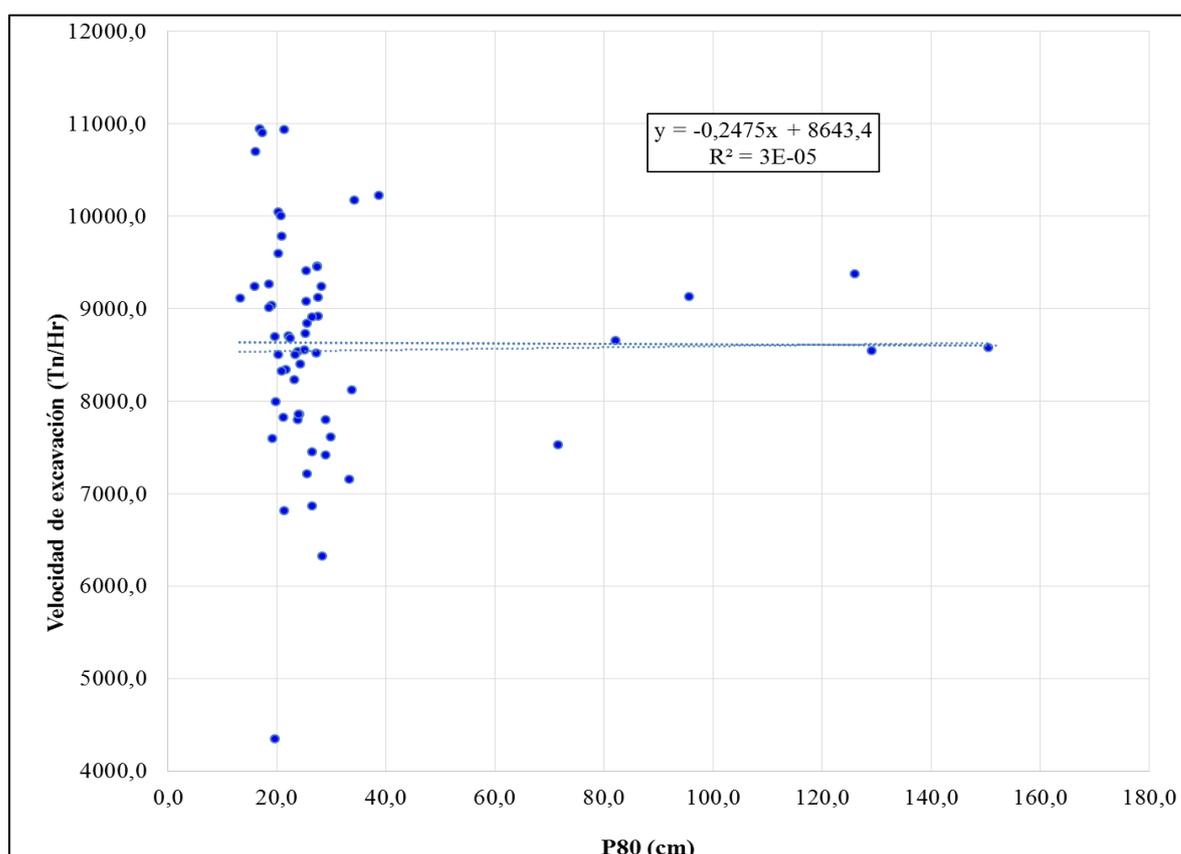
mayor concentración de datos para P80 menor a 40 centímetros. Además, se observa una alta variabilidad en los datos de velocidad de excavación.

5.4. Desarrollo y análisis de resultados para la hipótesis H₄

5.4.1. Variable fragmentación P80 para H₄

Para la pala 06 se recolectó 60 datos de fragmentación P80 medido en centímetros en diferentes turnos, la diferencia es que el carguío se realizó para la flota de acarreo *KOMATSU 930E* de 290 TM. La base de datos o información de entrada se muestran en el anexo C, con lo cual se obtuvo la estadística descriptiva, los resultados se muestran en las tablas 5.9 y 5.10.

Figura 5.6. Diagrama de dispersión XY, P80 vs velocidad de excavación – pala 05.



Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo al histograma mostrado en la figura 5.7 se observa que la media de P80 es 39,1 cm. Estos datos se obtuvieron cuando la pala cargó solamente en volquetes *KOMATSU 930E* de 290 TM.

Tabla 5.9. Estadística descriptiva de P80 en pala 06.

Media	39,1
Error típico	1,1
Mediana	38,5
Moda	33,9
Desviación estándar	8,7
Varianza de la muestra	75,7
Curtosis	-0,5
Coefficiente de asimetría	0,4
Rango	36,4
Mínimo	21,6
Máximo	58,1
Cuenta	60,0

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5.10. Datos para histograma de P80 en pala 06.

Clase	Frecuencia	%Frecuencia	%Acumulado
15	0	0%	0%
20	0	0%	0%
25	1	2%	2%
30	8	13%	15%
35	15	25%	40%
40	12	20%	60%
45	11	18%	78%
50	5	8%	87%
55	3	5%	92%
60	5	8%	100%
y mayor...	0	0%	100%

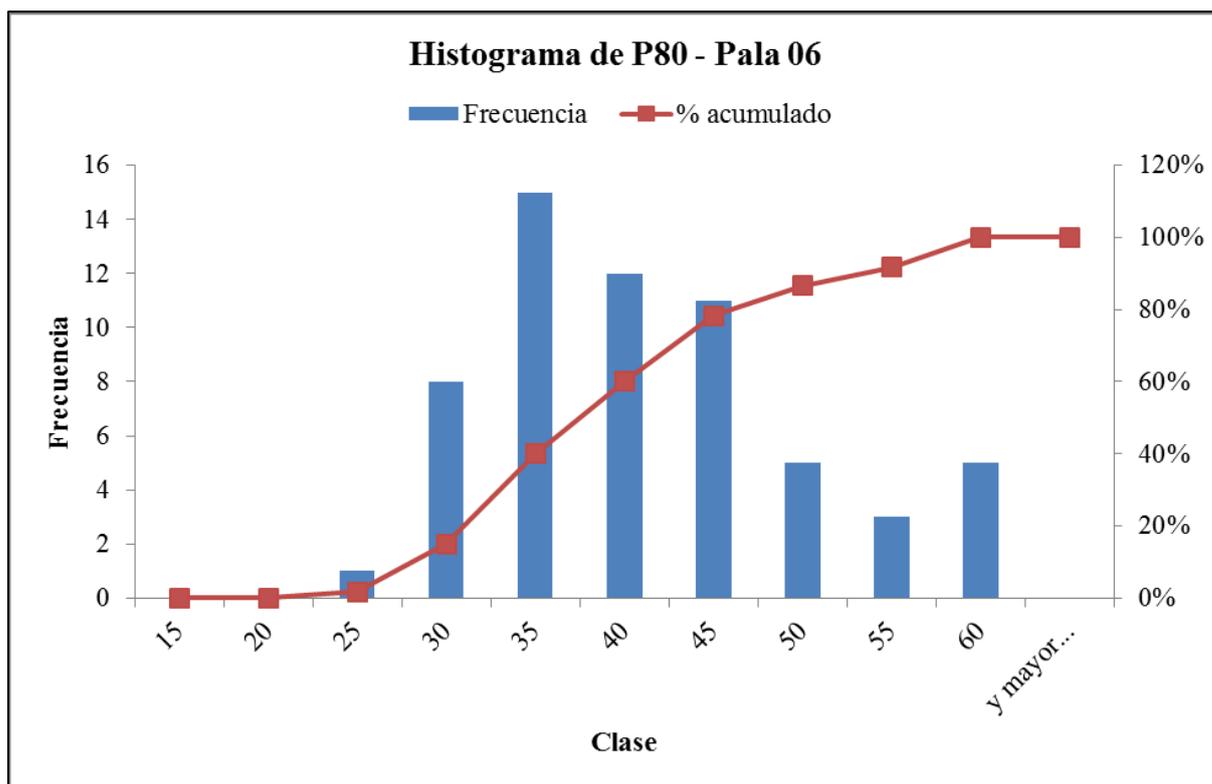
Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 5.10 se muestra la distribución de frecuencia de los datos de fragmentación P80 para la pala 06, el cual está ordenado en intervalos de 05 unidades.

5.4.2. Variable velocidad de excavación para H₄

Se recolectó 60 datos de velocidad de excavación en diferentes turnos para la pala 06 de 55,8 m³ de capacidad. La base de datos se encuentra en el anexo C, los resultados se muestran en las tablas 5.11 y 5.12.

Figura 5.7. Histograma de P80 en pala 06.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5.11. Estadística descriptiva de velocidad de excavación de pala 06.

Media	9 631,4
Error típico	158,3
Mediana	9 733,7
Moda	N/A
Desviación estándar	1 226,2
Varianza de la muestra	1 503 489,0
Curtosis	3,0
Coefficiente de asimetría	-1,0
Rango	7 118,1
Mínimo	4 730,7
Máximo	11 848,7
Cuenta	60,0

Fuente: Elaboración propia.

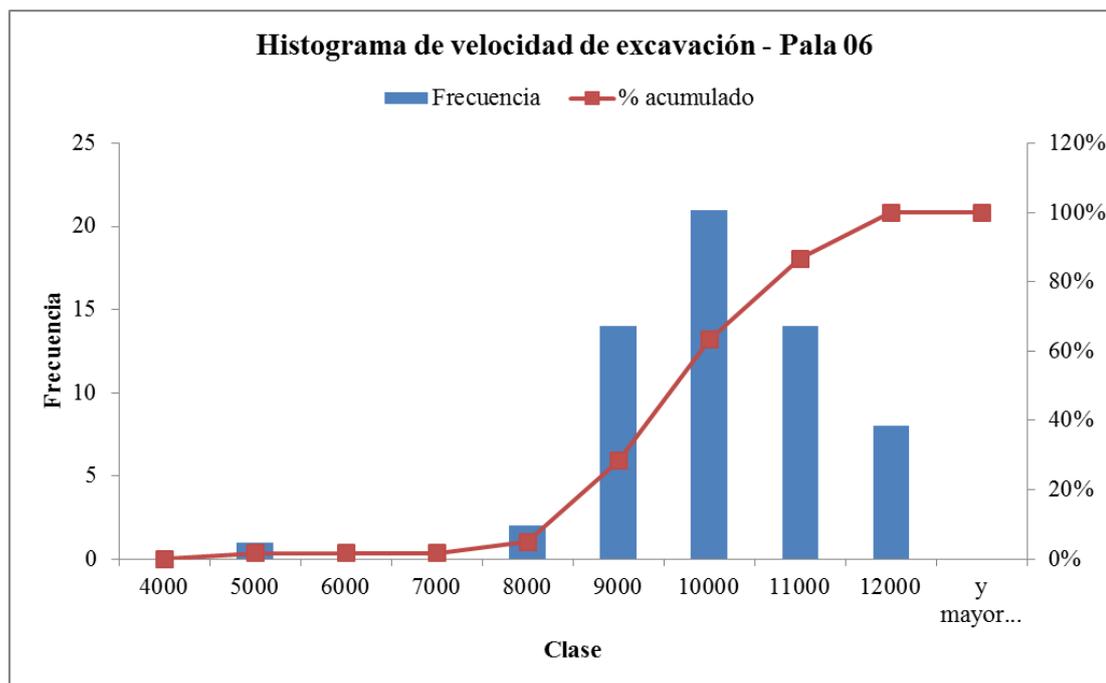
De acuerdo al histograma mostrado en la figura 5.8, se observa que la media de velocidad de excavación es de 9 631,4 TM/h. Estos datos se obtuvieron cuando la pala cargó solamente en volquetes *KOMATSU 930E* de 290 TM.

Tabla 5.12. Datos para histograma de velocidad de excavación de pala 06.

Clase	Frecuencia	%Frecuencia	%Acumulado
4000	0	0%	0%
5000	1	2%	2%
6000	0	0%	2%
7000	0	0%	2%
8000	2	3%	5%
9000	14	23%	28%
10000	21	35%	63%
11000	14	23%	87%
12000	8	13%	100%
y mayor...	0	0%	100%

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.8. Histograma de velocidad de excavación en pala 06.



Fuente: Elaboración propia.

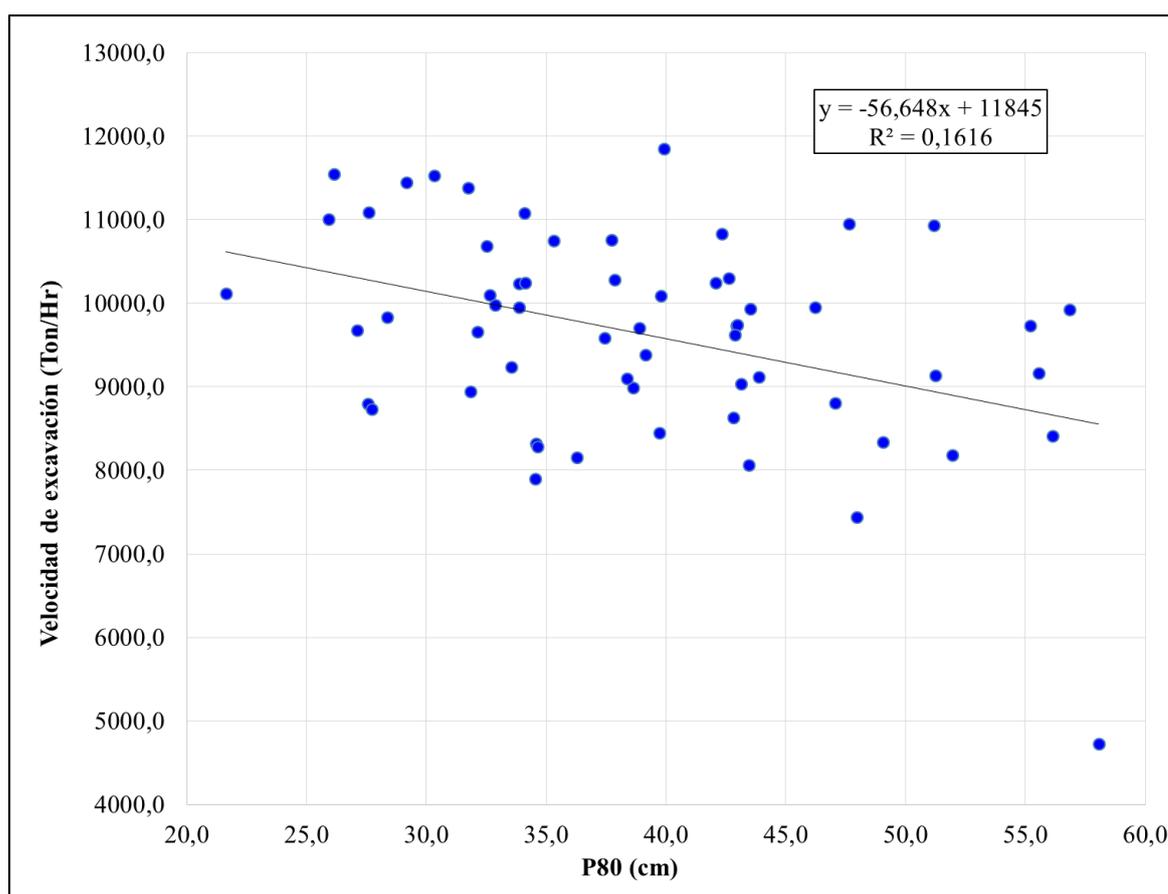
5.4.3. Prueba de hipótesis H_4

De acuerdo a la figura 5.9, se observa que ningún punto sobrepasa las 11 000 TM/h cuando se tiene material mayor a 40 centímetros de fragmentación P80, por lo tanto se cumple la hipótesis para la pala 06, que tiene una capacidad de 55,8 m³ y cargó volquetes de 290 toneladas.

Así mismo, en el anexo H se muestra el comportamiento de la fragmentación P80 y la velocidad de excavación de la pala 06 durante el año 2015. Este muestreo se realizó sistemáticamente durante un año de trabajo, de tal manera que represente las diferentes condiciones de trabajo (factor operador, factor clima, factores operativos, etc.)

Y finalmente en la figura 5.9, se muestra un diagrama correlativo de dispersión XY de los datos de P80 y velocidad de excavación, en este gráfico se observa una tendencia de disminución de la velocidad de excavación a medida que el P80 sobrepasa los 40 centímetros y viceversa. Además, se observa que los cambios menores en la fragmentación no causan efectos significativos en la velocidad de excavación.

Figura 5.9. Diagrama de dispersión XY, P80 vs velocidad de excavación – pala 06.



Fuente: Elaboración propia.

5.5. Discusión de resultados con otros estudios

El propósito de esta investigación fue describir la velocidad de excavación cuando se tienen diferentes rangos de fragmentación P80, el cual se evaluó en 03 palas de una misma marca pero de diferente capacidad de cucharón.

De acuerdo a los resultados en pala 04 y 05 para fragmentación de P80 menor a 40 centímetros se observa un incremento de aproximadamente 22 % y 23 % en la velocidad de excavación en 8 y 21 turnos respectivamente, el cual es mayor a lo obtenido en la mina *Sunrise Dam*, 10 % más por efecto de uso de detonadores electrónicos (Vaughan, 2007).

Los resultados se corroboran, puesto que en otro estudio referido al tiempo de excavación en palas hidráulicas, se obtuvo una mejora de 26 % por una reducción de fragmentación P80 de 60 a 20 centímetros (Brunton, 2003).

Otro aspecto importante, son las variaciones de velocidad de excavación cuando se tienen cambios pequeños de fragmentación P80, en todos los casos observados se nota que hay gran variabilidad para cambios pequeños, esto puede explicarse debido a que el tamaño de cucharón de las palas electromecánicas son de gran envergadura (4 a 5 metros de ancho), por lo tanto para que se reduzca el desempeño de las palas, la fragmentación debe incrementarse significativamente.

Como autocrítica, se puede mencionar que durante el proceso de obtención de datos de fragmentación P80 solo se pudo calcular el promedio durante el turno día pero solo con datos tomados hasta las 17:00 horas, siendo el término del turno a las 19:50 horas, habiendo una diferencia de casi 3 horas de falta de información por turno, lo cual podría repercutir de cierta forma la comparación de los promedios de fragmentación P80 versus los promedios de velocidad de excavación.

CONCLUSIONES

- Se evaluó la velocidad de excavación en palas de 42,8; 45,9 y 55,8 m³ de capacidad que cargan a volquetes de 363 y 290 TM, evidenciándose que sufren tendencia al incremento de la velocidad de excavación (mayor a 9 000 TM/h) cuando se reduce la fragmentación P80 del material (menor a 40 cm) y por otro lado sufre tendencia a la reducción de la velocidad de excavación cuando se incrementa la fragmentación P80 del material (mayor a 40 cm). Además se observa que no se produce incremento o reducción significativa de la velocidad de excavación para intervalos pequeños de fragmentación P80 (variación de 1 a 5 cm), esto sucede debido al gran tamaño de los cucharones de las palas.
- Se determinó que la velocidad de excavación de la pala de 42,8 m³ que carga a volquetes de 363 TM sufre una variación menor a las 9 000 TM/h cuando se tiene fragmentación P80 mayor a 40 cm.
- Se determinó que la velocidad de excavación de la pala de 45,9 m³ que carga a volquetes de 363 TM sufre una variación menor a las 9 500 TM/h cuando se tiene fragmentación P80 mayor a 40 cm.
- Se determinó que la velocidad de excavación de la pala de 55,8 m³ que carga a volquetes de 290 TM sufre una variación menor a las 11 000 TM/h cuando se tiene fragmentación P80 mayor a 40 cm.

RECOMENDACIONES

- Evaluar la velocidad de excavación en palas de 42,8; 45,9 y 55,8 m³ de marca P&H cuando cargan material con fragmentación P80 menor o mayor a 40 cm en volquetes de 363 y 290 TM.
- Determinar la velocidad de excavación en palas de 42,8 m³ de marca P&H cuando cargan material con fragmentación P80 mayor a 40 cm en volquetes de 363 TM.
- Determinar la velocidad de excavación en palas de 45,9 m³ de marca P&H cuando cargan material con fragmentación P80 mayor a 40 cm en volquetes de 363 TM.
- Determinar la velocidad de excavación en palas de 55,8 m³ de marca P&H cuando cargan material con fragmentación P80 mayor a 40 cm en volquetes de 290 TM.
- Evaluar y determinar la velocidad de excavación en palas de 42,8; 45,9 y 55,8 m³ de marca BUCYRUS y P&H cuando sufren incrementos considerables de fragmentación P80; es decir, por encima de 120 cm.

REFERENCIAS

- Brunton, D., Thornton, R., Hodson, R. y Sprott, D. (2003). Impact of blast fragmentation on hydraulic excavator dig time. *Fifth Large Open Pit Mining Conference*, 39-48. Recuperado de <http://www.onemine.org/document/document.cfm?docid=188337>
- Canturín Cano, R., Siucho Dextre, R. (2004). *Aplicación de métodos de productividad en las operaciones de equipos de movimiento de tierras (ejemplo práctico: Cantera de la fábrica de Cementos Lima)*. (Tesis de pre-grado). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Perú.
- Chaucayanqui Quisa, B. (1992). *Factores que inciden al llenado del cucharón de las palas P&H-1900AL y optimización del sistema de carguío*. (Tesis de pre-grado). Universidad Nacional del Altiplano. Perú.
- EXSA (2003). *Manual Práctico de Voladura*. Perú.
- Gomez, J., López, C., López, E., Manglano, S. y Toledo, J. (1995). *Manual de arranque, carga y transporte en minería a cielo abierto*. España: Instituto Tecnológico Geominero.
- Gunderson, J., Summer, C. (2004). Evaluating Blast Design Through Shovel Performance. *Rocky Mountain Coal Mining Institute*, 1-18. Recuperado de <http://www.onemine.org/document/document.cfm?docid=152232>
- Halatchev, R. and Knights, P. (2007). Spatial variability of shovel dig performance. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, 21(4), 244–261.
- Hirner, F. (1981). Estimating production and costs for electric mine shovels. *Engineering Fundamentals Series*, 1-4. Recuperado de <http://www.onemine.org/document/document.cfm?docid=4764>

- Kemeny, J., Devgan, A., Roberta, M. and Wu, X. (1993). Analysis of rock fragmentation using digital image processing. *Journal of Geotechnical Engineering*, 119(7), 1144-1160.
- Konya, C., Albarrán E. (1985). *Diseño de Voladuras*. Estados Unidos de América: United States Govt Printing Office.
- López, E. y García, P. (2003). *Manual de perforación y voladura de rocas*. España: Instituto Tecnológico Geominero.
- Miller, D., Martin, D. (2007). A review of benefits being delivered using electronic delay detonators in the quarry industry. *Orica Quarry Services*, 1-15. Recuperado de https://www.quarry.com.au/Portals/0/files/2007_conference_papers/dave_miler_-_quarring_paper.pdf
- Moreyra, R. (2012). *Kilómetro equivalente en el cálculo de la flota de camiones en Mina Cuajone*. (Informe de competencia profesional). Universidad Nacional de Ingeniería. Perú.
- Ndibalema, A. (2008). Capturing economic benefits from blasting. *The Southern African Institute of Mining and Metallurgy – Surface Mining*, 97-112. Recuperado de <http://www.onemine.org/document/document.cfm?docid=159882>
- Profio, R. (1984). Shovel productivity. *Society for Mining, Metallurgy & Exploration*, 1-4. Recuperado de <http://www.onemine.org/document/document.cfm?docid=174565>
- Saldaña, A. (2013). *Productividad en el ciclo de carguío y acarreo en el tajo Chaquicocha bajo clima severo – Minera Yanacocha*. (Tesis de pre-grado). Universidad Nacional de Ingeniería. Perú.

- Simionescu, P.A. (2014). *Computer Aided Graphing and Simulation Tools for AutoCAD users (1st ed.)*. Estados Unidos de América: Boca Raton.
- Tafazoli, S. y Ziraknejad, N. (2009). An in-shovel camera-based technology for automatic rock size sensing and analysis in open pit mining. *Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum*. Recuperado de <http://www.onemine.org/document/document.cfm?docid=207407>
- Vaughan, M., Hall, E., Gribble, D., Varga, D., Billing, G. y MacSweeney, K. (2007). Blast improvements with electronics at Sunrise Dam Gold Mine. *In Proceedings EXPLO 2007*, 151-158.
- Varios autores (2015). *Presentación general Gerencia Mina Cuajone*. Perú: Southern Perú Copper Corporation.

ANEXOS
Anexo A. Base de datos de pala 04.

Fecha	X (P80) – cm	Y (Vel. Excav.) – TM/h
01-ene-15	18,3	7 429,4
05-ene-15	29,6	7 352,2
08-ene-15	32,8	8 673,9
11-ene-15	35,8	8 227,5
12-ene-15	50,8	8 677,1
16-ene-15	18,3	8 541,8
19-ene-15	21,6	8 130,4
21-ene-15	20,9	7 854,6
26-ene-15	23,8	8 790,9
02-feb-15	18,0	9 726,4
05-feb-15	16,0	9 821,7
10-feb-15	20,1	9 402,9
12-feb-15	22,4	8 870,7
15-feb-15	23,5	7 278,3
18-feb-15	31,5	7 215,2
20-feb-15	18,3	8 078,8
23-feb-15	17,4	8 889,2
25-feb-15	27,4	7 034,3
02-mar-15	40,0	8 039,7
07-mar-15	39,6	7 633,1
10-mar-15	45,2	8 268,0
12-mar-15	39,7	8 668,0
17-mar-15	38,9	6 459,1
19-mar-15	29,2	7 702,9
21-mar-15	40,4	8 952,0
29-mar-15	35,3	9 305,2
01-abr-15	26,3	8 140,6
03-abr-15	23,9	7 714,2
06-abr-15	35,4	10 072,0
11-abr-15	27,6	9 777,6
14-abr-15	24,3	9 205,3
16-abr-15	33,9	7 545,8
20-abr-15	31,6	8 492,0
21-abr-15	25,2	8 005,2
01-may-15	35,1	8 559,7
05-may-15	31,2	7 534,4
06-may-15	44,9	6 237,9
10-may-15	31,8	7 752,8
11-may-15	38,9	6 117,4
14-may-15	26,8	7 243,6

16-may-15	32,6	7 568,3
21-may-15	48,8	7 273,0
05-jun-15	36,4	7 455,3
06-jun-15	50,0	6 820,3
10-jun-15	49,5	7 451,2
15-jun-15	40,4	6 852,5
17-jun-15	61,4	8 135,4
20-jun-15	48,7	8 015,1
25-jun-15	43,1	7 293,7
28-jun-15	34,4	8 994,7
30-jun-15	32,3	7 940,2
01-jul-15	40,0	7 272,2
02-jul-15	43,6	6 928,2
04-jul-15	40,1	5 960,8
06-jul-15	37,4	9 489,0
02-ago-15	55,2	6 532,3
05-ago-15	47,0	6 197,1
09-ago-15	70,3	5 940,5
14-ago-15	56,7	6 662,2
24-ago-15	59,8	8 857,1

Fuente: Base de datos *Split Online* – base de datos *MineOps* mina Cuajone.

Anexo B. Base de datos de pala 05.

Fecha	X (P80) – cm.	Y (Vel. Excav.) – TM/Hr
01-ene-15	24,1	7 857,0
05-ene-15	25,5	8 842,0
06-ene-15	28,8	7 799,4
11-ene-15	21,1	7 827,2
16-ene-15	25,1	8 736,4
21-ene-15	13,1	9 117,2
26-ene-15	95,5	9 131,5
01-feb-15	129,0	8 550,5
05-feb-15	126,0	9 378,5
10-feb-15	150,5	8 581,1
12-feb-15	71,5	7 528,2
15-feb-15	82,0	8 655,9
18-feb-15	27,3	9 463,3
21-feb-15	38,7	10 227,0
25-feb-15	19,5	4 344,3
07-mar-15	27,5	9 122,8
09-mar-15	20,2	9 598,4
12-mar-15	21,3	10 941,3
19-mar-15	18,9	9 039,9
07-abr-15	19,2	7 599,4
11-abr-15	16,7	10 951,3
14-abr-15	25,4	9 412,2
16-abr-15	16,0	10 705,9
21-abr-15	20,2	10 051,0
25-abr-15	21,6	8 345,7
03-may-15	28,1	9 243,9
06-may-15	23,7	7 800,1
11-may-15	26,4	7 451,5
16-may-15	25,3	9 080,1
22-may-15	25,5	7 219,7
25-may-15	27,5	8 919,1
30-may-15	34,1	10 175,7
05-jun-15	17,3	10 904,4
10-jun-15	19,8	7 998,1
15-jun-15	18,4	9 013,9
20-jun-15	27,2	8 517,9
25-jun-15	21,3	6 817,0
30-jun-15	28,2	6 322,7
05-jul-15	20,8	9 781,9
10-jul-15	23,9	7 856,1

15-jul-15	23,8	8 539,5
20-jul-15	33,2	7 155,2
30-jul-15	26,4	6 871,0
04-ago-15	29,8	7 618,3
09-ago-15	20,6	10 008,8
14-ago-15	20,1	8 503,8
19-ago-15	24,9	8 555,2
24-ago-15	18,5	9 267,3
03-sep-15	15,8	9 239,9
18-sep-15	20,8	8 325,7
03-oct-15	28,9	7 419,0
08-oct-15	23,3	8 502,7
23-oct-15	19,6	8 697,9
02-nov-15	23,1	8 232,8
07-nov-15	22,1	8 705,3
17-nov-15	24,2	8 404,4
02-dic-15	27,3	9 451,0
12-dic-15	26,4	8 913,3
17-dic-15	33,7	8 122,6
27-dic-15	22,3	8 680,7

Fuente: Base de datos *Split Online* – base de datos *MineOps* mina Cuajone.

Anexo C. Base de datos de pala 06.

Fecha	X (P80) – cm.	Y (Vel. Excav.) – TM/Hr
01-ene-15	34,6	8 319,1
06-ene-15	43,5	9 937,7
11-ene-15	43,0	9 731,4
16-ene-15	37,7	10 756,2
21-ene-15	38,6	8 993,9
05-feb-15	33,9	10 236,9
20-feb-15	27,6	8 796,7
25-feb-15	21,6	10 115,8
07-mar-15	51,2	9 136,3
12-mar-15	43,0	9 745,0
17-mar-15	34,6	8 284,9
22-mar-15	36,3	8 159,7
27-mar-15	47,7	10 951,0
01-abr-15	51,2	10 935,0
11-abr-15	25,9	11 004,8
16-abr-15	42,8	8 632,8
21-abr-15	35,3	10 747,3
01-may-15	33,6	9 237,2
06-may-15	38,4	9 103,9
11-may-15	43,5	8 060,1
16-may-15	32,9	9 983,4
21-may-15	27,7	8 731,5
28-may-15	56,1	8 408,0
05-jun-15	51,9	8 187,2
10-jun-15	27,1	9 678,6
17-jun-15	42,1	10 247,6
20-jun-15	56,8	9 925,1
25-jun-15	32,1	9 655,9
30-jun-15	58,1	4 730,7
10-jul-15	39,1	9 382,8
12-jul-15	47,1	8 808,9
15-jul-15	37,9	10 286,8
20-jul-15	39,9	11 848,7
30-jul-15	32,6	10 100,9
07-ago-15	28,4	9 832,3
09-ago-15	42,6	10 299,3
14-ago-15	43,9	9 119,6
19-ago-15	31,8	8 941,2
24-ago-15	33,9	9 955,5
28-ago-15	49,1	8 338,2

05-sep-15	27,6	11 091,4
08-sep-15	38,9	9 707,5
13-sep-15	39,7	8 450,1
19-sep-15	34,1	10 242,7
23-sep-15	39,8	10 093,5
08-oct-15	42,9	9 623,9
13-oct-15	55,5	9 168,5
18-oct-15	31,8	11 382,5
23-oct-15	46,2	9 956,1
27-oct-15	48,0	7 437,2
02-nov-15	29,2	11 446,0
04-nov-15	26,2	11 549,4
07-nov-15	30,3	11 527,1
17-nov-15	55,2	9 736,0
22-nov-15	37,4	9 590,4
27-nov-15	34,1	11 078,0
02-dic-15	43,1	9 036,1
07-dic-15	32,5	10 687,0
12-dic-15	42,3	10 830,0
22-dic-15	34,5	7 900,5

Fuente: Base de datos *Split Online* – base de datos *MineOps* mina Cuajone.

Anexo D. Reporte de fragmentación detallado por equipo.



Fecha : 2017-11-07 09:51:14

DIARIO POR EQUIPO

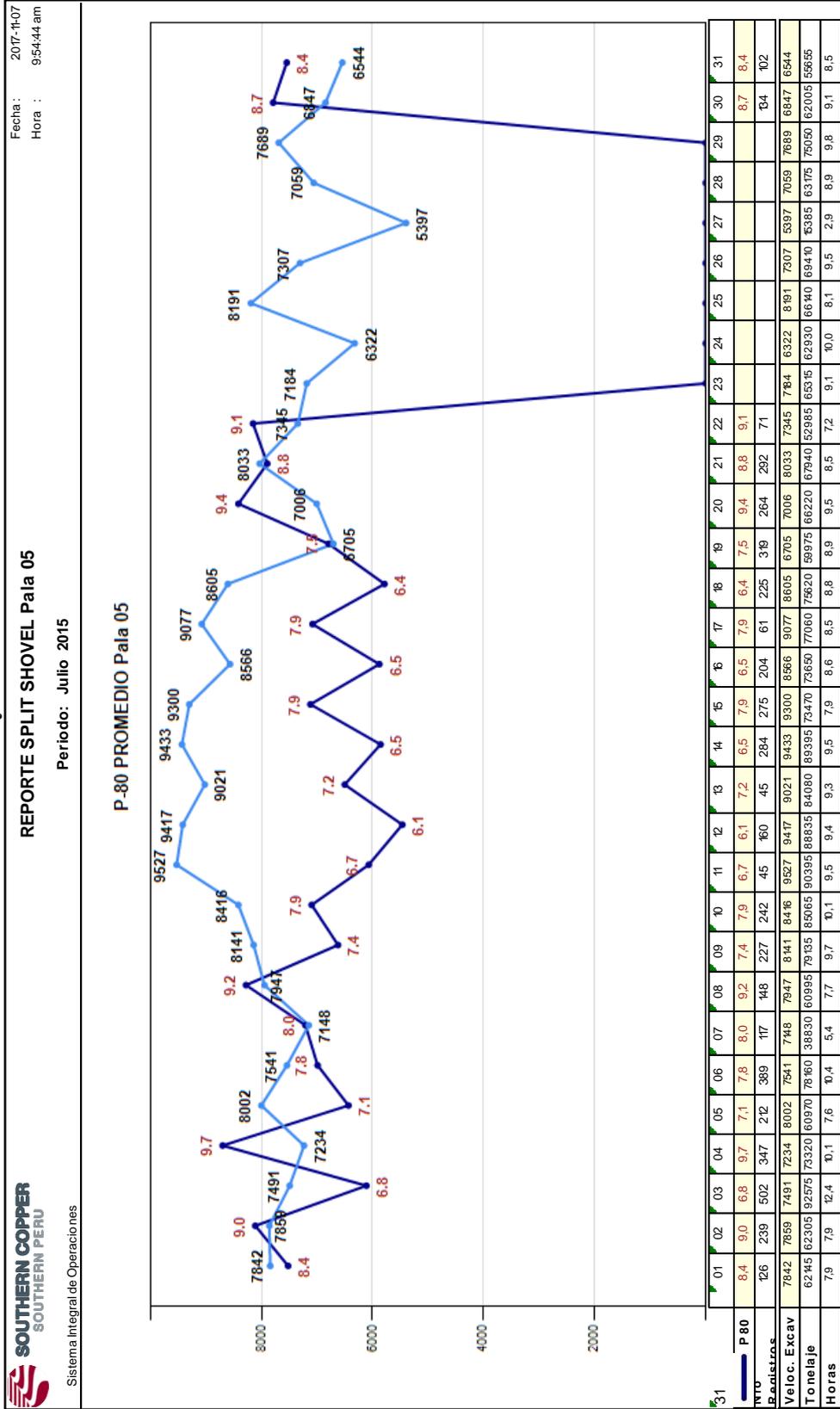
Equipo: Pala 5

Fecha: 2015/11/12

Tonelaje	87 230,00											
Ton/Hr	19 910,95											
Fecha	P10IN	P20IN	P30IN	P40IN	P50IN	P60IN	P70IN	P80IN	P90IN	Poligono	Malla	
2015/11/12 06:07:42	0,4	0,9	1,3	1,8	2,8	3,4	4,0	5,4	6,7	3460-637/W		
2015/11/12 06:10:08	3,9	12,6	15,6	40,4	40,4	40,4	40,4	40,4	40,4	3460-637/W		
2015/11/12 06:17:35	0,2	0,5	0,8	1,1	2,0	2,4	2,8	3,0	3,8	3460-637/W		
2015/11/12 06:40:36	2,8	5,5	9,7	32,7	32,7	32,7	32,7	32,7	32,8	3460-637/W		
2015/11/12 07:02:40	0,5	1,1	1,9	2,8	3,5	4,2	5,2	5,6	10,5	3460-637/W		
2015/11/12 07:16:24	0,3	0,6	1,0	1,4	2,0	2,4	3,2	4,1	4,6	3460-637/W		
2015/11/12 07:19:04	0,4	0,9	1,5	2,2	3,1	3,7	4,5	4,7	6,1	3460-637/W		
2015/11/12 09:00:52	1,1	2,8	4,7	6,7	6,9	8,6	9,1	13,0	13,0	3460-637/W		
2015/11/12 09:58:41	0,3	0,6	1,0	1,5	2,0	2,9	3,4	3,5	4,4	3460-637/W		
2015/11/12 10:56:54	0,2	0,5	0,9	1,3	1,6	2,8	3,3	3,5	6,6	3460-637/W		
2015/11/12 10:57:24	0,5	1,0	1,2	1,7	2,4	5,3	5,7	6,1	7,6	3460-637/W		
2015/11/12 12:09:05	0,3	0,6	1,0	1,4	1,6	2,0	2,8	5,4	6,1	3460-637/W		
2015/11/12 12:15:25	0,2	0,6	0,9	1,3	1,7	2,7	3,5	3,9	4,4	3460-637/W		
2015/11/12 12:17:17	0,2	0,5	0,8	1,2	2,0	2,4	3,0	4,2	4,4	3460-637/W		
2015/11/12 12:34:18	0,6	1,6	3,0	4,1	5,2	6,3	8,1	9,6	10,5	3460-637/W		
2015/11/12 12:36:13	0,3	0,7	1,4	2,3	2,7	3,1	3,5	4,3	5,4	3460-637/W		
2015/11/12 14:44:37	0,4	0,9	1,4	1,9	2,5	3,0	3,8	4,9	9,3	3460-637/W		
2015/11/12 15:46:10	0,2	0,5	0,8	1,1	1,5	2,0	2,5	3,6	4,7	3460-637/W		
2015/11/12 16:31:03	0,5	1,1	1,6	2,0	2,6	3,1	3,8	5,2	11,7	3460-637/W		
2015/11/12 16:44:12	0,2	0,5	0,8	1,2	1,7	2,1	2,6	4,0	4,7	3460-637/W		

Fuente: Reporte Split Online – mina Cuajone.

Anexo E. Curva de P80 y velocidad de excavación.



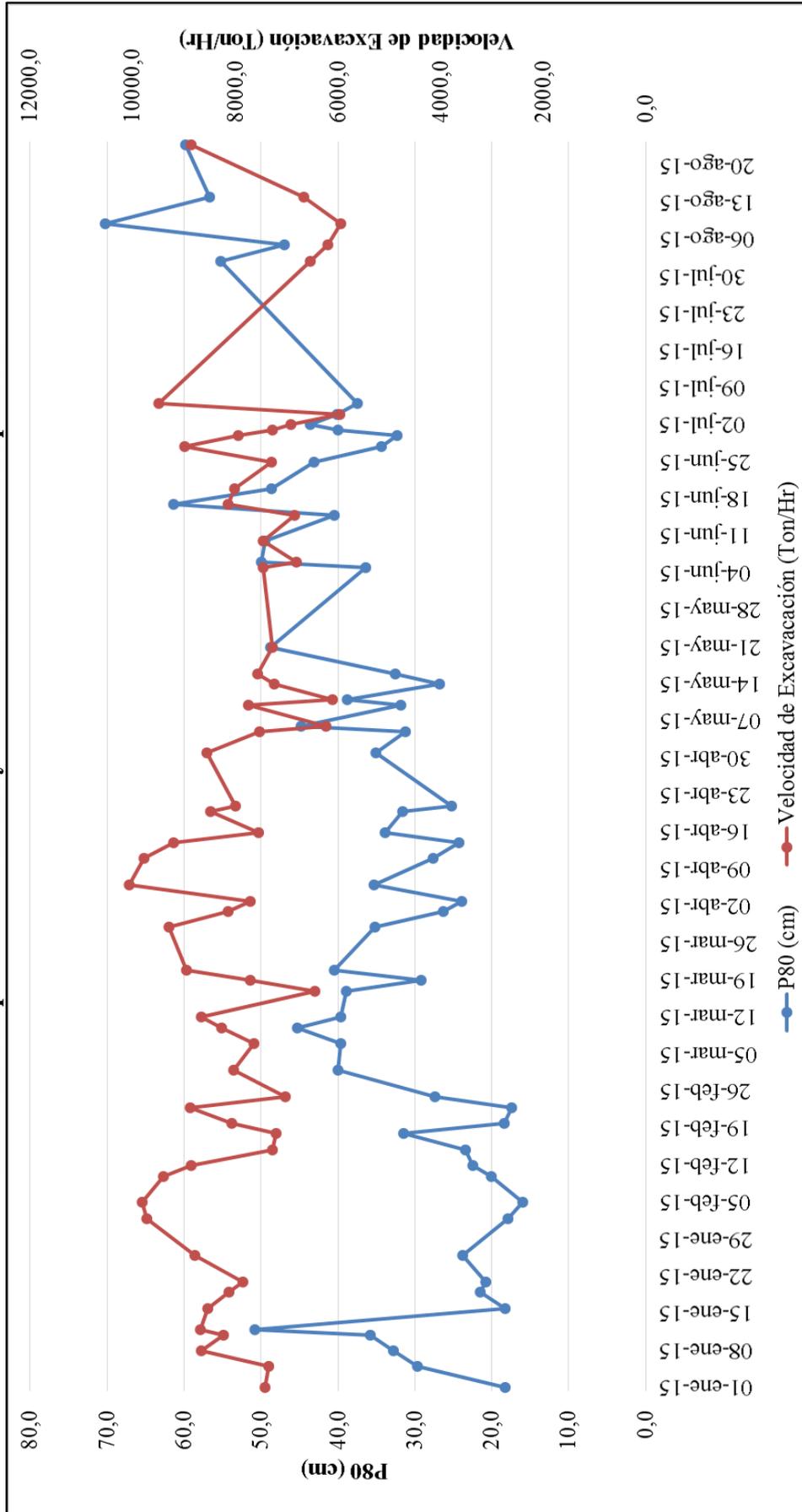
Fuente: Reporte Split Online – mina Cuajone.



Sistema Integral de Operaciones

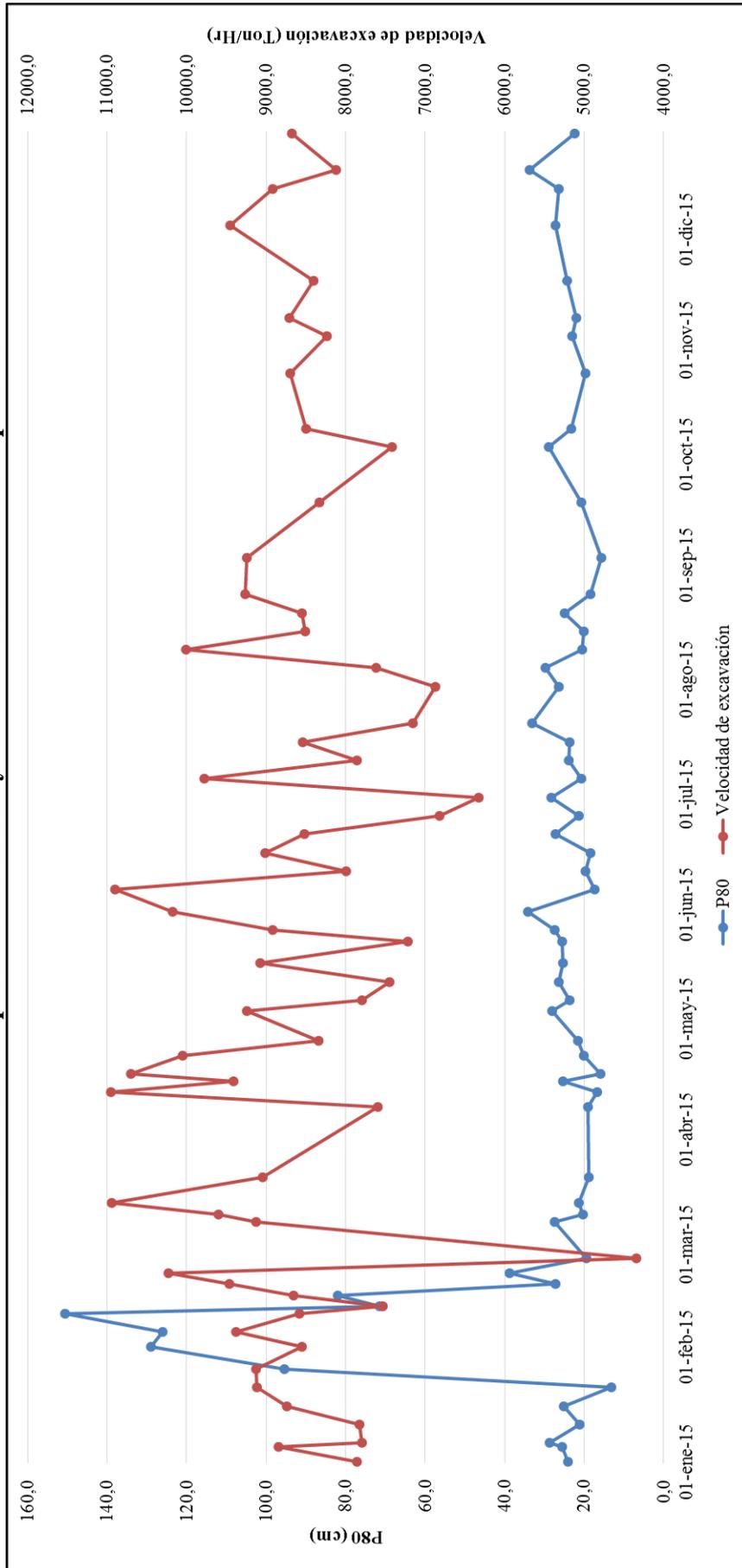
Fecha: 2017-11-07
Hora: 9:54:44 am

Anexo F. Comportamiento de P80 y velocidad de excavación de pala 04.



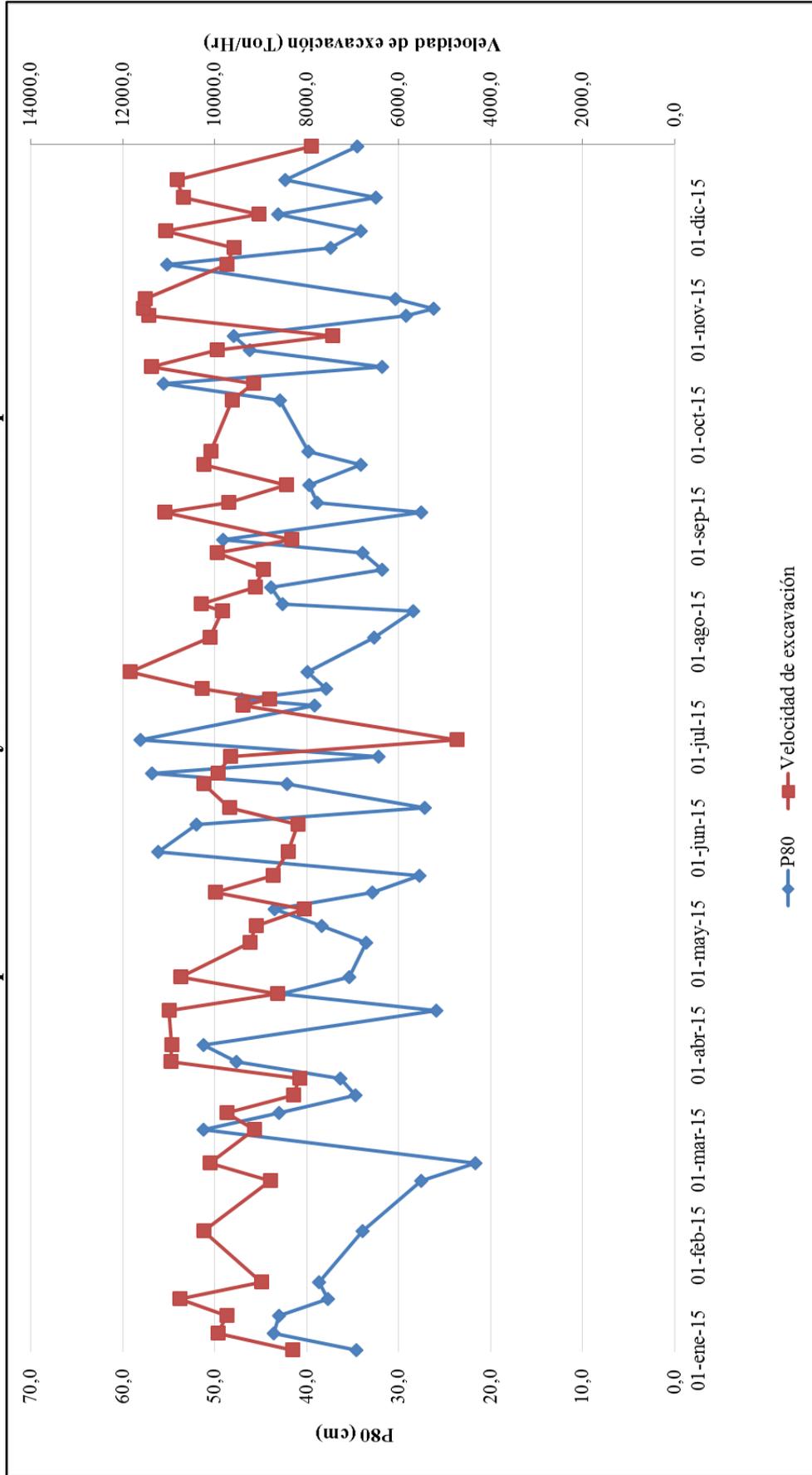
Fuente: Elaboración propia.

Anexo G. Comportamiento de P80 y velocidad de excavación de pala 05.



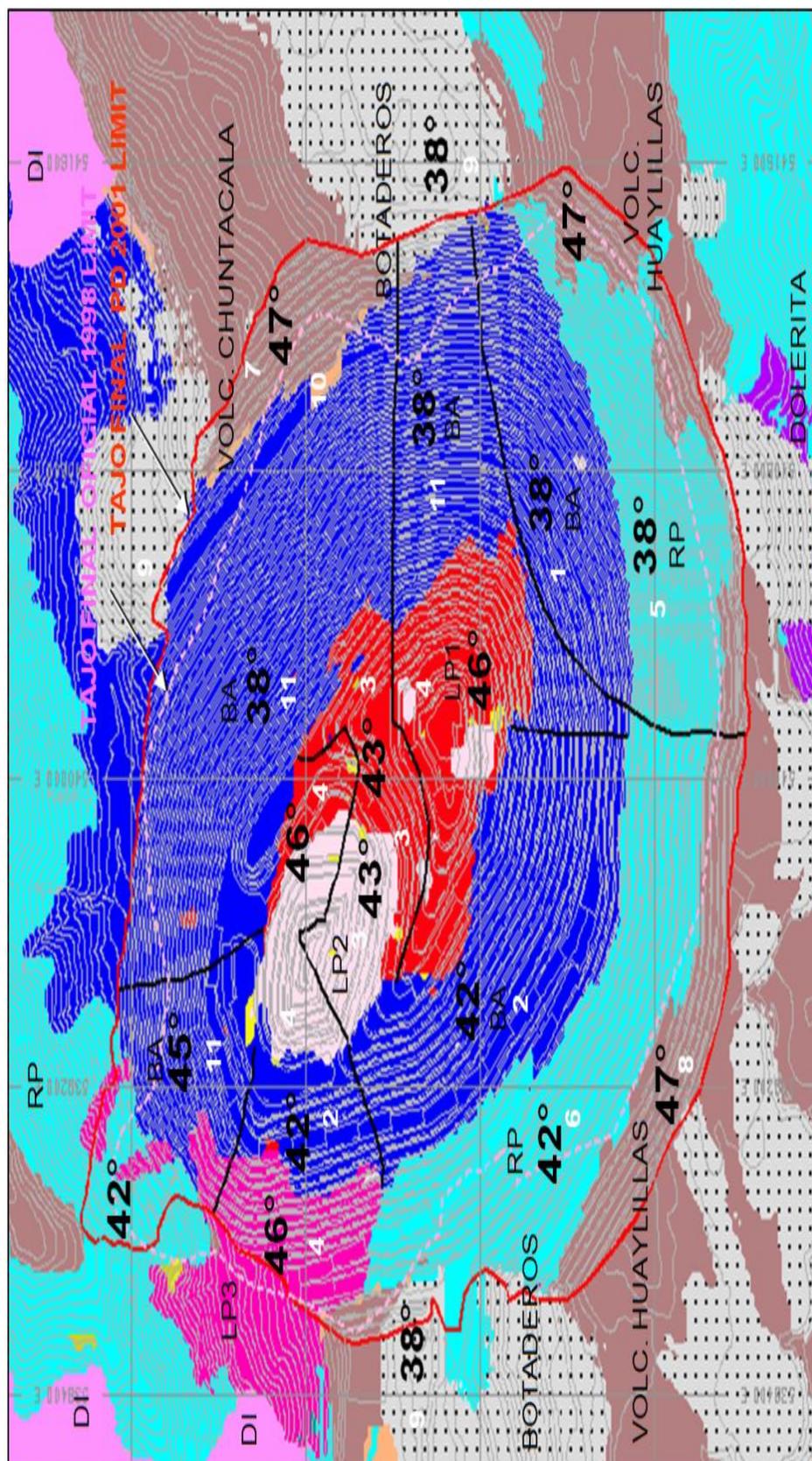
Fuente: Elaboración propia.

Anexo H. Comportamiento de P80 y velocidad de excavación de pala 06.



Fuente: Elaboración propia.

Anexo I. Geología y ángulos inter-rampas de la pared final.



Fuente: Área de geotecnia – mina Cuajone.

Anexo J. Matriz de consistencia.

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
<p>Problema general</p> <p>¿En cuánto varía la velocidad de excavación de las palas de 42.8, 45.9 y 55.8 m³ que cargan material con fragmentación P80 menor o mayor a 40 centímetros a volquetes de 363 y 290 toneladas?</p>	<p>Objetivo general</p> <p>Evaluar la velocidad de excavación de las palas de 42.8, 45.9 y 55.8 m³ cuando cargan material con fragmentación P80 menor o mayor a 40 centímetros a volquetes de 363 y 290 toneladas.</p>	<p>Hipótesis general</p> <p>A medida que se reduce el parámetro de fragmentación P80 menor a 40 centímetros se produce un incremento en la velocidad de excavación mayor a 9000 toneladas por hora, cuando es mayor a 40 centímetros se produce una disminución en la velocidad de excavación de la pala.</p>	<p>Variable independiente:</p> <p>Fragmentación P80.</p> <p>Variable de pendiente:</p> <p>Velocidad de excavación de la pala.</p>	<p>Tipo de investigación:</p> <p>Cuantitativa con alcance descriptivo.</p> <p>Método de investigación:</p> <p>Aplicativo.</p>
<p>Problemas específicos</p> <p>¿En cuánto varía la velocidad de excavación de una pala de 42.8 m³ que carga material con fragmentación P80 mayor a 40 centímetros a volquetes de 363 toneladas?</p>	<p>Objetivos específicos</p> <p>Determinar la velocidad de excavación de una pala de 42.8 m³ cuando carga material con fragmentación P80 mayor a 40 centímetros a volquetes de 363 toneladas.</p>	<p>Hipótesis específicas</p> <p>Cuando se tiene material con fragmentación P80 mayor a 40 centímetros, la velocidad de excavación de la pala de 42.8 m³ sufre una variación menor a 9000 toneladas por hora, cuando carga a volquetes de 363 toneladas.</p>		<p>Diserño de investigación:</p> <p>Es de tipo no experimental – longitudinal.</p> <p>Población:</p> <p>Son los 900 datos de fragmentación P80 y velocidad de excavación de 03 palas electromecánicas de 42,8; 45,9 y 55,8 m³ que se generan en 01 año de trabajo (solo en el turno día).</p>
<p>¿En cuánto varía la velocidad de excavación de una pala de 45.9 m³ que carga material con fragmentación P80 mayor a 40 centímetros a volquetes de 363 toneladas?</p>	<p>Determinar la velocidad de excavación de una pala de 45.9 m³ cuando carga material con fragmentación P80 mayor a 40 centímetros a volquetes de 363 toneladas.</p>	<p>Cuando se tiene material con fragmentación P80 mayor a 40 centímetros, la velocidad de excavación de la pala de 45.9 m³ sufre una variación menor a 9500 toneladas por hora, cuando carga a volquetes de 363 toneladas.</p>		<p>Muestra:</p> <p>Son 60 datos obtenidos por método probabilístico estratificado.</p>
<p>¿En cuánto varía la velocidad de excavación de una pala de 55.8 m³ que carga material con fragmentación P80 mayor a 40 centímetros a volquetes de 290 toneladas?</p>	<p>Determinar la velocidad de excavación de una pala de 55.8 m³ cuando carga material con fragmentación P80 mayor a 40 centímetros a volquetes de 290 toneladas.</p>	<p>Cuando se tiene material con fragmentación P80 mayor a 40 centímetros, la velocidad de excavación de la pala de 55.8 m³ sufre una variación menor a 11000 toneladas por hora, cuando carga a volquetes de 290 toneladas.</p>		

Fuente: Elaboración propia.

Anexo K. Plano de Ubicación Mina Cujone

