

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA



TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

**“EVALUACIÓN DE CAPACIDADES OPERATIVAS DE PALAS PARA
INCREMENTAR LA PRODUCCIÓN DE GRANDES OPERACIONES MINERAS”**

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO DE MINAS**

**ELABORADO POR
RAMIRO AUGUSTO AQUIÑO ROMERO**

ASESOR

ING. ADOLFO JESÚS CHAVEZ VALDIVIA

LIMA – PERÚ

2022

DEDICATORIA

A la memoria de mi padre Lucio Augusto Aquiño Caballero quien está en el cielo, a mi madre Magda Marina Romero Medina de Aquiño, a ambos por su invaluable soporte en mi formación personal y profesional. Y a mi esposa Guadalupe Edelmira Torres Osorio por unirse a mí a asumir los retos que nos desafía la vida.

AGRADECIMIENTO

A mi padre Lucio Augusto Aquino Caballero quien está en el cielo, por sus sabias enseñanzas, consejos y valores que han hecho de mí una persona de bien. A mi madre Magda Marina Romero Medina de Aquino por haber sido el soporte incondicional de mi padre en el digno trabajo de formar una familia ejemplar. Y a mi esposa Guadalupe Edelmira Torres Osorio por ser mi compañera de vida y el soporte de nuestro hogar en todo momento.

RESUMEN

El propósito del presente trabajo de investigación es la evaluación de la capacidad de la Pala eléctrica P&H 4100XPC AC mediante el análisis de su productividad y costos unitarios de operación, para incrementar la producción de una mina de tajo abierto en un yacimiento de tipo pórfido de cobre de gran dimensión.

El enfoque del estudio es cuantitativo y el alcance es correlacional por la relación directa entre la Capacidad de las Palas y la Producción de la Mina. La investigación no requirió de un diseño Experimental, porque para el análisis se utilizó información histórica real de productividad y costo unitario de Palas.

El análisis consistió en la evaluación estadística de las variables productividad y costo unitario de las Palas eléctricas P&H 4100XPC AC comparada contra las Palas hidráulicas Caterpillar 6050 que fueron parte de la flota actual de la Mina en el periodo de evaluación.

Para propósitos de análisis se asumió un equivalente de comparación de dos Palas 6050 contra una Pala 4100 y la información utilizada corresponde a un período de dieciséis meses comprendido desde abril del 2017 hasta julio del 2018.

Se utilizó la Prueba T para comparar probabilísticamente las medias de ambas muestras luego del análisis de normalidad de datos mediante el método de Shapiro Wilk (SW) para comprobar la distribución normal de los datos de ambas muestras.

Mediante el análisis estadístico se demostró que a una probabilidad de ocurrencia de 95% la productividad media de la pala P&H 4100XPC AC es mayor que la productividad media del equivalente a dos palas Cat 6050 y que el costo unitario de producción de este equivalente es mayor que el costo de la Pala 4100XPC AC.

Con estos dos resultados se llegó a la conclusión que el objetivo del presente estudio de incrementar la producción de la mina con un beneficio técnico y económico es alcanzable reemplazando dos palas Cat 6050 por una pala P&H 4100XPC AC.

Una limitante del estudio es que solamente se ha evaluado estos tipos de palas por tratarse de un caso en el que se cuenta con información real de estos equipos en la mina, pero la evaluación puede incluir otras marcas con equipos de similar capacidad.

Palabras claves: Capacidad de la Pala, Productividad de pala, Producción de la Mina, Costo unitario de producción de Pala.

ABSTRACT

The purpose of this research work is to evaluate the capacity of P&H 4100XPC AC electric shovel by analyzing the productivity and unit operating costs, with a goal to increase production at an open pit large porphyry copper operation.

The focus of the study is quantitative, and the scope of this study is correlational due to the direct relationship between the capacity of the shovels and mine production. In addition, to support the scope, the study includes real-time and historical operational data of productivity and unit operating costs from an active mining operation.

A statistical approach is used to compare P&H 4100XPC AC electric shovels with Caterpillar 6050 hydraulic shovels and includes two critical factors: productivity and unit operating costs. The reason for studying the above shovels in specific is because the above equipment's are currently in the mine operating plan.

The following assumptions were considered in this study: the capacities of two 6050 Shovels are equivalent to one 4100 Shovel and a period of sixteen months from April 2017 to July 2018 was considered for supporting the study.

The statistical method used was a T-test statistical concept to probabilistically compare the means of both samples after the data normality analysis using the Shapiro Wilk (SW) method to verify the normal distribution of both the sample data.

Through statistical analysis at 95% probability of confidence level was achieved which proved that the average productivity of a 4100XPC AC Shovel is higher than

the average productivity of the equivalents Caterpillar 6050 hydraulic shovel. And the unit production cost of the equivalents Caterpillar 6050 hydraulic shovel was higher than the cost of the Shovel 4100XPC AC.

With the above results, it was concluded that the optimal strategy for the mine is to increase mine production, considering technical and economic benefit, by replacing the two 6050 Shovels with one 4100XPC AC Shovel.

It is important to highlight that, one limitation with this study, is that the Komatsu 4100XPC AC shovel type used in evaluations, was because in the company, where the study was performed, this equipment was part of its fleet. However, for other use cases in which it is desired to evaluate other types of shovels, a similar approach and strategy can be used for analysis.

Keywords: Shovel Capacity, Shovel Productivity, Mine Production, Unit Shovel Production Cost.

PRÓLOGO

El presente trabajo de investigación es desarrollado a través de seis capítulos que se describen a continuación:

Capítulo I, La primera parte es de generalidades, donde se explica la situación actual de baja producción por la coyuntura de bajo precio de cobre, pero con una necesidad futura de incremento de producción ante el requerimiento del mercado, por tanto, la evaluación de equipos que soporten ese objetivo es importante. El segundo tema es la descripción del problema que está en torno a la baja producción. Seguido por el tercer tema que es el objetivo de estudio, definido por: incrementar la producción de la Mina en base a la evaluación de capacidades de palas. Finalmente, el cuarto punto corresponde a los antecedentes investigativos que son temas internacionales y nacionales relacionados al tema de estudio con una antigüedad entre 8 a 10 años.

Capítulo II, El primer punto es el marco teórico en el que se detallan investigaciones relevantes y relacionados al tema sin restringirlos por su antigüedad. El segundo punto es el marco conceptual en donde se está definiendo terminología usada en el presente trabajo.

Capítulo III, La primera parte es la definición de la hipótesis: Una evaluación efectiva de capacidades de palas permitirá incrementar la producción de la mina. Y en la segunda parte se definen las variables: independiente (evaluación de capacidades de palas) y dependiente (capacidad de producción de la mina).

Capítulo IV, Describe en la primera parte el tipo y diseño de investigación. En la segunda parte se describe la unidad de análisis y en la tercera parte se detalla la matriz de consistencia.

Capítulo V, Desarrolla el proceso de recolección de datos, su procesamiento y el análisis de la información.

Capítulo VI, Analiza y se discuten resultados, realiza conclusiones y finalmente se alcanzan las recomendaciones.

INDICE

CAPITULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1. Generalidades	1
1.2. Descripción del Problema de Investigación	3
1.3. Objetivos del Estudio	9
1.3.1. Objetivo General	9
1.3.2. Objetivos Específicos	10
1.4. Antecedentes Investigativos	10
1.4.1. Investigaciones Internacionales	10
1.4.2. Investigaciones Nacionales	11
CAPITULO II	13
MARCOS TEÓRICO Y CONCEPTUAL	13
2.1. Marco Teórico	13
2.1.1. Adquisición de palas para la expansión de Cerro Verde	13
2.1.2. Palas de gran volumen en minería de Chile	16
2.1.3. Rendimiento de palas de gran volumen	17
2.2. Marco Conceptual	18
2.2.1. Pala	19
2.2.2. Tajo	19

2.2.3. Planta.....	19
2.2.4. Capacidad	20
2.2.5. Producción	20
CAPITULO III.....	21
HIPÓTESIS Y OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	21
3.1. Hipótesis General	21
3.2. Hipótesis Específicas	21
3.3. Operacionalización de variables	22
CAPITULO IV	23
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	23
4.1. Tipo y Diseño de la Investigación.....	23
4.1.1. Enfoque	23
4.1.2. Alcance	24
4.1.3. Diseño de Investigación.....	24
4.2. Unidades de Análisis	24
4.2.1. Pala Komatsu 4100XPC AC.....	26
4.2.2. Pala Caterpillar 6050.....	27
4.3. Estrategia de Prueba de Hipótesis	29
4.4. Matriz de consistencia.....	31
CAPÍTULO V.....	32

DESARROLLO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	32
5.1. Recolección de Datos.....	33
5.2. Procesamiento de Datos	33
5.3. Análisis de la información	35
5.3.1. Productividad de Palas	35
5.3.1.1. Selección de Data	35
5.3.1.2. Prueba de Normalidad	37
5.3.2. Costo de Producción de Palas	43
5.3.2.1. Selección de Data	43
5.3.2.2. Prueba de Normalidad.....	44
CAPITULO VI	50
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	50
6.1. Validación de información.....	50
6.1.1. Validez Interna.....	50
6.1.2. Validez Externa.....	54
6.2. Contratación de Hipótesis.....	56
6.2.1. Prueba T.....	56
6.2.2. Productividad	57
6.2.3. Costo Unitario.....	61
6.3. Discusión de resultados.....	65
6.3.1. Productividad	65

6.3.2. Costo Unitario.....	65
6.4. Limitaciones del Estudio.....	66
CONCLUSIONES.....	68
RECOMENDACIONES.....	70
REFRENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	72

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1. Ampliaciones de proyectos mineros a noviembre de 2016.....</i>	<i>2</i>
<i>Tabla 2. Compromisos de inversión privada 2017-2018 por sectores</i>	<i>7</i>
<i>Tabla 3. Comparación de indicadores de producción de Palas P&H 4100.....</i>	<i>15</i>
<i>Tabla 4. Compañías Mineas y Cantidad de Palas Eléctricas en Chile</i>	<i>17</i>
<i>Tabla 5. Capacidad de la Pala 4100XPC AC.....</i>	<i>26</i>
<i>Tabla 6. Características Operacionales</i>	<i>26</i>
<i>Tabla 7. Capacidad de la Pala 6050</i>	<i>28</i>
<i>Tabla 8. Parámetros operacionales de trabajo</i>	<i>28</i>
<i>Tabla 9. Prueba Shapiro-Wilk P0914.....</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 10. Estadística descriptiva P0914</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 11. Intervalos para el Histograma P0914</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 12. Prueba Shapiro-Wilk P151618.....</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 13. Estadística descriptiva P151618</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 14. Intervalos para el Histograma P151618</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 15. Resultados Prueba Shapiro Wilk CAT6050.....</i>	<i>45</i>
<i>Tabla 16. Estadística descriptiva CAT6050.....</i>	<i>45</i>
<i>Tabla 17. Intervalos para el Histograma CAT6050</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 18. Resultados Prueba Shapiro Wilk P&H4100.....</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 19. Estadística descriptiva Wilk P&H4100</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 20. Histograma P&H4100.....</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 21. Shapiro Wilk P151618 Bimestrial</i>	<i>51</i>
<i>Tabla 22. Shapiro Wilk P0914 Bimestrial</i>	<i>52</i>
<i>Tabla 23. Productividad palas P&H4100 algunas Minas.....</i>	<i>55</i>
<i>Tabla 24. Prueba T dos muestras productividad de P151618 y P0914.....</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 25. Resultados Prueba T productividad de P151618 y P0914</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 26. Prueba T de muestras P151618 y P0914 – MINITAB.....</i>	<i>59</i>
<i>Tabla 27. Prueba T dos muestras, costo unitario (\$/t) de P&H4100 y CAT6050</i>	<i>61</i>
<i>Tabla 28. Resultados Prueba T, costo unitario de P&H4100 y CAT6050</i>	<i>62</i>
<i>Tabla 29. Prueba T de muestras CAT6050 y P&h4100 – MINITAB.....</i>	<i>63</i>

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1. Precios de Cobre LME y Stock en Bolsa</i>	2
<i>Figura 2. Precio histórico de cobre LME</i>	5
<i>Figura 3. Tasa de material Minado</i>	8
<i>Figura 4. Incremento de producción de Cobre</i>	9
<i>Figura 5. Primera Pala 4100XPC AC en el Perú</i>	27
<i>Figura 6. Pala 6050 FS de SMCV en Perú</i>	29
<i>Figura 7. Producción de Palas 4100XPC AC</i>	36
<i>Figura 8. Producción de Palas 6050</i>	37
<i>Figura 9. Histograma P0914</i>	40
<i>Figura 10. Histograma P151618</i>	42
<i>Figura 11. Costos unitarios de Producción</i>	44
<i>Figura 12. Histograma CAT6050</i>	47
<i>Figura 13. Histograma P&H4100</i>	49
<i>Figura 14. Histograma P151618</i>	52
<i>Figura 15. Histograma P0914 Bimestral</i>	53
<i>Figura 16. Resumen de productividades de palas</i>	54
<i>Figura 17. Valores individuales de productividad (tph) P151618 y P0914</i>	60
<i>Figura 18. Gráfico de caja productividad (tph) P151618 y P0914</i>	61
<i>Figura 19. Valores individuales de CAT6050 y P&H4100 - MINITAB</i>	64
<i>Figura 20. Cajas de costos unitarios CAT6050 y P&H4100 – MINITAB</i>	65

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

Este capítulo describe las generalidades, problemática, objetivos y los antecedentes investigativos del presente proyecto de investigación de trabajo de suficiencia.

1.1. Generalidades

Durante la primera mitad del 2016, la industria minera de cobre experimentó una etapa desfavorable por la caída del precio, que se debió principalmente al debilitamiento de la economía de China. Ante esta coyuntura, muchas compañías mineras en defensa de su posición financiera tomaron medidas austeras para reducir gastos de capital y costos operativos. Estas medidas impactaron sus niveles de producción, reduciéndolo y en otros casos cerrando operaciones. La Figura 1 muestra el comportamiento del precio del cobre y los stocks de este metal en las bolsas de valores London Metal Exchange (LME), Commodity Exchange Inc. (COMEX) y Shanghai Futures Exchange desde enero 2008 hasta diciembre del 2017.

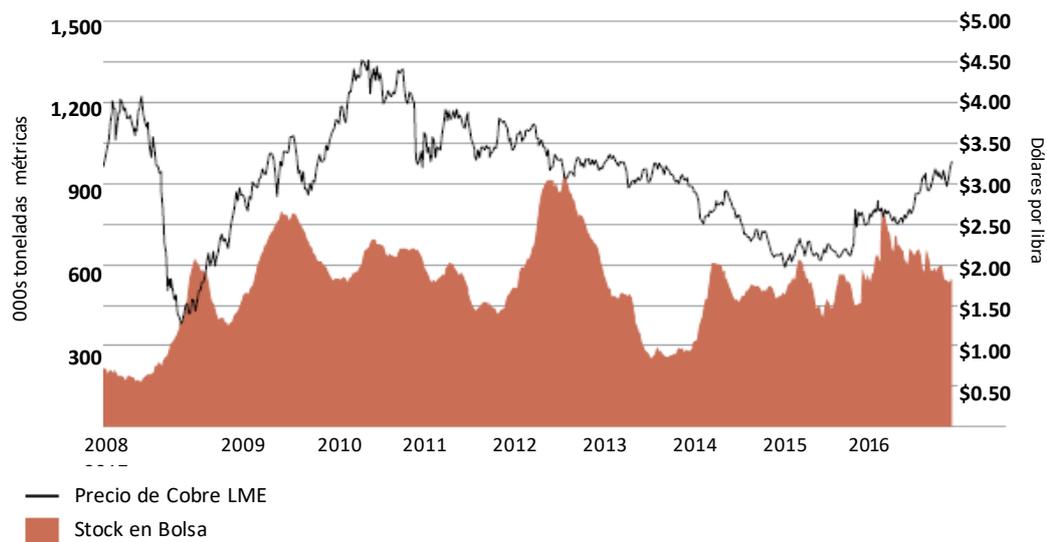


Figura 1. Precios de Cobre LME y Stock en Bolsa

Fuente: Adaptado de Precios de Cobre LME y Stock en Bolsa, por Freeport McMoran, 2017, Reporte Anual 2017.

Sin embargo, la proyección del precio del cobre a futuro es optimista, por su empleo como materia prima en la producción de carros eléctricos, plantas de generación eléctrica solar, líneas de transmisión eléctrica, producción de artículos y artefactos electrónicos, etc. Por tanto, la demanda del cobre por la industria se incrementará significativamente y una alternativa de satisfacerla es incrementando la producción de proyectos mineros en operación y desarrollando otros proyectos para futuro. La Tabla 1 muestra la cartera de ampliaciones de proyectos mineros en el Perú a noviembre del 2016.

Tabla 1. Ampliaciones de proyectos mineros a noviembre de 2016

Proyecto	Mineral	Inversión (US\$ millones)
Ampliación Marcona	Hierro	1,500
Ampliación Toromocho	Cobre	1,350
Ampliación Toquepala	Cobre	1,200
Ampliación Lagunas Norte	Oro	640

Ampliación Bayóvar	Fosfatos	520
Total		5,210

Fuente: La tabla muestra las ampliaciones de proyectos mineros hasta noviembre del 2016, elaborado por Osinergmin, 2018. Tomado de *La Industria Minera en el Perú* (p. 262).

El retorno a los niveles de producción o incrementos, sobre todo para operaciones a tajo abierto, requiere de movimiento de grandes volúmenes de material que es factible mediante la utilización de equipos de gran capacidad y alta productividad.

La industria de abastecimiento de equipos mineros provee de palas eléctricas e hidráulicas de gran volumen de producción para la excavación y carguío de material. Estos equipos se han diseñado para desarrollar una alta productividad cargando camiones de acarreo de gran dimensión.

En el mercado, existen palas eléctricas e hidráulicas; las eléctricas son de mayor capacidad por la mayor potencia de sus motores y se utilizan en operaciones mineras que extraen material a gran escala. Las palas hidráulicas son regularmente empleadas como complemento a las eléctricas. Sin embargo, en algunas operaciones de mediana producción, entre 50 a 150 mil toneladas por día, o en aquellas ubicadas en lugares con abastecimiento eléctrico limitado se utilizan como equipos de carguío principales.

La selección de un equipo de carguío o acarreo es sustentada por el beneficio técnico económico respecto a la condición actual de la operación minera.

1.2. Descripción del Problema de Investigación

Ford Gerald J. y Adkerson Richard C. (2016), en la traducción del Reporte Anual 2015 de Freeport McMoran INC (FCX), explican que el debilitamiento de la economía de China ocasionó la baja del precio de las materias primas y entre ellas el cobre. Debido

a ello se implementaron acciones como la reducción de los costos operativos y gastos de capital y se anunció la intención de venta de activos importantes. Estas medidas tuvieron la finalidad de mejorar el flujo de caja y la reducción de la deuda.

Para reducir los costos operativos y gastos de capital se revisaron los planes de producción de las operaciones de cobre de FCX de Norteamérica. Se redujo al 50% la producción de la Mina Tyrone y se suspendió la producción en las Minas Miami y Sierrita. Lo mismo sucedió en las minas de molibdeno reduciéndose un 65% la producción de la Mina Henderson.

OSINERGMIN (2016), en el libro “La Industria de la Minería en el Perú”, indica que, ante un nuevo escenario de precios y márgenes de rentabilidad menores, la industria ha implementado controles de riesgo de gastos de capital y entre las acciones consideradas con este escenario desfavorable se encuentran las siguientes: el cierre de operaciones de alto costo, reestructuración de la deuda, reducción de costos en el presupuesto operativo y aplicación de políticas de subcontratación, entre otros.

Explica también que la mayoría de las compañías mineras han realizado una revisión de sus portafolios de proyectos para identificar oportunidades de mejora de flujos de efectivo; además, han reducido sus gastos de capital y han incrementado los retornos promedios del portafolio.

Además, en el libro se señala que una gestión responsable del capital protege y preserva el valor de los proyectos que aún no han sido desarrollados. El crecimiento del capital deberá ser enfocado objetivamente y con un perfil de riesgo que no afecte la calificación crediticia o el rendimiento futuro del flujo de caja libre.

Debido a este efecto, se incrementa el riesgo de retomar los altos niveles de producción metálica o el riesgo de incrementar la producción. Lo cual no es beneficioso considerando que la proyección indica que el consumo de cobre será mayor en los próximos años.

La Figura 2 muestra bajadas y ascensos del precio de cobre desde el 2012.

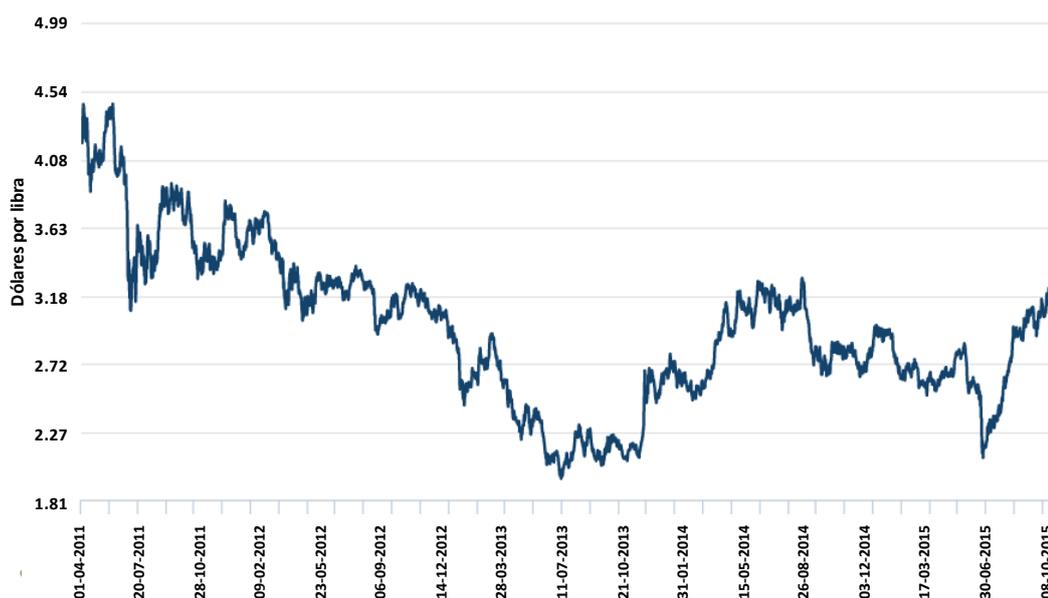


Figura 2. Precio histórico de cobre LME

Fuente: Adaptado de Precio histórico de cobre LME, elaboración propia, 2021, LME (<https://www.lme.com/Metals/Non-ferrous/Copper#tabIndex=2>).

BHP Billiton (2016), Reporte Anual. En un análisis del mercado de metales explicó que el precio del cobre mostró una tendencia a la baja durante los primeros seis meses del año fiscal 2016 período donde alcanzó el menor valor en los seis últimos años.

Durante la primera mitad del año fiscal 2016, el precio fue afectado por el bajo consumo de cobre respecto a lo esperado, la reducción de costos en la industria, la buena posición del dólar estadounidense y la poca expectativa de recuperación de la economía china.

Posteriormente, el precio aumentó de febrero a abril a medida que mejoraba la confianza de la economía China y se debilitaba el dólar estadounidense, pero finalmente cerró el año a la baja ya que el crecimiento de la oferta superó al consumo.

A corto plazo, con proyección a finales del 2017, se espera que la nueva oferta en desarrollo continúe manteniendo cubierto el crecimiento constante de la demanda. A mediano y largo plazo, es decir a una proyección de cinco años y más, la tendencia es positiva: la demanda futura de China se verá impulsada por una economía basada en el consumo, respaldada por el crecimiento continuo en otros mercados emergentes.

Se espera un déficit a medida que las leyes de los yacimientos disminuyen, aumentan los costos de producción y haya escasez de desarrollo de nuevos proyectos mineros. Esto limitará la capacidad de la industria para satisfacer la demanda.

OSINERGMIN (2016), en el libro “La Industria de la Minería en el Perú”; expresa que, según el Banco Central de Reserva del Perú (BCRP), el crecimiento del Producto Bruto Interno (PBI) observado a lo largo del 2016 se explica, principalmente, por la contribución de la minería metálica, impulsada por la producción cuprífera de Las Bambas y Cerro Verde. Además, el BCRP, en el 2016, ha identificado los proyectos de inversión privados anunciados para el periodo 2017-2018 (ver cuadro Tabla 2).

En la Tabla 2, se ve que los compromisos de inversión privada relacionados al sector minero representan el 29.3%; el porcentaje más alto de los sectores económicos listados. Esto ocurre a pesar de que se espera una leve contracción de la inversión minera para el mencionado periodo.

Tabla 2. *Compromisos de inversión privada 2017-2018 por sectores*

Sector	2017-2018 (US\$ millones)	Participación (%)
Minería	6,003	29.3
Hidrocarburos	2,898	14.2
Energía	2,001	9.8
Industria	1,640	8.0
Infraestructura	3,438	16.8
Otros sectores	4,477	21.9
TOTAL	20,457	100.0

Fuente: La tabla muestra los compromisos de inversión privada 2017-2018 por sectores, elaborado por Osinergmin, 2018. Tomado de *Reporte de Inflación de diciembre de 2016 – BCRP*.

La desaceleración del auge del ciclo de los precios de los metales impulsó a las empresas mineras a retomar la preocupación por los niveles de productividad y redefinan sus estrategias de control de costos. Ciertamente, este esfuerzo deberá estar acompañado de transformaciones tecnológicas que se orienten a alcanzar mayores niveles de productividad, enfocándose en la eliminación de prácticas ineficientes, en mantener la continuidad de la inversión en innovación y optimizar el manejo de los recursos humanos y los costos salariales.

Respecto a la ampliación de operaciones mineras, la política de las empresas mineras apunta a generar un mayor excedente económico. Ello se logra alcanzando mayores niveles de producción y controlando los costos. Dadas las concesiones mineras y los niveles de capital, las empresas están facultadas a realizar ampliaciones de las minas.

Sociedad Minera Cerro Verde (2017), en el Proyecto compra de pala 4100XPC AC, explica: que, a consecuencia del bajo precio de cobre, se implementó un proceso de austeridad que comenzó en el año 2015, por el cual se redujo sustancialmente el

desbroce en la mina, difiriendo la extracción de 72 millones de toneladas métricas durante el 2016 y por consiguiente la producción de cobre fino.

Para contrarrestar esto, propuso incrementar la tasa de producción de material minado a partir del año 2018, por los siguientes 4 años y recuperar la producción de cobre fino en 208 millones de libras en los siguientes 6 años.

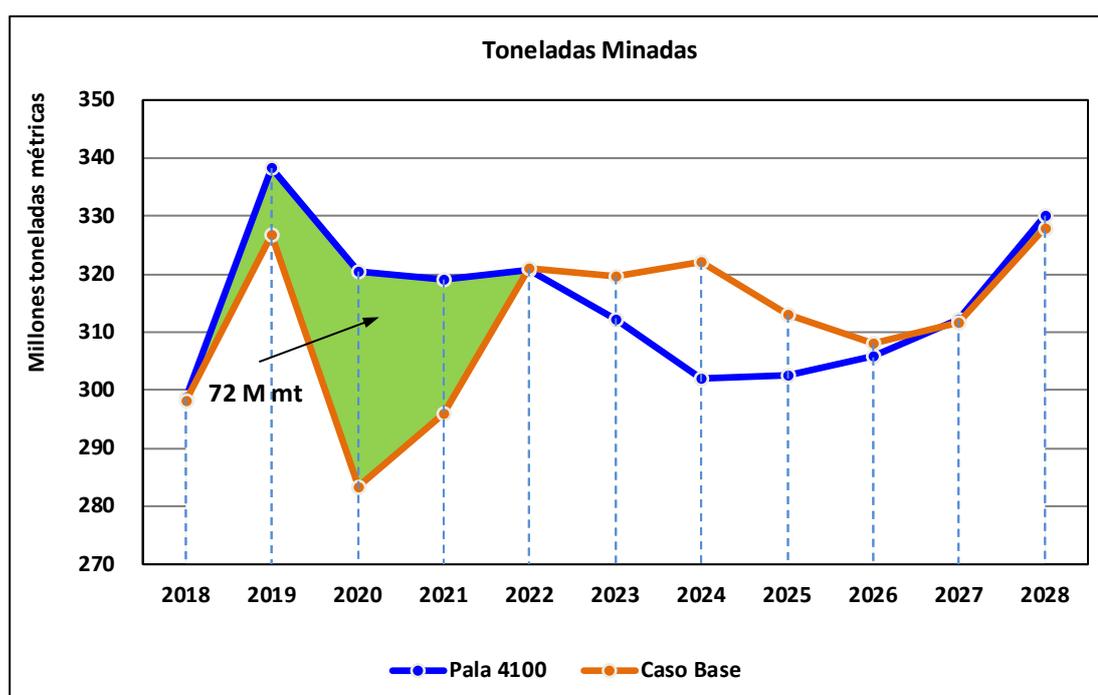


Figura 3. Tasa de material Minado

Fuente: En la figura se representa el incremento del tonelaje minado al considerar una pala nueva 4100XPC AC como parte de la flota de equipo de carguío. Tomado de *Comparación de tasa de material Minado*, por Sociedad Minera Cerro Verde, 2017, Proyecto compra de pala 4100XPC AC.

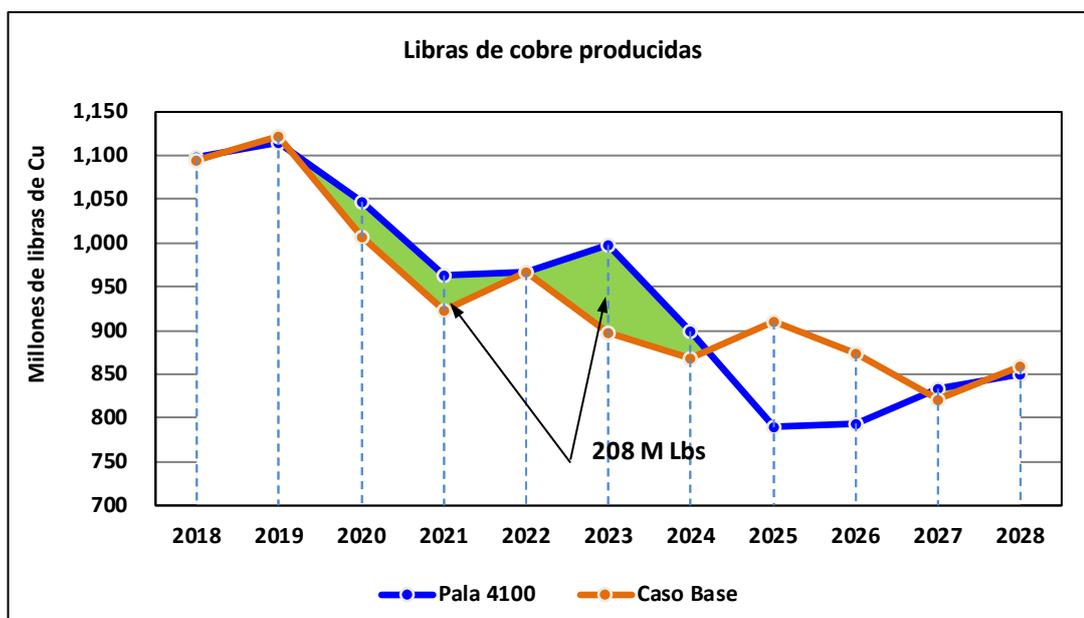


Figura 4. Incremento de producción de Cobre.

Fuente: En esta figura se muestra el incremento de producción de cobre fino en 208 millones de libras durante los siguientes 6 años luego de la incorporación de la pala 4100XPC AC. Tomado de Producción de Cobre con Pala 4100XPC AC, por Sociedad Minera Cerro Verde, 2017, Proyecto compra de pala 4100XPC AC.

Ante esta problemática de reducción de producción debido a la baja del precio de cobre y por consiguiente al aumento del riesgo de retorno o incremento de producción de las minas a niveles que permitan satisfacer el requerimiento de la demanda de cobre, se plantea la siguiente pregunta:

¿En qué medida la inadecuada capacidad de palas limita la capacidad de producción de la Mina?

1.3. Objetivos del Estudio

1.3.1. Objetivo General

Incrementar la producción de la Mina en base a la evaluación de capacidades de Palas, sustentada por el beneficio técnico y económico.

1.3.2. Objetivos Específicos

Objetivo Específico 1: Incrementar la Producción de la Mina evaluando la Productividad de la Pala 4100XPC AC.

Objetivo Específico 2: Incrementar la Producción de la Mina avaluando el beneficio del Costo unitario de la Pala 4100XPC AC.

1.4. Antecedentes Investigativos

La producción metálica de toda operación minera depende de la producción de la Mina; por tanto, en el presente trabajo de investigación se ha analizado la proyección de requerimiento de cobre y el incremento de producción en los ámbitos nacional e internacional de operaciones mineras que explotan este elemento metálico.

1.4.1. Investigaciones Internacionales

Malchuk Daniel (2017) en su publicación “Copper’s time has come”, indica que se espera que la flota mundial de vehículos eléctricos aumente de un millón, en la actualidad, a aproximadamente 140 millones para el año 2035. Los vehículos eléctricos requerirán más cobre a medida que evolucionen, hasta 105 kilogramos por automóvil. Eso hará que la demanda de cobre para las flotas de vehículos eléctricos crecerá a un estimado de 12 millones de toneladas, en más de la mitad del consumo de cobre fino del mercado mundial actual. La demanda de otros metales también

aumentará como resultado de esta tendencia, como es el caso del litio, el cobalto, el níquel, etc. Sin embargo, la materia prima de interés es el cobre, por la mayor proyección de demanda. El mercado del cobre requerirá para el 2035 de más del 50 por ciento de la producción actual de cobre fino. Una importante oportunidad que contribuirá con el crecimiento de la industria minera de cobre.

Berkhimer Eric N. (2012), en su artículo publicado, Rendimiento de la Pala: AC vs. DC, explica sobre un caso de estudio realizado en marzo del 2011 para evaluar el rendimiento de la pala eléctrica a corriente alterna 4100XPC AC versus la pala eléctrica a corriente continua 4100XPC DC. Los resultados mostraron que las palas AC tuvieron una mayor disponibilidad que las palas DC durante un periodo similar de prueba. Además, los resultados indicaron que el tiempo de ciclo de las palas AC es menor, dando como resultado una mayor productividad.

1.4.2. Investigaciones Nacionales

Mackenzie Andrew (2019) en el Reporte Anual de BHP 2019, indica que, a corto plazo, la producción minera de su compañía se incrementará por el arranque de proyectos en marcha y la mejora de la disponibilidad de sus activos para continuar satisfaciendo las necesidades de la demanda. A largo plazo, la expectativa es de crecimiento de la demanda de manera constante, impulsada por un sólido y creciente desempeño de la industria de consumo final del cobre.

Andrew también refiere que, durante el 2019, Antamina, la segunda productora de cobre más grande del Perú y de la cual BHP es propietaria del 33.75%, avanzó en estudios para destrabar cuellos de botella en la operación, con un enfoque en la evaluación de nuevas tecnologías que aseguren una operación más sostenible a largo

plazo. De cara al futuro, Antamina sigue centrada en mejorar la productividad y reducir los costos unitarios. Se espera una producción de cobre de aproximadamente 135,000 toneladas y una producción de zinc de aproximadamente 110,000 toneladas en el 2020.

Kukielski Peter (2021), en el anuncio: “Hudbay actualiza los planes mineros de las minas Constancia y Snow Lake y sus Reservas y Recursos”, señala que con la incorporación de Pampacancha y Constancia Norte, ubicadas en el departamento de Cuzco, incrementarán la producción de la Mina Constancia a un promedio de 102,000 toneladas de cobre y 58,000 onzas de oro durante los próximos ocho años, un aumento de 40% y 367%, respectivamente, respecto al nivel de producción del 2020. La producción total de cobre y oro de Constancia aumentará en un 12% y 9%, respectivamente, en comparación con el mismo período del año 2018. Mina Constancia mantendrá su perfil de bajo costo, con un costo efectivo promedio y un costo efectivo sostenido por libra de cobre de \$ 1,18 y \$ 1,71, respectivamente, durante los próximos ocho años.

Guerra Molina Jesús (2012), en su tesis titulada “Reducción de costos operativos método del reemplazo de equipo mina”, explica que los costos operativos dependen directamente del precio de las materias primas, lo cual es un reto para las empresas mineras en buscar oportunidades de reducción de costos mediante el incremento de la producción. Los precios más representativos corresponden al diesel, nitrato de amonio, emulsión, energía eléctrica y neumáticos.

CAPITULO II

MARCOS TEÓRICO Y CONCEPTUAL

En este capítulo se ha incluido temas relacionados a la investigación obtenidos de libros, informes, tesis y publicaciones.

2.1. Marco Teórico

A continuación, se hacen resúmenes de investigaciones importantes relacionadas al Trabajo de Suficiencia a desarrollar, agrupándose en temas comunes.

2.1.1. Adquisición de palas para la expansión de Cerro Verde

McMillan Kent (2014), en la traducción del documento: Adquisición de Palas para la expansión de la Unidad de Producción de Cerro Verde; explica que el proyecto considera el incremento de la producción de concentrados con una nueva planta concentradora de capacidad nominal de 240,000 tpd adicional a la ya existente de 120,000 tpd de capacidad, requirió del incremento de la producción de la mina para garantizar el abastecimiento de mineral a estas plantas. La producción de la mina se incrementó de 390,000 tpd (a una relación de desbroce de 0.4) en el 2014 a 820,000

tpd (a una relación de desbroce de 0,75) en el 2018, periodo a partir del cual se mantiene una producción sostenida en adelante.

Kent dice que para alcanzar esta producción y desbroce se realizó la evaluación de equipos de carguío P&H de Joy Global mediante un estudio en el que participaron las áreas de Abastecimiento y Mejora Continua de FCX, el cual recomendó la compra del último modelo de pala 4100XPC AC. Este equipo posee una mejora significativa porque emplea corriente alterna para su funcionamiento respecto a versiones anteriores de palas que son abastecidas por corriente continua. La recomendación se basa en la mejor productividad obtenida (200 toneladas métricas/hora) a un menor costo operativo (\$21/tonelada métrica menos) y de fácil proceso de mantenimiento del equipo (menor costo y mejora en la disponibilidad).

La Productividad de la pala 4100XPC AC respecto a la DC, ha sido mejorada principalmente por dos factores. El primero es porque los tiempos de giro y levante son significativamente más rápidos contribuyendo con un menor tiempo de ciclo, aproximadamente entre 3 a 5 segundos menos por pase. El segundo factor es que en la pala AC el operador ya no tiene que cambiar manualmente entre los modos de excavación y propulsión, esto es automático.

El mantenimiento de los motores y variadores AC requieren de menos tiempo que en el caso de las palas DC porque el proceso es más sencillo. Los motores no tienen escobillas, lo que elimina tiempo de inspecciones, cambio y reduce el mantenimiento del conmutador. En el caso de los variadores, la unidad de alimentación del inversor sustituirá a la unidad de compensación de potencia reactiva. Por lo tanto, no hay mantenimiento de reactor, condensador o disyuntor RPC. En su lugar, habrá una

unidad compacta refrigerada por aire que tiene módulos ISU fáciles de reemplazar. Tampoco habrá mantenimiento del contactor de transferencia. Todas estas diferencias benefician con una mayor disponibilidad del equipo porque los mantenimientos eléctricos son más cortos. Adicionalmente, la pala AC tiene la ventaja de alcanzar un factor de potencia más cercano a la unidad (0.991 contra 1.00), favoreciendo con un menor consumo de electricidad.

Las mejoras en el sistema de esta nueva pala hacen que los costos de mantenimiento del equipo sean más bajos.

Estas ventajas de la pala 4100XPC AC fueron constatadas por el equipo multidisciplinario en una visita a la mina Bingham Canyon ubicada en el estado de Alaska, Estados Unidos, en donde ya operaban dos palas de este modelo. La información recopilada fue de gran utilidad para la realización de la evaluación económica, la cual concluyó en que, no obstante, al costo de capital adicional de \$1.5 millones de la pala AC respecto al modelo de DC generó un TIR de 15.5% y un VPN de \$ 0.7 millones a una tasa de interés de 12% por el periodo de vida de la pala. Estos indicadores financieros y las ventajas anteriormente mencionadas soportaron la decisión de elección y compra de esta pala.

Tabla 3. Comparación de indicadores de producción de Palas P&H 4100

	Caso 4100XPC DC	Caso 4100XPC AC	Diferencia
PALAS			
Disponibilidad	89.0%	89.0%	0.0%
Utilización	86.0%	86.0%	0.0%
Productividad (tph)	4,000	4,200	200
Costo Operativo por hora	\$160.00	\$160.00	\$0.00
Costo de labor para reparación por hora	\$50.00	\$45.00	-\$5.00

Costo de reparación por hora	\$400.00	\$384.00	-\$16.00
Costo total por hora	\$610.00	\$589.00	-\$21.00
CAMIONES			
Disponibilidad	89.0%	89.0%	0.0%
Utilización	85.0%	85.0%	0.0%
Productividad (tph)	354	355	1
Costo total por hora	\$325.00	\$325.00	\$0.00

Fuente: En la tabla se muestra la diferencia de indicadores de producción de dos modelos de palas P&H 4100. Tomado de *Comparación de indicadores de producción de Palas P&H 4100*, por McMillan Kent, 2014, Adquisición de Palas para la expansión de la Unidad de Producción de Cerro Verde.

2.1.2. Palas de gran volumen en minería de Chile

Solis Cortes Ricardo Enrique (2013), en su tesis: “Estrategias de aseguramiento de disponibilidad palas de cable de mina Radomiro Tomic”; explica que, para las minas a cielo abierto, con disminución de leyes de los yacimientos, el incremento de distancia de acarreo, el minado masivo, entre otros factores, ha favorecido al gigantismo para todo tipo de equipos, particularmente de perforadoras, camiones y palas eléctricas de cable.

Para las palas de cables en Chile, el mercado de equipos y servicios está distribuido entre las marcas P&H y Caterpillar. Las capacidades máximas de ambos fabricantes son de 73 yardas cúbicas, capaces de cargar hasta 120 toneladas por pase, sobre camiones de extracción de 360 toneladas métricas, con sólo 3 pases. Estos equipos trabajan con una potencia de hasta 3,750 KW y peso de 1,536 toneladas aproximadamente. Los modelos P&H 4100 XPC AC y Caterpillar 7495 (495 HR2 Bucyrus Erie), son los modelos de mayor capacidad actualmente en la minería chilena. En forma gradual, ha aparecido la competencia, con palas hidráulicas en versiones diésel o eléctrica, con capacidades de hasta 55 yardas cúbicas. El modelo PC8000 de

Komatsu es la pala hidráulica de mayor capacidad en Chile (720 toneladas de masa total, versión diésel y eléctrica).

A mayo de 2012, en el tipo de palas de cable electromecánicas de más de 50 yardas de capacidad, el mercado chileno es dominado por la compañía fabricante P&H, con 56 unidades, seguido por su competidor Caterpillar con 42 unidades.

La Tabla 4, resume la cantidad de palas según las compañías Mineras que operan en Chile.

Tabla 4. *Compañías Mineas y Cantidad de Palas Eléctricas en Chile*

	KOMATSU P&H					CATERPILLAR			
	4100XPC AC	4100XPC DC	4100XPB	4100A	2800XPB XPA	Total	495 HR	495 B	Total
Antofagasta Minerals		3	3	2		8			0
Anglo American						0	3	3	6
Barrick Gold Corp				3		3	2		2
BHP Billiton	1	1	8		1	11	8	6	14
Codelco	3	2	5	5	4	19	7		7
Freeport McMoRan				5	5	10			0
Lumina Copper	1					1			0
Quadra						0	4		4
Xstata Copper	2				2	4	4	5	9
Total	7	6	16	15	12	56	28	14	42

Fuente: En la tabla se muestra la diferencia de indicadores de producción de dos modelos de palas P&H 4100. Tomado de *Compañías Mineas y Cantidad de Palas Eléctricas en Chile*, por Solis Cortes Ricardo Enrique, 2013, Estrategias de aseguramiento de disponibilidad palas de cable de mina Radomiro Tomic.

2.1.3. Rendimiento de palas de gran volumen

Berkhimer Eric N. (2012). “Rendimiento de la Pala: AC vs. DC”. Señala, que, el modelo de pala eléctrica P&H 4100XPC AC lanzado al mercado minero en el 2005 es capaz de lograr una alta productividad cargando camiones de acarreo de gran

dimensión, idealmente de capacidades entre 218 a 363 toneladas dependiendo de la capacidad del balde y la carga útil.

Yarmuch Juan L (2014), en la publicación: “Palas para Minería: Mayor carga a menor costo”; precisa que la industria minera seguirá avanzando en el aumento de la capacidad de carguío, que viene de la mano con un incremento en la capacidad de los equipos de transporte, sin aumentar significativamente el consumo de energía. Con esto se proyecta combinar una mayor eficiencia con la reducción del costo unitario. Esto es algo primordial para los nuevos proyectos mineros, que poseen menores leyes y mayores dificultades técnicas. Y si además se suma un aumento del precio de la energía eléctrica o del diésel, la eficiencia se transforma en una variable clave.

Zepeda Eric (2020), en la publicación: “Minera Sierra Gorda SCM alcanza récord mundial minero”; explica que la pala eléctrica P&H 4100XPC AC logró producir 230,400 toneladas métricas de material en 24 horas en el 2020, debido a la capacidad y alta productividad del equipo. Este récord no se ha registrado antes en ningún yacimiento de similares características, lo cual marca un hito en la producción de las palas eléctricas.

Zepeda señaló también que se alcanzó una alta producción, de 156 mil toneladas de cobre fino en el 2020, con personal experto en extracción segura y en el manejo y mantenimiento de equipos de gran dimensión.

2.2. Marco Conceptual

A continuación, se definen los términos que serán utilizados en el presente trabajo de suficiencia que pudieran tener otras interpretaciones.

2.2.1. Pala

Es un equipo utilizado para realizar la excavación de material y cargarlo a los camiones de acarreo.

Las palas pueden ser hidráulicas o eléctricas, estas últimas son de mayor capacidad y producción, generalmente empleadas en minas de producción a gran escala donde el mineral y desmonte es en cuerpos masivos. Las hidráulicas son empleadas cuando el minado es más selectivo y cuerpos mineralizados de menor dimensión.

2.2.2. Tajo

Es una excavación minera de magnitud significativa, realizada por equipos mineros llamados palas que cargan el material a camiones para acarrearlo a sus diferentes destinos como: chancadoras, pads o botaderos.

El tajo es diseñado a partir de un cono obtenido del resultado de correr el algoritmo matemático Lerchs-Grossman el cual recibe el ingreso de variables como características geomecánicas, leyes de mineral, recuperación, precios del metal, costos de minado, procesamiento y downstreams.

Generalmente en minería metálica el método es denominado explotación a tajo abierto y en minería no metálica es denominado a cielo abierto.

2.2.3. Planta

Instalación o Facilidad donde se procesa el mineral proveniente del Tajo por un proceso de Lixiviación si el mineral es Oxido o Flotación si el mineral es un sulfuro.

Es un componente importante en el proceso productivo de la mina, el cual requiere de un abastecimiento eficiente y de buena calidad de mineral de los tajos.

2.2.4. Capacidad

Es el volumen o tonelaje de material capaz de ser cargado por una Pala, acarreado por un Camión minero o es el volumen o tonelaje de mineral procesado por una planta de tratamiento.

La capacidad de las palas está en función a la capacidad de su balde instalado.

2.2.5. Producción

Es la cantidad de material que se extrae del tajo abierto en un periodo de tiempo para abastecer una cuota de mineral a la planta. Es también la cantidad de mineral procesado por la planta de beneficio de una operación minera en un periodo de tiempo.

La producción de mineral estimada para todo el periodo de vida de la mina define las reservas del yacimiento. La producción anual y de los cinco primeros años es utilizada para proyectar el forecast de producción de la mina.

CAPITULO III

HIPÓTESIS Y OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Se ha definido una hipótesis general que incluye las variables independiente y dependiente y dos hipótesis específicas con la finalidad de aportar con mayor precisión al estudio.

3.1. Hipótesis General

Una evaluación efectiva de capacidades de palas permitirá incrementar la producción de la Mina.

3.2. Hipótesis Específicas

Hipótesis Específica 1: La productividad de la Pala 4100XPC AC incrementa la producción de la Mina.

Hipótesis Específica 2: El Costo Unitario de producción de la Pala 4100XPC AC beneficia el incremento de producción de la Mina.

3.3. Operacionalización de variables

Variable Independiente (X) = Capacidades de Palas.

Variable Dependiente (Y) = Capacidad de Producción de la Mina.

La variable independiente Capacidad de pala, está definida por la capacidad o volumen de carga del balde de la pala y medido en toneladas métricas o unidades de volumen. De la Capacidad de pala depende la variable Productividad del equipo, la cual representa la relación entre las toneladas cargadas y las horas operativas en un periodo de tiempo. La Productividad es una variable importante para el control operacional de la producción de la mina.

La variable dependiente Capacidad de producción de mina, se mide por el tonelaje minado durante un período de tiempo, que puede ser diario, mensual o anual. El buen control de esta variable asegura que el abastecimiento de mineral a los procesos esté garantizado.

El Costo unitario de la pala es una variable que proviene de la división del costo total generado por la pala en un periodo de tiempo, que puede ser un mes, entre el tonelaje que extrajo la pala en ese mismo período. El control de esta variable tiene por objetivo que la producción de la mina sea más rentable.

CAPITULO IV

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

En este capítulo se desarrollan cuatro temas que son el Tipo y diseño de la investigación, Unidad de análisis, Estrategia de Prueba de Hipótesis y la Matiz de consistencia.

4.1. Tipo y Diseño de la Investigación

Se ha identificado el tipo de la investigación mediante el enfoque y el alcance, seguidamente se describe el diseño de la investigación.

4.1.1. Enfoque

El tipo la investigación desde el punto de vista del enfoque es cuantitativa porque cumple seis de siete características epistemológicas explicadas a continuación:

- Es de percepción objetiva porque está sustentada en el análisis de información real evaluada mediante métodos estadísticos matemáticamente demostrados.

- El razonamiento es deductivo porque contrasta la hipótesis para deducir que las palas de gran volumen de capacidad incrementan la producción.
- La finalidad es comprobar y confirmar la hipótesis y reducir el riesgo de incumplimiento del objetivo.
- Porque está orientada específicamente a determinar el incremento de la producción.
- Sigue el principio de particularizar el análisis de un tipo específico de palas existentes en la mina trabajando en condiciones similares para cumplir con el objetivo.
- Cumple con la característica de causalidad por contar con antecedentes específicos de información real de la unidad de estudio.

4.1.2. Alcance

El tipo de la investigación desde el punto de vista del alcance es correlacional porque se explica la relación directa entre la capacidad de las palas y la producción de la mina.

4.1.3. Diseño de Investigación

El diseño de la investigación es No Experimental, porque para el análisis del estudio se utiliza información histórica real de productividades de dos tipos de palas extraídos de la base de datos. El estudio no requiere de pruebas y experimentos para el análisis.

4.2. Unidades de Análisis

Los sujetos de estudio de esta investigación son las productividades de pala eléctrica 4100XPC AC de Komatsu y la pala hidráulica 6050 de Caterpillar.

La pala 4100XPC AC es el equipo de excavación de material de mayor capacidad probada en la actualidad, sin embargo, el modelo 4800XPC AC es un prototipo de una

versión mejorada pero que al 2017 no se encuentra en producción aun en ninguna mina. La pala 4100XPC AC desarrolla una alta productividad trabajando en combinación con equipos de acarreo de gran volumen de capacidad de transporte.

La fuente de energía de este equipo es la corriente eléctrica a un voltaje de 13 kilovoltios a través de una línea de cables aéreos. Cerca de su frente de trabajo, en el último poste de la línea hay un conector de donde la corriente es llevada a la pala mediante un cable por el piso. Pocas la Minas en el Perú cuentan con este tipo de Palas, la primera unidad que se incorporó en el País fue en el 2015.

La pala 6050 es un equipo de carguío cuya fuente de energía de trabajo es el diesel, es versátil para moverse, no requiere de cables eléctricos y alcanza buena productividad sobre todo en material fino. Es útil para realizar el minado en frentes angostos.

La información para el análisis fue obtenida de flotas de equipos que se encuentran en operación desde el 2015 en una mina ubicada en la región Arequipa en el Perú.

El nivel de producción diario de esta unidad minera alcanza un movimiento total de 900 mil toneladas métricas secas de material y excava 850 mil toneladas del tajo. Abastece mineral de sulfuro primario a dos concentradoras a una tasa de 400 mil toneladas y mineral de Óxido y sulfuro secundario a la chancadora de lixiviación a un promedio de 35 mil toneladas métricas, además de mineral de Óxido o secundario directo de mina (ROM) a la pila de lixiviación en un promedio de 30 mil toneladas; lo demás es material de desmonte que va a los botaderos. La producción anual de cobre fino proveniente de sus procesos de flotación y lixiviación es de 900 millones de libras al año aproximadamente.

La incorporación de la flota de Palas 4100XPC AC inició progresivamente en la mina desde el 2015 alcanzado una alta productividad.

4.2.1. Pala Komatsu 4100XPC AC

La información de capacidad y características operacionales de esta Pala están detalladas en la Tabla 5 y Tabla 6 respectivamente.

Tabla 5. Capacidad de la Pala 4100XPC AC

Carga útil nominal*	De 99.8 a 108.9 tm	120 tc
Capacidad nominal de balde		
Rasante SAE	De 52.8 a 61.2 m ³	De 69 a 82 yd ³
SAE 2.1	De 58.3 a 67.6 m ³	De 74.4 a 88.4 yd ³
Carga suspendida nominal	195 tm	215 tc
Tamaño óptimo de camión (se muestra camión de 360 tm o 400 tc)	De 218 a 363 tm	De 240 a 400 tc

**La capacidad del balde y la carga útil dependen de diversos factores.*

Comuníquese con Komatsu Mining para analizar su aplicación específica.

Fuente: Adaptado de Capacidad de pala, por P&H, 2018, 4100XPC Especificaciones generales de la pala eléctrica de minería.

Tabla 6. Características Operacionales

Altura de corte	16.8 m	55 ft 2 in
Radio de corte	23.9 m	78 ft 8 in
Altura de descarga* (puerta abierta)	9.5 m	31 ft
Radio a nivel del suelo	16.0 m	52 ft 6 in
Radio de giro de cola	9.8 m	32 ft 3 in
Nivel visual de operador	10.1 m	33 ft 1 in

**Se muestra la altura con un balde tipo aro. Las alturas son mayores para los baldes sin aro o compactos. La altura de descarga real puede ser mayor que la altura de la puerta.*

Fuente: Adaptado de Características Operacionales, por P&H, 2018, 4100XPC Especificaciones generales de la pala eléctrica de minería.

Este tipo de palas se encuentran operando en pocas minas del Perú y el análisis será con información de una unidad minera ubicada en el departamento de Arequipa – Perú. Actualmente, en esta unidad minera están operando 7 unidades de este tipo obteniendo muy buena productividad.



Figura 5. Primera Pala 4100XPC AC en el Perú

Fuente: En la figura se muestra la primera pala 4100XPC AC que llegó a la unidad minera Cerro Verde en el año 2015. Tomado de *Primera pala 4100XPC AC en el Perú*, 2015, Proyecto compra de pala 4100XPC AC.

4.2.2. Pala Caterpillar 6050

La información de capacidad y características operacionales de esta pala están detalladas en las Tablas 7 y 8 respectivamente.

Tabla 7. Capacidad de la Pala 6050

Capacidad de balde - pala frontal (heaped 2:1)	26.0 m ³	34.0 yd ³
Capacidad de balde - retroexcavadora (heaped 1:1)	28.0 m ³	36.6 yd ³
Especificaciones operativas		
Tonelaje de balde - pala frontal	47 tm	52 tc
Tonelaje de balde - retroexcavadora	50 tm	55 tc
Peso operativo - pala frontal	528 tm	582 tc
Peso operativo - retroexcavadora	537 tm	592 tc

Fuente: Adaptado de Capacidad de la pala 6050, por CAT, 2014, Pala Hidráulica 6050 FS.

Tabla 8. Parámetros operacionales de trabajo

Rango de trabajo		
Máxima altura de excavación	15.3 m	50 f 2 in
Máximo alcance de excavación	16.2 m	53 f 2 in
Máxima profundidad de excavación	2.4 m	7 f 10 in
Máxima altura de descarga	11.8 m	38 f 9 in
Distancia de fuerza sobre el nivel	5.8 m	19 f

Fuente: Adaptado de Parámetros operacionales de trabajo, por CAT, 2014, Pala Hidráulica 6050 FS.

Dos Palas de este tipo se encuentran operando en la misma unidad minera, la primera pala llegó el 2005 y la segunda se incorporó el 2015, ambos equipos han alcanzado buena productividad sobre todo trabajando en material fino y con flotas de camiones 793.

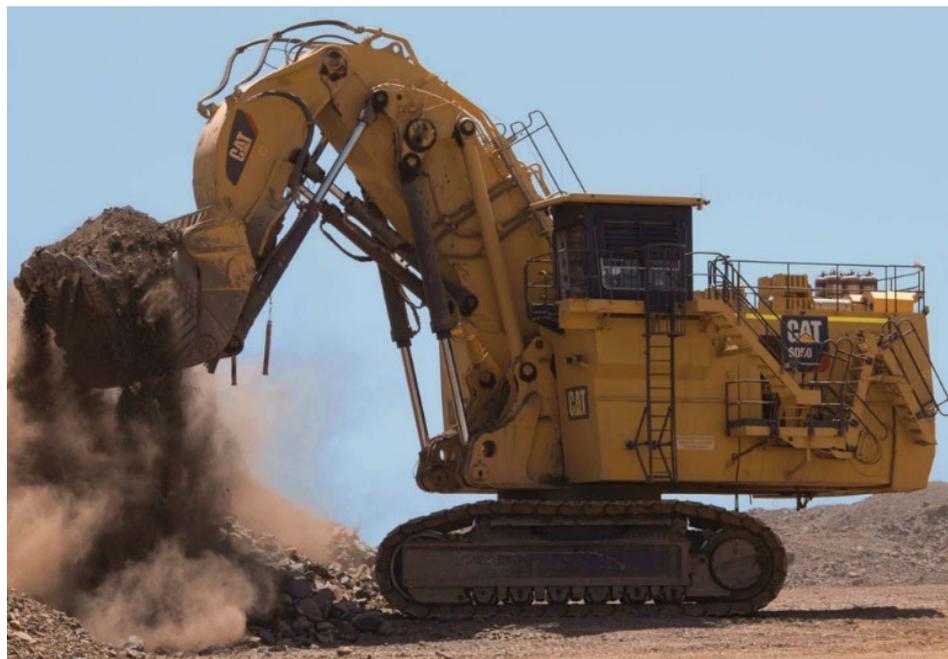


Figura 6. Pala 6050 FS de SMCV en Perú

Fuente: En la figura se muestra la pala 6050 FS de la unidad minera Cerro Verde incorporada en el año 2014. Tomado de Pala 6050 FS de SMCV en Perú, por Caterpillar, 2014, Pala Hidráulica 6050 FS.

4.3. Estrategia de Prueba de Hipótesis

La estrategia del presente estudio está enfocada en demostrar estadísticamente a través del análisis de contrastación de hipótesis alternativas mediante la Prueba T.

Es decir, demostrar que la productividad de una Pala eléctrica 4100XPC AC incrementa la producción actual de la Mina y además reemplaza a dos Palas hidráulicas del tipo 6050, de menor capacidad, que actualmente forman parte de la flota de carguío de la Mina.

Además, se demuestra que el costo unitario de producción de una Pala 4100XPC AC es menor al costo unitario de dos Palas del tipo 6050 con lo que se obtiene un mayor beneficio económico.

Al contrastar afirmativamente estas dos hipótesis alternativas se alcanza el objetivo del presente estudio y se demuestra que el reemplazo de dos Palas 6050 por una 4100XPC AC es una ventaja técnica y económica muy importante para la decisión de compra de este equipo.

4.4. Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES		INDICADORES	TIPO DE PRUEBA	TECNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS
			DEPENDIENTE	INDEPENDIENTE			
¿En qué medida la inadecuada capacidad de palas limita la capacidad de producción de la Mina?	<p>General</p> <p>Incrementar la producción de la Mina en base a la evaluación de capacidades de Palas, sustentada por el beneficio técnico y económico.</p> <p>Específicos</p> <ol style="list-style-type: none"> Incrementar la Producción de la Mina evaluando la Productividad de la Pala 4100XPC AC. Incrementar la Producción de la Mina avaluando el beneficio del Costo unitario de la Pala 4100XPC AC. 	<p>General</p> <p>Una evaluación efectiva de capacidades de palas permitirá incrementar la producción de la Mina.</p> <p>Específicas</p> <ol style="list-style-type: none"> La productividad de la Pala 4100XPC AC incrementa la producción de la Mina. El Costo Unitario de producción de la Pala 4100XPC AC beneficia el incremento de producción de la Mina. 	VD1: Capacidad de Producción de la Mina.	VII: Capacidades de Palas.	<ul style="list-style-type: none"> Productividad por tipos de Palas (tph) Costo Unitario por tipos de Palas (\$/t) 	<ul style="list-style-type: none"> Prueba T para la variable productividad. Prueba T para la variable costo unitario. 	Rutinas automatizadas para Consultas a la base de datos del sistema de despacho de la Mina

CAPÍTULO V

DESARROLLO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

El trabajo de investigación se desarrolló con información obtenida de una unidad minera cuyo nivel de producción es a gran escala ubicada en la región Arequipa – Perú. Cuenta con una robusta base de datos para análisis de información de los equipos de producción que posee dentro de sus flotas de equipos principales:

Palas:

- 02 CAT 6050
- 03 P&H 2800
- 03 P&H 4100XPC
- 07 P&H 4100XPC AC

Camiones de acarreo:

- 93 CAT 793
- 54 KOMATSU 930

5.1. Recolección de Datos

Se extrajo información correspondiente a Tonelaje producido y Horas Operativas de cada Pala de la base de datos del servidor del sistema de control de Despacho de la Mina. Para lo cual se emplearon consultas automatizadas en SQL que transfirieron la información a una planilla en Excel.

La base de datos almacena información de eventos y posición en tiempo real de todos los equipos de la mina. La información viaja a través de una red de comunicación inalámbrica de alta capacidad de transferencia de datos desde cada equipo hasta el servidor en donde se encuentra la base de datos. Todos los equipos de producción de la mina cuentan con el Sistema de Posicionamiento Global (GPS), requisito importante para realizar el control de la productividad de cada uno de ellos y por consiguiente de la producción de la Mina.

La información extraída corresponde al periodo de abril del 2017 a julio del 2018, 16 meses de información en total, información suficiente para para el análisis de medias con la Prueba T.

En el Anexo 01 se muestra un formato de consulta automatizada para extraer la información de tonelaje producido por las Palas y en el Anexo 02 el formato de consulta automatizada para extraer las horas operativas de Palas.

El Anexo 03 muestra la información de una Pala en Excel trasferida de la base de datos del Servidor de la Mina.

5.2. Procesamiento de Datos

La información de toneladas y horas operativas para el cálculo de productividad y producción de palas fue procesada en planillas de Excel.

Para obtener la productividad de las palas se divide las toneladas producidas entre las horas operativas correspondientes de un período específico, para este caso de análisis el periodo es mensual y su unidad es representada con la abreviatura tph, es decir la relación tonelaje producido entre las horas operativas del mes.

La producción se obtiene dividiendo las toneladas métricas por el número de días del mes y su unidad es representada con la abreviatura tpd. Esta última variable calculada se utiliza para hacer un análisis preliminar de los datos que se muestra más adelante.

Con la información en Excel, se construyó una tabla principal de datos organizada por campos nombrados como: Fecha, Numeración, Pala, Flota y Productividad. Los datos corresponden a un total de 02 palas Caterpillar 6050 y 05 palas P&H 4100XPC AC.

Mediante el empleo de la herramienta de construcción de tablas dinámicas de Excel se filtró la información por pala o palas y para períodos específicos, construyendo un total de 10 tablas, de acuerdo con la estructura requerida por los procesadores estadísticos de prueba de Normalidad de los softwares Excel y MINITAB.

El Anexo 04 muestra la Tabla de datos en toneladas métricas por hora de una pala en específico preparada con información del servidor y el Anexo 05 muestra un modelo de información en columna, preparada con Tablas dinámicas para el formato de MINITAB.

En el Anexo 06 se observa la estructura de información cargada al MINITAB.

5.3. Análisis de la información

Las variables de análisis del presente estudio son la productividad y los costos unitarios de las palas eléctricas 4100XPC AC de marca Komatsu y de palas hidráulicas 6050 de marca Caterpillar.

El análisis de información se realizó con herramientas estadísticas en Microsoft Excel y MINITAB. Se efectuó la prueba de normalidad de datos para análisis de varianza de medias de muestras.

5.3.1. Productividad de Palas

5.3.1.1. Selección de Data

Se analizaron las productividades de cada una de las palas en 16 periodos mensuales para la flota del tipo 4100XPC AC de 05 unidades denominadas P15, P16, P17, P18 y P20 y para la Flota 6050 de 02 unidades llamadas P09 y P14.

La Pala 17, tuvo una producción más baja respecto a las demás debido a que trabajó en condiciones muy distintas a las de su flota por estar ubicada durante este periodo en el fondo de la Mina con ancho de trabajo reducido, material más grueso y con presencia de agua. Esta condición es típica en remate de Fases de Minado en fondos de Mina. Por lo tanto, este equipo no fue considerado en el análisis de productividad de la flota 4100XPC AC.

También se excluyó del análisis de esta flota a la nueva Pala 20 por contar con solo tres meses de información, por tratarse de un equipo nuevo. Un mes de comisionado que es un dato atípico y dos siguientes que es muy poca información para el análisis.

Entonces las Palas que se seleccionaron para el análisis de productividad de la flota 4100XPC AC fueron la P16, P17 y P18.

En la Figura 7 se muestran las producciones de Palas 4100XPC AC de SMCV entre el período comprendido de abril 2017 a julio 2018.

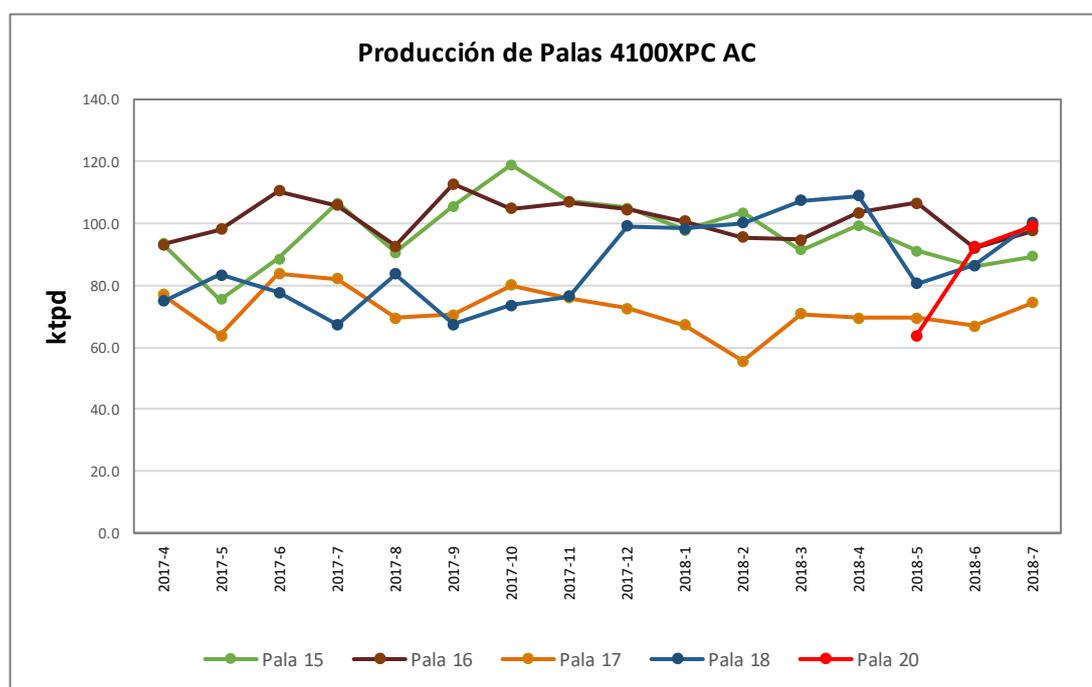


Figura 7. Producción de Palas 4100XPC AC

Fuente: Elaboración propia basada en información de SMCV, 2021.

Para el análisis de productividad de la Flota 6050 se consideraron las únicas Palas, P09 y P14, que tuvieron una producción parecida y en las mismas condiciones de trabajo. La productividad media de las Palas P09 y P14 se han multiplicado por dos, porque el análisis de este estudio es para evaluar la productividad de una Pala 4100XPC AC contra la productividad de dos Palas 6050, que es la condición actual, y demostrar que la producción de la mina será incrementada.

En la Figura 8 se muestran las producciones de Palas 4100XPC AC de SMCV entre el período comprendido de abril 2017 a julio 2018.

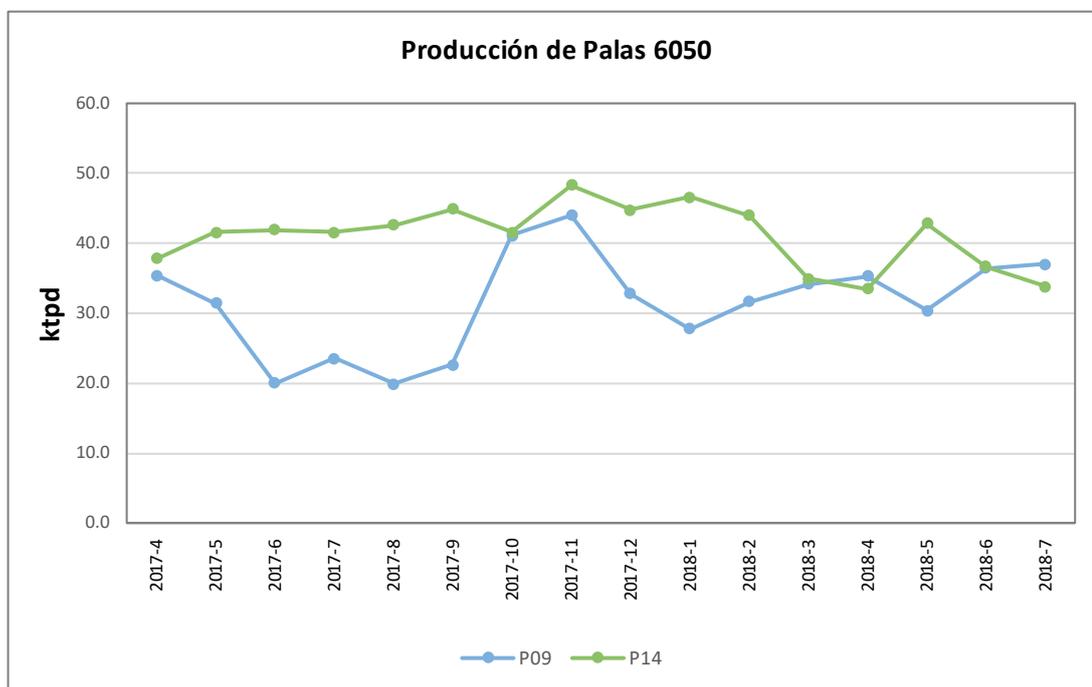


Figura 8. Producción de Palas 6050

Fuente: Elaboración propia basada en información de SMCV, 2021.

5.3.1.2. Prueba de Normalidad

Se realizó la prueba de normalidad para cumplir el requisito de la Prueba T, que se utilizó para la comparación de muestras. Para esto se empleó el método de Shapiro Wilk (SW).

- **Flota 6050**

Abreviada por P0914 por considerar las Palas 09 y 14 y por facilidad de nomenclatura en los análisis.

En la Tabla 9 se muestra que el valor de 0.15 de la probabilidad de la Prueba SW, es mayor que 0.05 lo cual indica que se trata de una distribución normal.

Tabla 9. Prueba Shapiro-Wilk P0914

Prueba Shapiro-Wilk	
W-stat	0.95
Valor de probabilidad (p-value)	0.15
Alpha	0.05
Distribución normal	Si

Fuente: Muestra los resultados de la prueba SW, elaboración propia, 2021, Palas Hidráulicas 6050 FS.

De la Tabla 10, el valor 0.2 de la Kurtosis indica que la concavidad es ligeramente pronunciada hacia arriba, el Grado de Asimetría (Skewness) de -0.26, indica una tendencia ligera de cola hacia la izquierda. Se observa también que el Coeficiente de Variación de la Tabla 11 es de 0.17, menor a 0.25, que indica que los datos de la muestra son homogéneos. Estos indicadores corroboran que la distribución es normal.

Tabla 10. Estadística descriptiva P0914

Media	4248.88	Min	2642.69
Error Estándar	128.94	Q1-Min	1138.96
Mediana	4488.29	Med-Q1	706.64
Moda	#N/A	Q3-Med	283.81
Desviación Estándar	729.37	Max-Q3	1238.06
Varianza de muestra	531981.52	Media	4248.88
Kurtosis	0.20		
Grado de Asimetría (Skewness)	-0.26	Min	2642.69
Rango	3367.47	Q1	3781.65
Máximo	6010.16	Mediana	4488.29
Mínimo	2642.69	Q3	4772.10
Suma	135964.21	Max	6010.16
Numero	32.00	Mediana	4248.88
Media Geométrica	4184.18		
Harmónica	4114.80	Gran Min	0.00

AAD	598.68	Valores atípicos	Ninguno
MAD	423.99		
IQR	990.45		

Fuente: Muestra los resultados estadísticos descriptivos, elaboración propia, 2021, Palas Hidráulicas 6050 FS.

Para visualizar gráficamente la distribución de los datos se elaboró el histograma cuyos rangos se ven en la Tabla 11.

Tabla 11. Intervalos para el Histograma P0914

		Intervalos	Marca de clase (Xi)	Frecuencia (ni)	F. Acumulada (Ni)
Min	2,642.7	2642.687			
Max	6,010.2	3204.687	2923.69	2	2
Dif	3,367.5	3766.687	3485.69	6	8
No clases (k)	6	4328.687	4047.69	7	15
Ancho clase	562	4890.687	4609.69	12	27
Media	4,248.9	5452.687	5171.69	4	31
Varianza	531,981.5	6014.687	5733.69	1	32
Desviación Estándar	729.4				
Coefficiente de Variación	0.17				

Fuente: Muestra los rangos para la construcción del histograma P0914, elaboración propia, 2021, Pala Hidráulica 6050 FS.

En la Figura 10 se muestra el resultado del Histograma en MINITAB de la muestra P0914 que corresponde a una campana de distribución Normal.

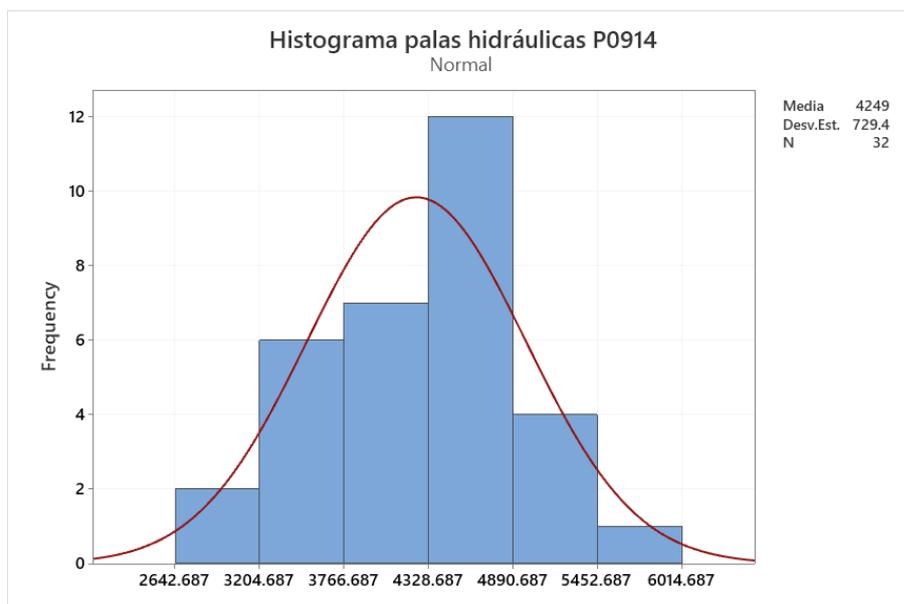


Figura 9. Histograma P0914

Fuente: Muestra el histograma de la flota de palas hidráulicas P0914, elaboración propia, 2021, Pala Hidráulica 6050 FS.

- **Flota 4100 XPC AC**

Abreviada por P151618 por considerar las palas eléctricas 15, 16 y 18 y por facilidad de nomenclatura en los análisis. La distribución de los datos es normal porque el valor de la probabilidad, 0.07 de la Prueba SW, es mayor que 0.05, estos valores son mostrados en la Tabla 12.

Tabla 12. Prueba Shapiro-Wilk P151618

Prueba Shapiro-Wilk	
W-stat	0.96
Valor de probabilidad (p-value)	0.07
Alpha	0.05
Distribución normal	Si

Fuente: Muestra los resultados de la prueba SW, elaboración propia, 2021, Palas Eléctricas 4100 XPC AC.

De los resultados mostrados en la Tabla 13, se puede decir que la concavidad es ligeramente pronunciada hacia arriba por el índice de Kurtosis de 0.08. El Grado de Asimetría (Skewness) de -0.71, que indica una tendencia ligera de cola hacia la izquierda. De la Tabla 14 se observa también que el Coeficiente de Variación de los datos es de 0.09 menor a 0.25 que indica que los datos de la muestra son homogéneos. Por lo tanto, los datos corresponden a una distribución normal.

Tabla 13. Estadística descriptiva P151618

Media	4,916.55	Min	3,674.21
Error Estándar	67.38	Q1-Min	933.59
Mediana	4,988.57	Med-Q1	380.77
Moda	#N/A	Q3-Med	242.09
Desviación Estándar	466.84	Max-Q3	464.47
Varianza de muestra	217,937.94	Media	4,916.55
Kurtosis	0.08		
Grado de Asimetría (Skewness)	-0.71	Min	3,674.21
Rango	2,020.92	Q1	4,607.80
Máximo	5,695.13	Mediana	4,988.57
Mínimo	3,674.21	Q3	5,230.66
Suma	235,994.25	Max	5,695.13
Numero	48.00	Mediana	4,916.55
Media Geométrica	4,893.64		
Harmónica	4,869.45	Gran Min	-
AAD	372.88		
MAD	270.95	Valores atípicos	Ninguno
IQR	622.86		

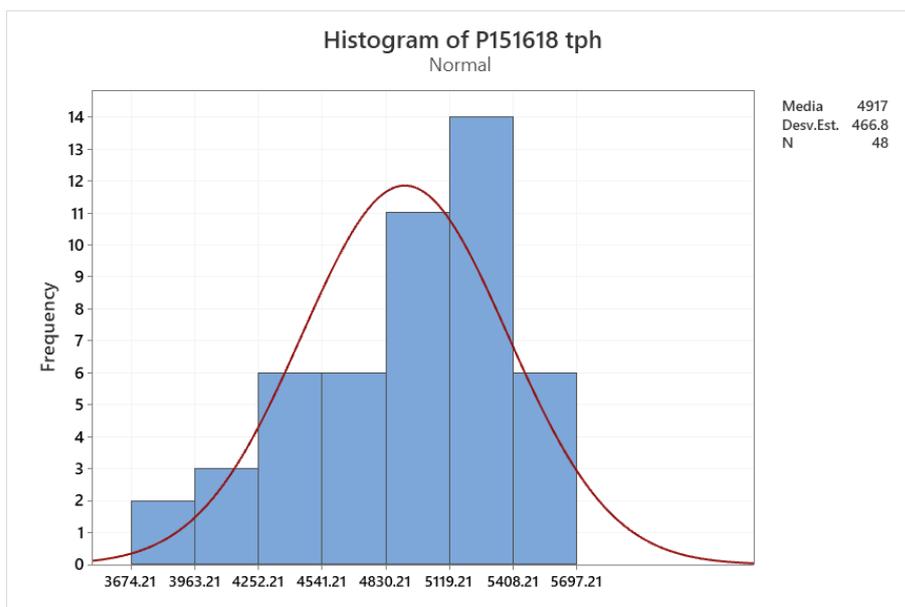
Fuente: Muestra los resultados estadísticos descriptivos, elaboración propia, 2021, Palas Eléctricas 4100 XPC AC.

Tabla 14. Intervalos para el Histograma P151618

		Intervalos	Marca de clase (Xi)	Frecuencia (ni)	F. Acumulada (Ni)
Min	3,674.2	3674.21			
Max	5,695.1	3963.21	3818.71	2	2
Dif	2,020.9	4252.21	4107.71	3	5
No clases (k)	7	4541.21	4396.71	6	11
Ancho clase	289	4830.21	4685.71	6	17
Media	4,916.5	5119.21	4974.71	11	28
Varianza	217,937.9	5408.21	5263.71	14	42
Desviación Estándar	466.8	5697.21	5552.71	6	48
Coefficiente de Variación	0.09				

Fuente: Muestra los rangos para la construcción del histograma P151618, elaboración propia, 2021, Palas Eléctricas 4100 XPC AC.

En la Figura 10 se muestra el resultado del Histograma en MINITAB de la muestra P151618, el cual corresponde a una campana de distribución Normal.

**Figura 10. Histograma P151618**

Fuente: Muestra el histograma de la flota de palas eléctricas P151618, elaboración propia, 2021, Palas Eléctricas 4100 XPC AC.

5.3.2. Costo de Producción de Palas

Es el costo que puede ser variable o fijo que sostiene el proceso productivo de carguío con palas.

5.3.2.1. Selección de Data

Se analizó la variable costo unitario de producción de 16 periodos mensuales de las flotas de palas del tipo Komatsu 4100 y Caterpillar 6050.

Se estimó el costo unitario de las Palas Caterpillar 6050 a un equivalente de dos palas para poder compararlo con el costo unitario de una Komatsu 4100.

Por nomenclatura la pala Komatsu 4100 es denominada como P&H4100 y la equivalente a dos Caterpillar 6050 como CAT6050.

En la Figura 11 se muestran los costos unitarios de Palas P&H4100 y CAT6050 de la Mina Cerro Verde entre el período comprendido de abril 2017 a Julio 2018 observando una menor tendencia en el caso de la flota P&H4100 respecto a las CAT6050.

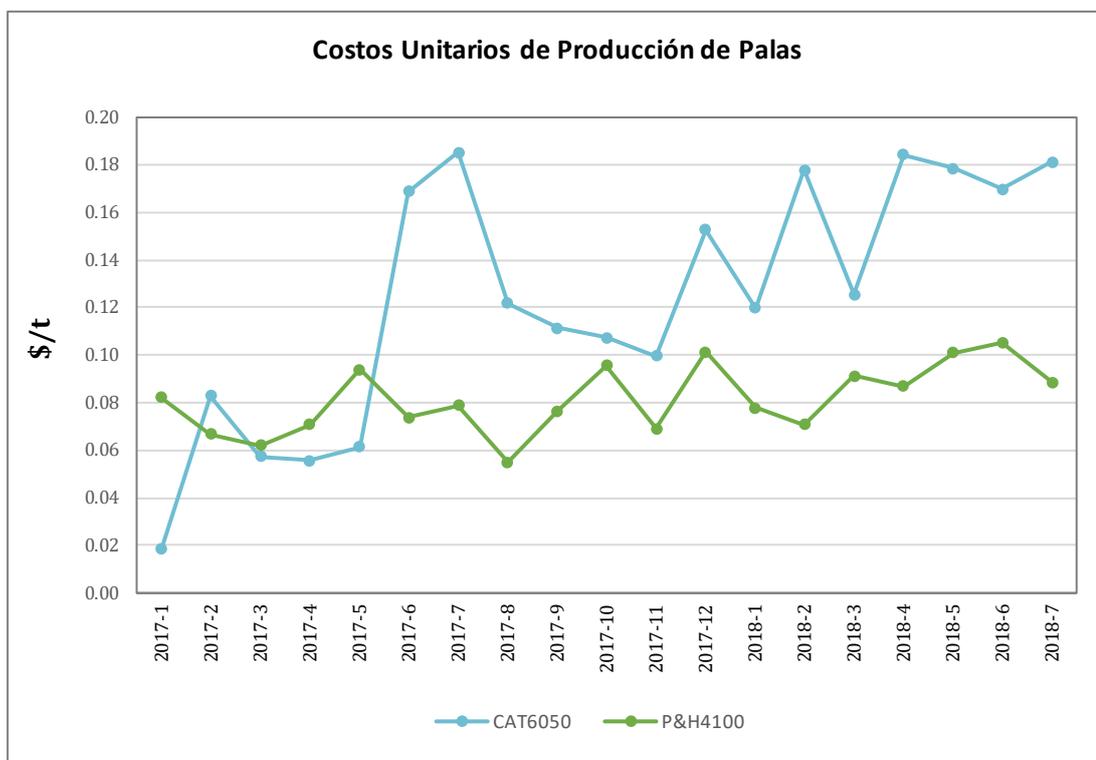


Figura 11. Costos unitarios de Producción

Fuente: Elaboración propia basada en información de SMCV, 2021.

5.3.2.2. Prueba de Normalidad

Para hacer la prueba de normalidad de los datos se empleó el método de Shapiro Wilk (SW).

- **Flota CAT6050**

La distribución de los datos de la flota de Palas CAT6050 es normal porque el valor de la probabilidad, 0.06 de la Prueba SW, es mayor que 0.05 mostrado en la Tabla 15.

La concavidad un tanto plana hacia arriba según el parámetro de Kurtosis, - 0.79. El Grado de Asimetría (Skewness) de -0.57, que indica una tendencia ligera de cola hacia la izquierda, pero correspondiente a una gráfica de distribución normal, tal como se muestra en la Tabla 16.

Se observa también en la Tabla 17 que el Coeficiente de Variación de los datos es de 0.315, mayor a 0.25, que indica que los datos de la muestra son heterogéneos.

Tabla 15. Resultados Prueba Shapiro Wilk CAT6050

Prueba Shapiro-Wilk	
W-stat	0.89
Valor de probabilidad (p-value)	0.06
Alpha	0.05
Distribución normal	Si

Fuente: Muestra los resultados de la prueba Shapiro Wilk, elaboración propia, 2021, Palas Hidráulicas 6050 FS.

Tabla 16. Estadística descriptiva CAT6050

Media	0.14	Min	0.06
Error Estándar	0.01	Q1-Min	0.05
Mediana	0.14	Med-Q1	0.03
Moda	#N/A	Q3-Med	0.04
Desviación Estándar	0.04	Max-Q3	0.01
Varianza de muestra	0.00	Media	0.14
Kurtosis	-0.79		
Grado de Asimetría (Skewness)	-0.57	Min	0.06
Rango	0.13	Q1	0.11
Máximo	0.19	Mediana	0.14
Mínimo	0.06	Q3	0.18
Suma	2.20	Max	0.19
Numero	16.00	Mediana	0.14
Media Geométrica	0.13		
Harmónica	0.12	Gran Min	-
AAD	0.04		

MAD	0.04	Valores atípicos	Ninguno
IQR	0.07		0.06

Fuente: Muestra los resultados estadísticos descriptivos, elaboración propia, 2021, Flota CAT6050.

Tabla 17. Intervalos para el Histograma CAT6050

CAT6050		Intervalos	Marca de clase (Xi)	Frecuencia (ni)	F. Acumulada (Ni)
Min	0.056	0.056			
Max	0.185	0.082	0.069	2.000	2.000
Dif	0.130	0.108	0.095	2.000	4.000
No clases (k)	5.000	0.134	0.121	4.000	8.000
Ancho clase	0.026	0.160	0.147	1.000	9.000
Media	0.138	0.186	0.173	7.000	16.000
Varianza	0.002				
Desviación Estándar	0.043				
Coefficiente de Variación	0.315				

Fuente: Muestra los rangos para la construcción del histograma de la flota CAT6050, elaboración propia, 2021, Palas Hidráulicas Caterpillar 6050.

En la Figura 12 se muestra el resultado del Histograma en MINITAB de la flota CAT6050 que corresponde a una campana de distribución Normal.

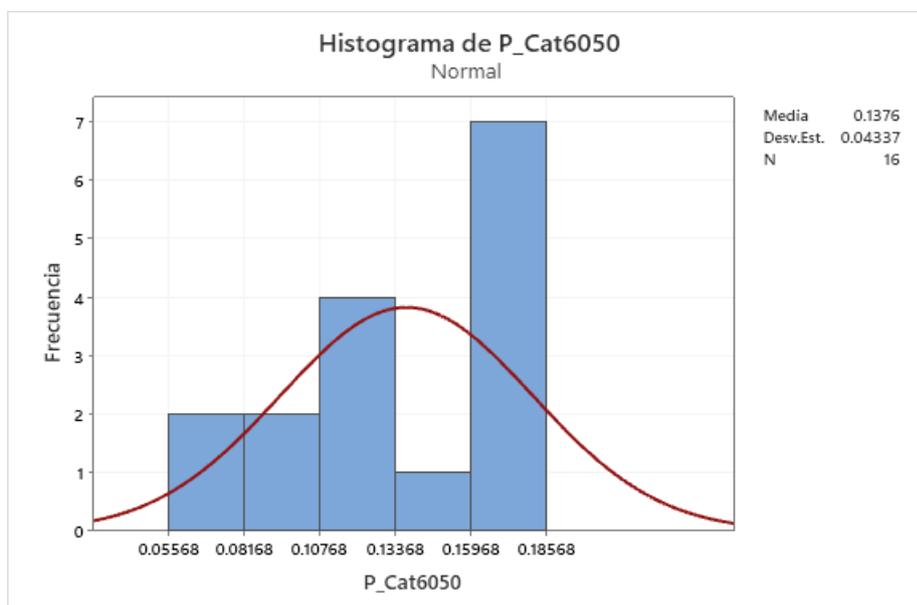


Figura 12. Histograma CAT6050

Fuente: Muestra el histograma de la flota de palas eléctricas CAT6050, elaboración propia, 2021, Palas hidráulicas Caterpillar 6050.

- **Flota P&H4100**

La distribución de los datos es normal porque el valor de la probabilidad, 0.68 de la Prueba SW, es mayor que 0.05 como se muestra en la Tabla 18.

La concavidad es hacia arriba, ligeramente plana según el parámetro de Kurtosis, -0.65. El Grado de Asimetría (Skewness) de -0.19, que indica una tendencia ligera de cola hacia la izquierda, pero correspondiente a una gráfica de distribución normal, tal como se muestran en la Tabla 19.

Se observa también en la Tabla 20 que el Coeficiente de Variación de los datos es de 0.17, menor a 0.25, que indica que los datos de la muestra son homogéneos.

Tabla 18. Resultados Prueba Shapiro Wilk P&H4100

Prueba Shapiro-Wilk	
W-stat	0.96
Valor de probabilidad (p-value)	0.68
Alpha	0.05
Distribución normal	Si

Fuente: Muestra los resultados de la prueba Shapiro Wilk, elaboración propia, 2021, Palas Eléctricas P&H4100 XPC AC.

Tabla 19. Estadística descriptiva Wilk P&H4100

Media	0.08	Min	0.06
Error Estándar	0.00	Q1-Min	0.02
Mediana	0.08	Med-Q1	0.01
Moda	#N/A	Q3-Med	0.01
Desviación Estándar	0.01	Max-Q3	0.01

Varianza de muestra	0.00	Media	0.08
Kurtosis	-0.65		
Grado de Asimetría (Skewness)	-0.19	Min	0.06
Rango	0.05	Q1	0.07
Máximo	0.11	Mediana	0.08
Mínimo	0.06	Q3	0.09
Suma	1.34	Max	0.11
Numero	16.00	Mediana	0.08
Media Geométrica	0.08		
Harmónica	0.08	Gran Min	-
AAD	0.01		
MAD	0.01	Valores atípicos	Ninguno
IQR	0.02		0.06

Fuente: Muestra los resultados estadísticos descriptivos, elaboración propia, 2021, Flota P&H4100 XPC AC.

En la Figura 13 se muestra el resultado del Histograma en MINITAB de la muestra P&H4100 que corresponde a una campana de distribución Normal.

Tabla 20. Histograma P&H4100

	P&H4100 XPC AC	Intervalos	Marca de clase (Xi)	Frecuencia (ni)	F. Acumulada (Ni)
Min	0.055	0.055			
Max	0.105	0.066	0.061	1.000	1
Dif	0.050	0.077	0.072	5.000	6
No clases (k)	5.000	0.088	0.083	3.000	9
Ancho clase	0.011	0.099	0.094	4.000	13
Media	0.084	0.110	0.105	3.000	16
Varianza	0.000				
Desviación Estándar	0.014				
Coefficiente de Variación	0.169				

Fuente: Muestra los rangos para la construcción del histograma de la flota P&H4100, elaboración propia, 2021, Palas Eléctricas P&H 4100 XPC AC.

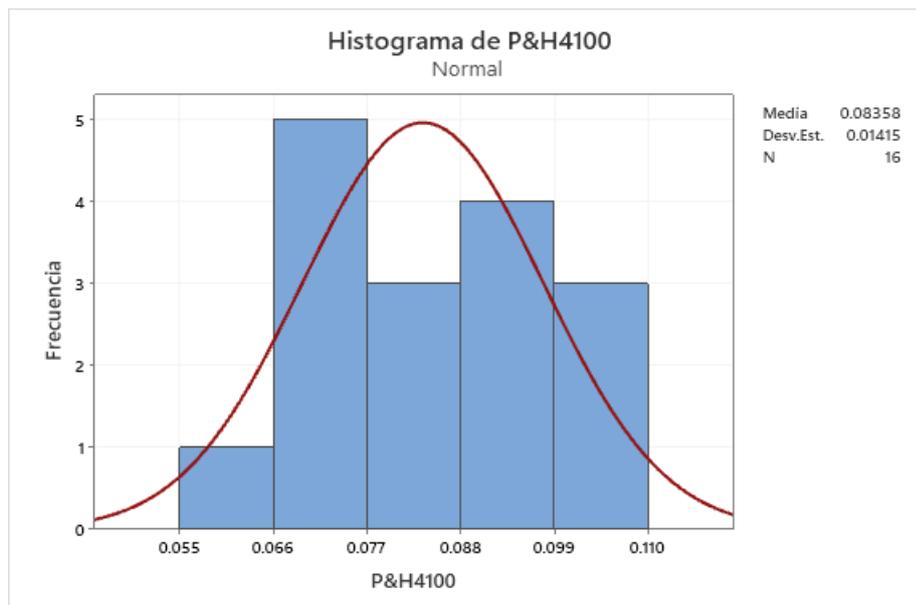


Figura 13. Histograma P&H4100

Fuente: Muestra el histograma de la flota de palas eléctricas P&H4100, elaboración propia, 2021, Palas Eléctricas P&H 4100 XPC AC.

CAPITULO VI

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se hará la validación de la información que se utilizó en el capítulo anterior mediante la selección de pequeñas muestras tomadas en un periodo menor. Se realizará el análisis de la información mediante la contrastación de hipótesis, la discusión de resultados y una explicación de las limitaciones del estudio de investigación.

6.1. Validación de información

La validación Interna y Externa demuestra el nivel de confianza de la información utilizada para el análisis del presente estudio.

6.1.1. Validez Interna

Pre-testeo

Se realizó el análisis de Normalidad considerando una muestra de datos bimestral de la variable productividad por día de las palas eléctricas P15, P16 y P18 del tipo

4100XPC AC, correspondiente al segundo bimestre del 2017 por tratarse de un periodo representativo.

Los resultados de la prueba de Shapiro Wilk mostrados en la Tabla 21, muestran un valor de probabilidad de 0.99, mayor a 0.05, por lo que se concluye que la distribución es normal.

La Figura 14 muestra una perfecta distribución Normal de datos de productividad de las palas representativas.

Tabla 21. Shapiro Wilk P151618 Bimestrial

Prueba Shapiro-Wilk	
W-stat	0.99
Valor de probabilidad (p-value)	0.17
Alpha	0.05
Distribución normal	Si

Fuente: Muestra los resultados de la prueba Shapiro Wilk, elaboración propia, 2021, Palas Eléctricas P5, P16 y P18 4100 XPC AC.

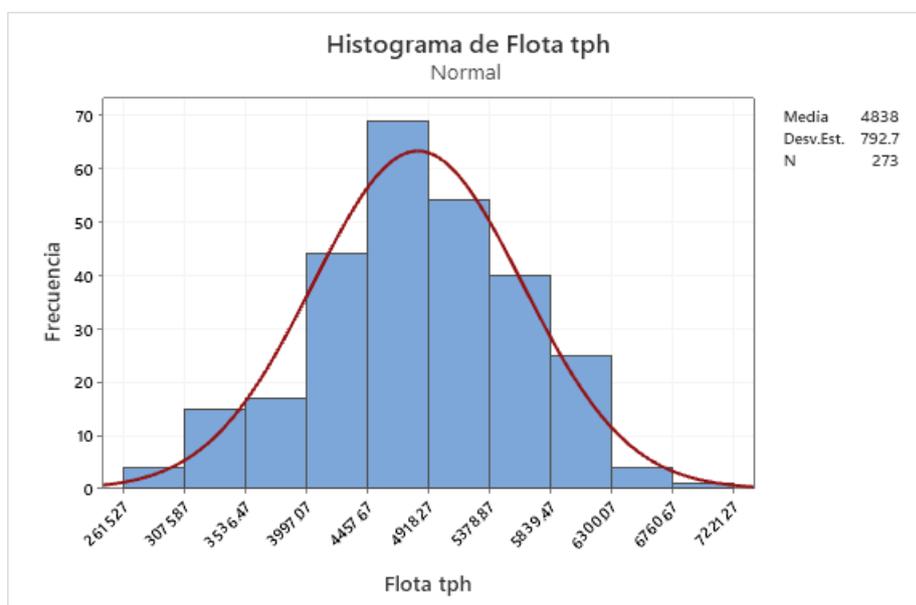


Figura 14. Histograma P151618

Fuente: Muestra el histograma de la flota de palas eléctricas P151618, elaboración propia, 2021, Palas Eléctricas P&H 4100 XPC AC.

De la misma manera se realizó el análisis de Normalidad de productividad considerando una muestra de datos de las palas P09 y P14 del tipo Cat 6050. Cada productividad fue multiplicada por 2 para hacer el equivalente a una sola Pala de este tipo y esta muestra se denominó como P0914. Los datos corresponden al segundo bimestre del 2017.

Los resultados de la prueba de Shapiro Wilk mostrados en la Tabla 22, muestran un valor de probabilidad de 0.76, mayor a 0.05, por lo que se concluye que la distribución es normal.

La Figura 15 muestra una perfecta distribución Normal de datos de productividad de las palas representativas.

Tabla 22. Shapiro Wilk P0914 Bimestrial

Prueba Shapiro-Wilk	
W-stat	0.99
Valor de probabilidad (p-value)	0.76
Alpha	0.05
Distribución normal	Si

Fuente: Muestra los resultados de la prueba Shapiro Wilk, elaboración propia, 2021, Palas Hidráulicas P09 y P14 Cat 6050.

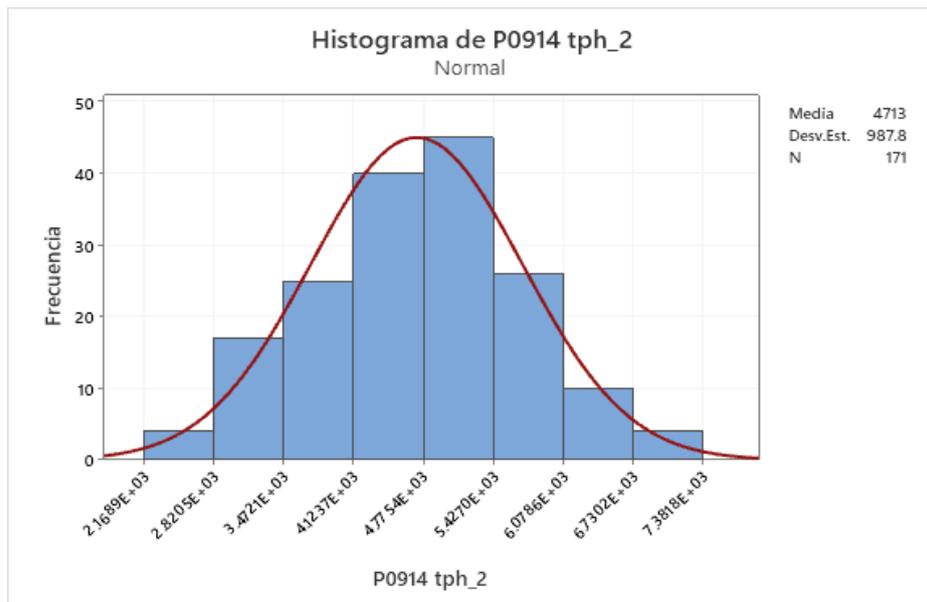


Figura 15. Histograma P0914 Bimestral

Fuente: Muestra el histograma de la flota de palas eléctricas P151618, elaboración propia, 2021, Palas Hidráulicas Cat 6050.

Prueba final

La nueva Pala 4100XPC AC (P21) incorporada a la flota de carguío en agosto del 2018, desarrolló en un periodo de 29 meses una productividad de 4,687 tph, 10% mayor que la productividad promedio de las dos Palas 6050 (4,249 tph) desarrollada en un periodo de 16 meses, desde agosto del 2018 (Ver Figura 16).

De la Figura 16 también se observa que esta nueva pala (P21) tuvo una productividad ligeramente menor a la productividad de la muestra analizada de la flota 4100XPC AC antes de su incorporación (4,917 tph), esto se debió a su ubicación en un frente de material más duro.

De este análisis comparativo de información real se afirma que la elección de esta pala fue un caso de éxito de selección y reemplazo de equipo.

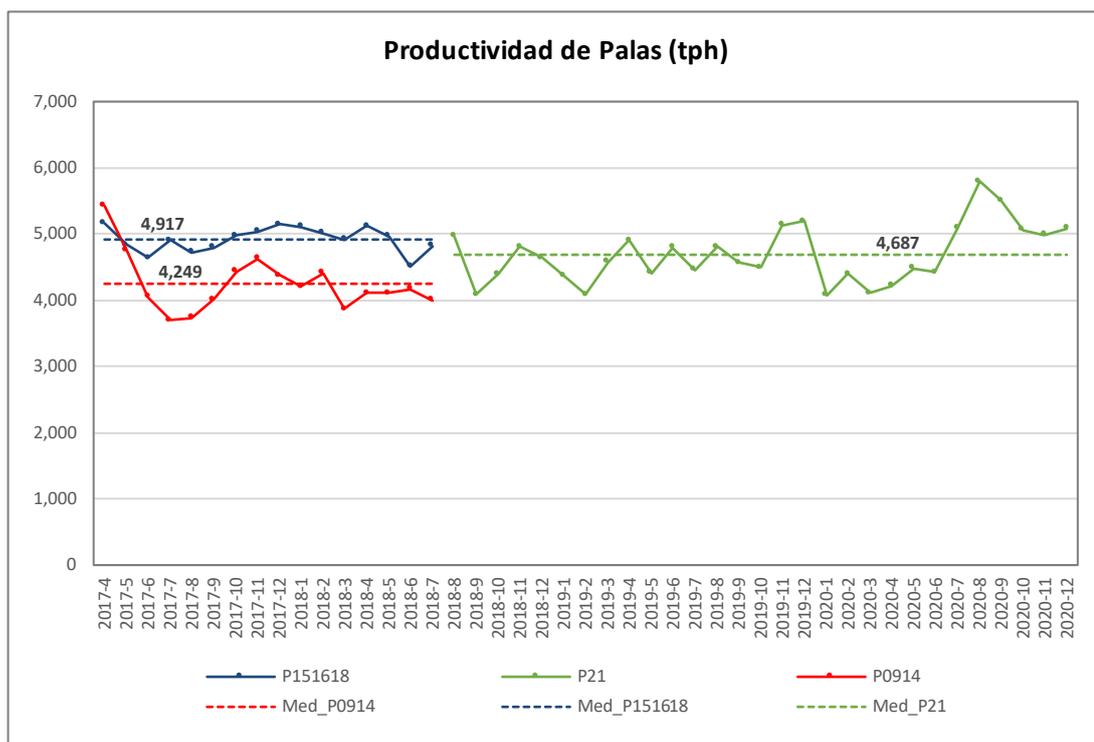


Figura 16. Resumen de productividades de palas

Fuente: Elaboración propia basada en información de SMCV, 2021.

6.1.2. Validez Externa

La productividad media de la flota de palas 4100XPC AC en la mina Cerro Verde de abril 2017 a agosto del 2018 fue de 4,687 tph, un valor alto, representativo y referencial para otras minas con similares características de un yacimiento de pórfido de cobre masivo, con un P80 entre 6 a 9 pulgadas y dureza de media a dura entre 150 a 240 MPa.

Un factor que contribuye a este rendimiento es el diseño de las fases de minado con anchos operativos entre 120 m a 140 m y con una altura de banco de 15 m, aparente para la operación de carguío de este tipo de pala.

La mina Morenci, ubicada en Arizona, tiene una pala del mismo tipo y en el primer semestre del año 2021 obtuvo una productividad de 3,615 tph, menor a la obtenida en Cerro Verde pero explicada por las diferentes condiciones de su frente de trabajo; anchos operativos más angostos y abasteciendo solo de mineral a una cuota restringida.

La mina Antamina, ubicada en el Perú, cuyo yacimiento es un scarn y con un mayor período de lluvia anual (06 meses de lluvia al año), obtuvo una productividad promedio de 4,653 tph con el tipo de Pala 4100XPC AC en los tres últimos dos años; rendimiento relativamente alto.

El récord de productividad con este tipo de Pala fue obtenido en la Mina Sierra Gorda en Chile con un valor de 7,912 tph con características de material fino con P80 menor a 6 pulgadas y en una fase amplia, en desbroce.

La Tabla 23 muestra productividades representativas de la 4100XPC AC en algunas Minas.

Tabla 23. Productividad palas P&H4100 algunas Minas

Mina	Productividad (t/h)
Cerro Verde	4,917
Morenci	3,615
Antamina	4,653
Sierra Gorda	7,912

Fuente: Muestra productividades de palas 4100XPC AC en minas principales, elaboración propia basada en información de FCX, Antamina y Sierra Gorda, 2021, Productividad de palas en el mundo.

Esta referencia mostrada soporta al objetivo de esta investigación y por tanto a que la selección de este equipo es viable y extrapolable a otras minas de tajo abierto con características similares a las descritas.

6.2. Contrastación de Hipótesis

Se hará la contrastación de la hipótesis de las variables Productividad y Costo unitario de producción de palas mediante el empleo de la Prueba T.

6.2.1. Prueba T

La Prueba T se utiliza para comparar las medias de muestras en los siguientes casos:

- Promedio de una muestra contra el promedio de una población; llamado Prueba T para una muestra.
- Promedio de una muestra contra el promedio de otra muestra; llamado Prueba T para dos muestras independientes.
- Promedio de una muestra en un momento contra otro promedio en otro momento; llamado Prueba T para dos muestras correlacionadas o T pareada.

En el presente estudio la comparación de medias corresponde al caso 2.

Los requisitos para la realización de la Prueba T son:

- Que los datos de la muestra sigan una distribución normal.
- Se conozcan los parámetros estadísticos siguientes: media de la muestra, media de la población, desviación estándar y el tamaño de la muestra.

La Prueba T contrasta la Hipótesis Nula (H_0) mediante la comparación del valor de probabilidad (p-value) de las muestras contra su valor de probabilidad de la Distribución T (α). Esto puede ser para casos de una o dos colas.

En nuestro análisis se considera la Prueba T de una cola a la izquierda porque se trata de comprobar si una media es mayor que la otra.

Entonces en la presente investigación la contrastación de la Hipótesis Nula es de la siguiente manera:

- H0 es rechazada si p-value de la muestra es menor a α (< 0.05 , que es el rango de rechazo).
- Entonces La Hipótesis Alternativa (H1) es la aceptada.

6.2.2. Productividad

El planteamiento de las Hipótesis Nula (H0) y Alternativa (H1) es el siguiente:

- H0: La productividad media de la muestra P151618 es igual a la productividad media de la muestra P0914.

Esta afirmación quiere decir que la Productividad media de una Pala 4100XPC AC es igual a la Productividad media equivalente a dos Palas 6050.

- H1: La diferencia de productividades medias será mayor que cero para la Prueba T de una cola a una probabilidad de 95%.

$$\text{Productividad media P151618} - \text{Productividad media P0914} > 0$$

O expresado también como:

$$\text{Productividad media P151618} > \text{Productividad media P0914}$$

Esto quiere decir que, si la productividad media de una pala 4100XPC AC es mayor a la productividad media del equivalente a dos palas 6050, entonces la producción de la mina incrementará con el reemplazo de dos palas 6050 por una 4100XPC AC.

En la Tabla 25 se encuentran los resultados de la Prueba T para las muestras P151618 y P0914 que fueron procesados mediante el uso del software XRealStats.

Tabla 24. Prueba T dos muestras productividad de P151618 y P0914

Grupos de muestras	Cantidad de muestras	Media	Varianza
P151618	48	4,916.5	217,937.9
P0914	32	4,248.9	531,981.5
Agrupados			342,750.1

Fuente: Muestra las productividades medias de palas por grupos, elaboración propia basada en información de SMCV, 2021, Productividad de palas 4100XPC AC y 6050.

Tabla 25. Resultados Prueba T productividad de P151618 y P0914

Error Estándar	t estándar	Diferencia varianza grupal	p-valor	t-critico	Efecto r
145.5	4.6	47.9	0.00	1.68	0.6

Fuente: Muestra los resultados de la Prueba T con muestras de varianzas distintas, elaboración propia basada en información de SMCV, 2021, Productividad de palas 4100XPC AC y 6050.

En esta Tabla 25, se observa que el p-value es casi 0 (1.67 elevado a la -5), mucho menor que el $\alpha = 0.05$, por lo tanto:

- H0 se rechaza. Esto quiere decir que a una probabilidad de 95%, la productividad media de la muestra P151618, no es igual a la productividad media de la Muestra P0914.
- H1 se acepta. A una Probabilidad de 95% la productividad media de la muestra P151618 es mayor que la productividad media de la muestra P0914.

Por lo tanto, al reemplazar dos Palas 6050 por una pala 4100XPC AC se incrementará la producción de la mina.

En la Tabla 26, que muestra los resultados del programa MINITAB, se observa que la diferencia límite entre las productividades medias de las muestras P151618 y P0914 es de 424 tph, es decir donde el p-value alcanza el valor 0.05. Un margen de 10% que nos asegura que se la pala 4100XPC AC es más productiva a una probabilidad de ocurrencia de 95%.

$$\text{Probabilidad media P151618} - \text{Probabilidad media P0914} > 424 \text{ tph}$$

Tabla 26. Prueba T de muestras P151618 y P0914 – MINITAB

Método

μ_1 : media de población de P151618 tph

μ_2 : media de población de P0914 tph

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

Muestra	Media	Desv. Est.	Error estándar de la media
P151618 tph	4917	467	67
P0914 tph	4249	729	129

Estimación de la diferencia

Diferencia	Límite inferior de 95% para la diferencia
668	424

Prueba

Hipótesis nula	$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$
Hipótesis alterna	$H_1: \mu_1 - \mu_2 > 0$

Valor T	GL	Valor p
4.59	47	0.000

Fuente: Muestra los resultados de la Prueba T con MINITAB, elaboración propia basada en información de SMCV, 2021, Productividad de palas 4100XPC AC y 6050.

En las Figuras 17 y 18 se observa la diferencia de productividades medias de las muestras entre ambos tipos de Palas obtenidas en el programa MINITAB. La media de la muestra P151618 es 4,917 tph y la media de la muestra P0914 es 4,249 tph, un amplio margen de diferencia que fue demostrado con la Prueba T.

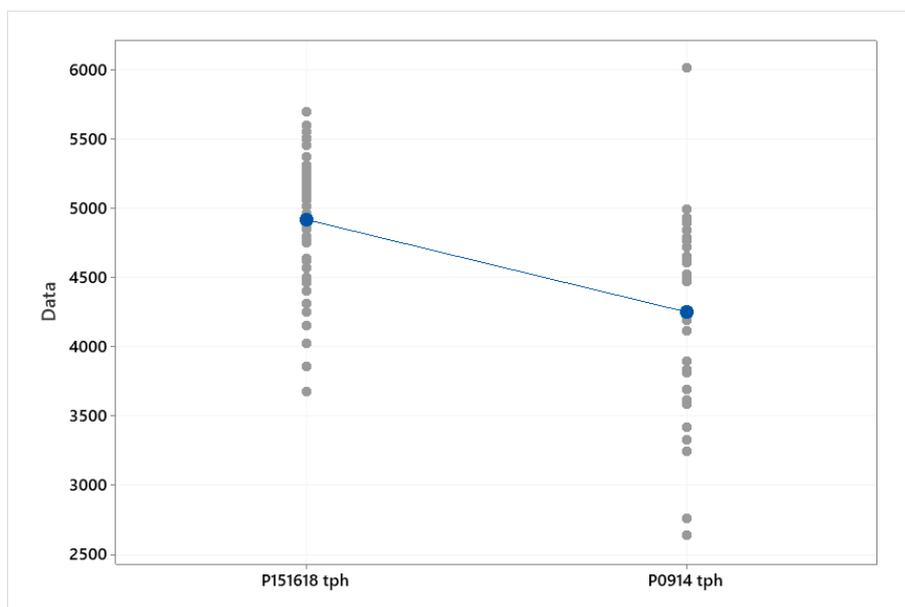


Figura 17. Valores individuales de productividad (tph) P151618 y P0914

Fuente: Muestra los resultados de la Prueba T con MINITAB, elaboración propia basada en información de SMCV, 2021, Productividad de palas 4100XPC AC y 6050.

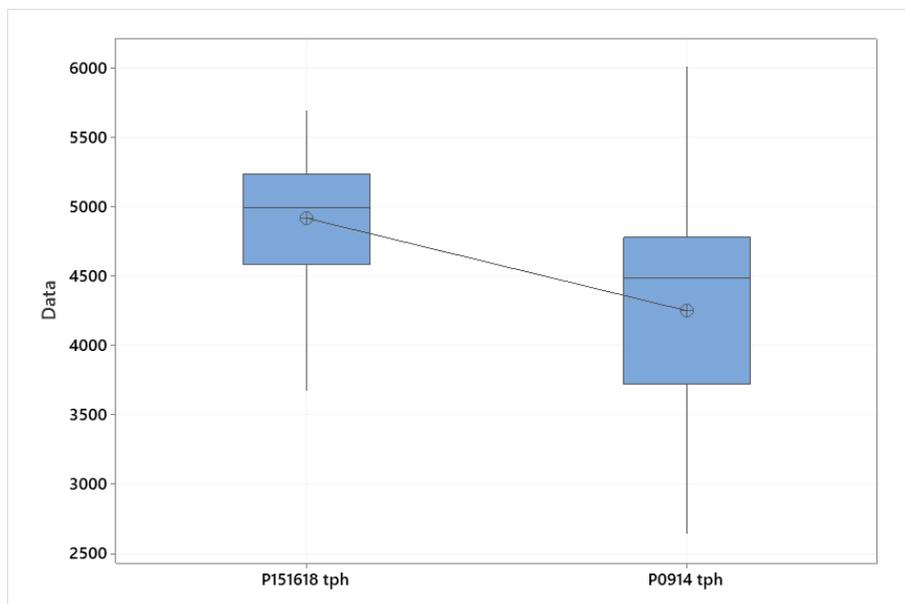


Figura 18. Gráfico de caja productividad (tph) P151618 y P0914

Fuente: Muestra los resultados de la Prueba T con MINITAB, elaboración propia basada en información de SMCV, 2021, Productividad de palas 4100XPC AC y 6050.

6.2.3. Costo Unitario

El planteamiento de las Hipótesis Nula (H0) y Alternativa (H1) es el siguiente:

- H0: El Costo Unitario medio de la Muestra CAT6050 es igual al El Costo Unitario medio de la Muestra P&H4100.

Esta afirmación quiere decir que el Costo Unitario medio de una Pala 4100XPC AC es igual al Costo Unitario medio de dos Palas 6050.

- H1: La Diferencia del Costo Unitario medio será mayor que cero para la Prueba T de una cola a una probabilidad de 95%.

$$\text{Costo Unitario medio CAT6050} - \text{Costo Unitario medio P\&H4100} > 0$$

O expresado también como:

$$\text{Costo Unitario medio CAT6050} > \text{Costo Unitario medio P\&H4100}$$

Esto quiere decir que, si el Costo Unitario medio de una Pala 4100XPC AC es menor que el Costo Unitario medio de dos Palas 6050, entonces el proyecto es económicamente beneficioso.

En la Tabla 27 se encuentran los resultados de la Prueba T para las muestras P&H4100 y CAT6050 que fueron obtenido mediante el uso del software XRealStats.

Tabla 27. Prueba T dos muestras, costo unitario (\$/t) de P&H4100 y CAT6050

Grupos de muestras	Cantidad de muestras	Media	Varianza
CAT6050	16	0.138	0.002

P&H4100	16	0.084	0.000
Agrupados			0.001

Fuente: Muestra los costos unitarios por grupos, elaboración propia basada en información de SMCV, 2021, Palas 4100XPC AC y 6050.

Tabla 28. Resultados Prueba T, costo unitario de P&H4100 y CAT6050

Error Estándar	t estándar	Diferencia varianza grupal	p-valor	t-critico	Efecto r
0.011	4.73	18.16	0.00	1.73	0.74

Fuente: Muestra los resultados de costos unitarios por grupos, elaboración propia basada en información de SMCV, 2021, Palas 4100XPC AC y 6050.

En esta Tabla 28, se observa que el p-value es casi 0 (8.1 elevado a la -5), mucho menor que el $\alpha = 0.05$, por lo tanto:

- H_0 se rechaza. Esto quiere decir que a una probabilidad de 95%, el costo unitario medio de la muestra CAT6050, no es igual al costo unitario medio de la muestra P&H4100.
- H_1 se acepta. A una Probabilidad de 95% el costo unitario medio de la muestra CAT6050 es mayor que el costo unitario medio de la muestra P&H4100. Por lo tanto, reemplazando dos Palas 6050 por una Pala 4100XPC AC se obtiene un beneficio económico por reducción del costo unitario.

En la Tabla 29, que muestra los resultados del programa MINITAB, se observa que la diferencia límite entre los costos unitarios medios de las muestras CAT6050 y P&H4100 es de 0.0342 \$/t, es decir donde el p-value alcanza el valor de 0.05. Quiere decir que a una probabilidad del 95% hay un margen del 40% donde la pala 6050 es más cara que la P&H4100.

Costo Unitario medio CAT6050 – Costo Unitario medio P&H4100 > 0.0342 \$/t

Tabla 29. Prueba T de muestras CAT6050 y P&h4100 – MINITAB

Método

μ_1 : media de población de CAT6050

μ_2 : media de población de P&H4100

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

Muestra	Media	Desv. Est.	Error estándar de la media
CAT6050	0.138	0.043	0.011
P&H4100	0.084	0.014	0.004

Estimación de la diferencia

Diferencia	Límite inferior de 95% para la diferencia
0.054	0.0342

Prueba

Hipótesis nula	$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$
Hipótesis alterna	$H_1: \mu_1 - \mu_2 > 0$

Valor T	GL	Valor p
4.73	18	0.000

Fuente: Muestra los resultados de la Prueba T con MINITAB, elaboración propia basada en información de SMCV, 2021, Productividad de palas 4100XPC AC y 6050.

En las Figuras 19 y 20 se observa la diferencia de costos unitarios medios de las muestras entre ambos tipos de Palas obtenidas en el MINITAB. La media de la muestra CAT6050 es 0.138 \$/t y la media de la muestra P&H4100 es 0.084 \$/t, un amplio margen de diferencia que fue demostrado con la Prueba T.

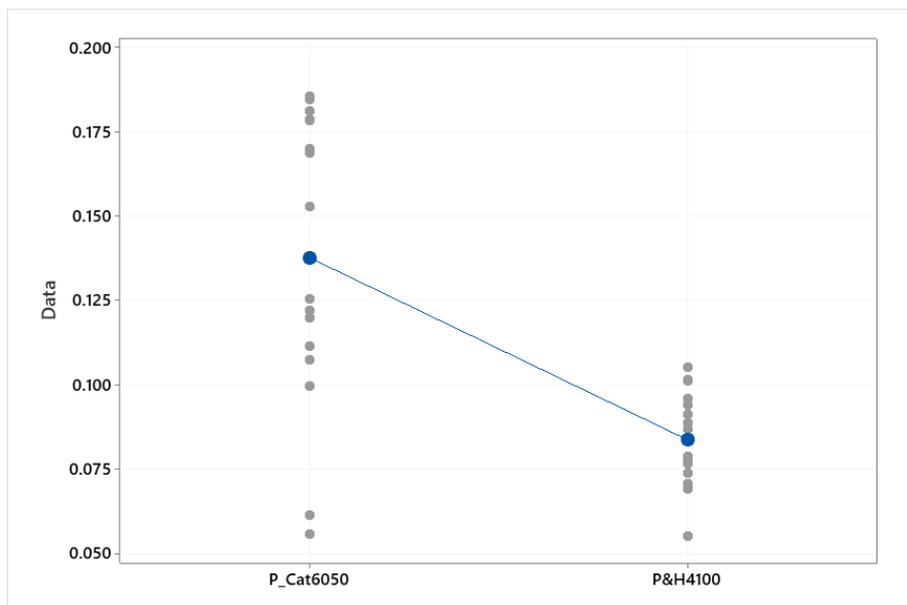


Figura 19. Valores individuales de CAT6050 y P&H4100 - MINITAB

Fuente: Muestra los resultados de la Prueba T con MINITAB, elaboración propia basada en información de SMCV, 2021, Costos unitarios de palas 4100XPC AC y 6050.

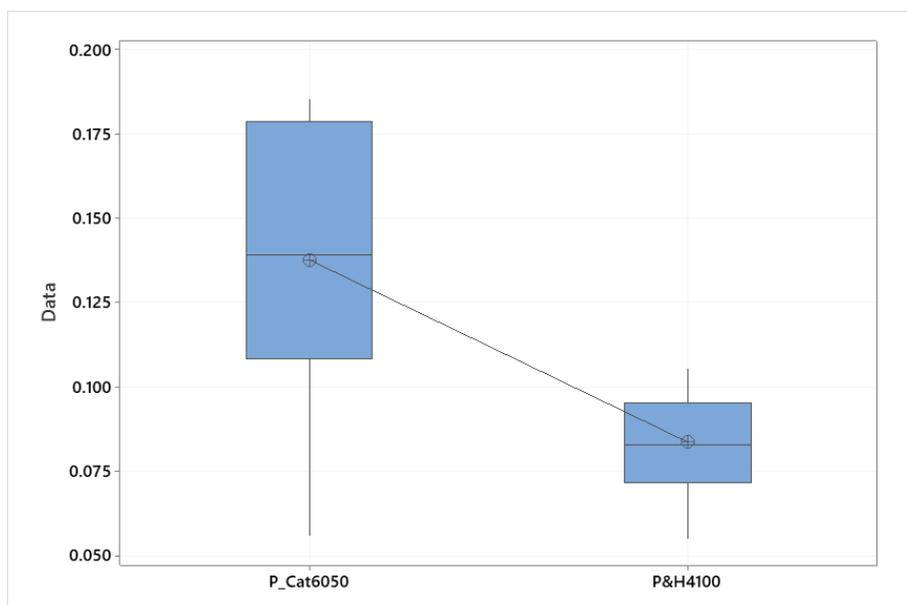


Figura 20. *Cajas de costos unitarios CAT6050 y P&H4100 – MINITAB*

Fuente: *Muestra los resultados de la Prueba T con MINITAB, elaboración propia basada en información de SMCV, 2021, Costos unitarios de palas 4100XPC AC y 6050.*

6.3. Discusión de resultados

La discusión de resultados es realizada en base al análisis de las variables productividad y costo unitario del equivalente de dos palas Caterpillar 6050 contra una Komatsu 4100XPC AC.

6.3.1. Productividad

La contrastación de la Hipótesis demuestra que al reemplazar dos Palas 6050 por una Pala 4100XPC AC la producción de la Mina se incrementa con una probabilidad de ocurrencia de 95%.

El margen de diferencia probabilística de las productividades medias entre la Pala 4100XPC AC y el equivalente a dos Palas 6050 es de 424 tph, donde el p-value alcanza el valor límite de 0.05. Este margen es importante pues garantiza probabilísticamente el incremento de producción de la mina al elegir la Pala 4100XPC AC respecto a las otras dos.

Este resultado aporta decisivamente en la toma de decisión de reemplazo de estos equipos según el presente estudio.

6.3.2. Costo Unitario

De igual manera mediante la contrastación de la Hipótesis se demuestra que el costo unitario medio de producción en dólares por tonelada de la Pala 4100XPC AC es menor que el costo unitario medio de producción de dos Palas 6050.

El margen probabilístico de diferencia entre el costo unitario medio del equivalente a dos Palas 6050 contra el de una Pala 4100XPC AC es de 3.42 centavos de dólar por tonelada, en donde p-value alcanza el límite de 0.05; margen muy importante que determina que la opción de elegir a la Pala 4100XPC AC es la mejor opción económica.

Este resultado aporta decisivamente en la toma de decisión de reemplazo de estos dos equipos según el presente estudio.

6.4. Limitaciones del Estudio

No se ha evaluado Palas equivalentes a la 4100XPC AC de Komatsu en otras marcas por la simplificación del alcance del proyecto y porque en la compañía solo se cuenta con información real de este tipo de Pala, sin embargo, para una evaluación más compleja, esto debería ser considerado.

La productividad analizada para ambas muestras fue de promedios en toneladas por hora operativa, pero hay un beneficio incremental de la potencia de la Pala eléctrica 4100XPC AC respecto a las Palas hidráulica 6050 que favorece a una mayor productividad en frentes de minado a diseño final en donde generalmente el material es más grueso y competente. Este beneficio podría ser estimado con filtros de información más selectiva del proceso que para este caso no ha sido considerada pero que favorecería a la elección de este equipo.

Tampoco se ha valorizado el beneficio de la pala 4100XPC AC por alcanzar taludes más estables respecto a las palas 6050. Esto por su mayor altura y potencia de motores.

Por otro lado, las Palas 6050 ofrecen mayor versatilidad en su desplazamiento respecto a las Palas 4100XPC AC, que favorece a su productividad, pero no ha sido parte del análisis del presente estudio.

CONCLUSIONES

- Es posible mejorar la problemática actual de minas de tajo abierto que tienen limitaciones de capacidad de palas, evaluando su reemplazo con palas de mayor capacidad para desarrollar alta productividad a menor costo de operación. Con esto se incrementa la producción de la mina y por ende su producción metálica.
- La evaluación demuestra que la mayor productividad de una pala P&H 4100XPC AC incrementa la producción de la mina a un menor costo de producción. Con esto se alcanza el cumplimiento del objetivo del estudio. Esta ventaja técnica económica es el sustento para el reemplazo de dos palas CAT 6050 por una P&H 4100XPC AC.
- El margen de diferencia entre las productividades de una pala 4100XPC AC contra el equivalente a dos palas 6050 es de 424 tph, donde el p-value límite es 0.05; margen de productividad importante que a una probabilidad de ocurrencia de 95% garantiza que técnicamente la elección de la pala 4100XPC AC es técnicamente más beneficioso.
- El costo unitario de producción en dólares por tonelada de la pala 4100XPC AC es menor que el costo unitario medio de producción del equivalente a dos palas 6050 por un margen probabilístico de 3.42 centavos de dólar por tonelada, para un p-value límite de 0.05; margen importante a una probabilidad de ocurrencia de 95% que garantiza que el reemplazo es una opción económicamente beneficiosa.
- Contar con información real histórica de equipos es de importante ayuda para el análisis estadístico en la evaluación de proyectos como: reemplazo de equipos,

análisis de productividad, incrementos de producción y optimización de procesos mineros o de otra actividad productiva.

RECOMENDACIONES

- Incorporar una Pala 4100XPC AC en reemplazo de dos Palas 6050. Esto permitirá incrementar la producción de la Mina por su mayor productividad a un menor costo de producción.
- Ampliar el alcance del análisis de la productividad de palas incorporando más variables tales como: capacidad de pala, velocidad de carguío, disponibilidad mecánica, utilización del equipo, fragmentación del material, ancho de minado, capacidad del equipo de acarreo, movilidad, habilidad del operador y condiciones climáticas; permitirá más precisión del resultado de soporte para la toma de decisión en la elección del equipo.
- Realizar un análisis similar al presente para reemplazo de equipos principales como: camiones mineros, perforadoras, tractores, excavadoras y otros cuya información existe en la base de datos de la mayoría de las operaciones mineras.
- Investigar y evaluar el incremento de producción de las minas es una tendencia actualmente y a futuro. Uno de los factores de los que depende es la capacidad de los equipos de carguío y acarreo de material por lo que además de evaluar oportunidades de mejora de la productividad de equipos existentes es necesario investigar y evaluar la factibilidad de empleo de sistemas combinados de extracción de material como: Chancadora-Faja, Pala-Faja o Pala-Camión con línea Trolley.
- Realizar un análisis de costo unitario de producción de la pala en función a más variables como: consumo de energía, combustible, componentes y productividad del equipo; soportará con más detalle en el proceso de toma de decisión para la elección del equipo.

- Almacenar información real de equipos en bases de datos es de mucha ayuda para realizar análisis estadístico y validación de supuestos en la evaluación de proyectos como: reemplazo de equipos, análisis de productividad, incrementos de producción y optimización de procesos mineros o de otra actividad productiva.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Berkhimer Eric N. (2012). *Rendimiento de la Pala: AC vs. DC*. Revista: Equipo Minero.
- BHP Billiton. (2016). *Reporte Anual*.
- Ford Gerald J. y Adkerson Richard C. (2015). *Freeport McMoran INC 2015 Annual Report*.
- Guerra Molina, J. G. (2012). *Reducción de costos operativos método del reemplazo de equipo mina*. Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Komatsu Mining Corp. Group (2018). *4100XPC Especificaciones generales de la pala eléctrica de minería*.
- Komatsu Mining Corp. Group (2019). *4800XPC Descripción general de la pala eléctrica de minería*.
- Kukielski Peter (2021). *Hudbay Announces Updated Constancia and Snow Lake Mine Plans and Provides Annual Reserve and Resource Update*. Hudbay Minerals Inc. Home page.
- Mackenzie Andrew (2019). *BHP Annual Report 2019*.
- Malchuk Daniel (2017). *Copper's time has come. BHP Home. Media and insights. Reports and presentations*.
- McMillan Kent (2014). *Adquisición de palas para la expansión de la UPCV*.
- OSINERGMIN (2016). *La Industria de la Minería en el Perú*.
- Sociedad Minera Cerro Verde (2017). *Proyecto compra de pala 4100XPC AC*.

Solis Cortes, RE (2013). *Estrategias de aseguramiento de disponibilidad de palas de cable de mina Radomiro Tomic*. Chile: Universidad de Chile.

Yarmuch Juan L. (2014). *Palas para Minería: Mayor carga a menor costo*. Revista: Minería Chilena.

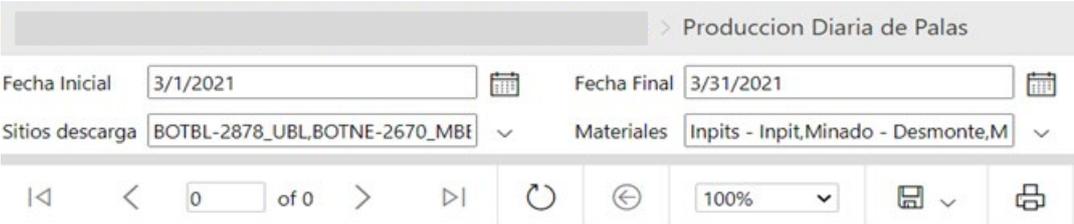
Zepeda Eric (2020). *Minera Sierra Gorda SCM alcanza récord mundial minero*. Revista: Reporte Minero.

ANEXOS

ANEXO 01

Muestra el formulario de ingreso datos para realizar el filtro de la consulta automatizada para extraer la información de producción diaria de Palas de la base de datos del sistema de control de producción.

Consulta de información de producción de Palas de la base de datos



Produccion Diaria de Palas

Fecha Inicial: 3/1/2021 Fecha Final: 3/31/2021

Sitios descarga: BOTBL-2878_UBL,BOTNE-2670_MBI Materiales: Inpits - Inpit,Minado - Desmonte,M

0 of 0

100%

Fecha	KTM												
	CF24	CF25	CF26	P06	P07	P10	P11	P12	P15	P16	P17	P18	P19
01/03/21	11.8	19.8	28.4		2.5	64.0	72.3	49.0	105.2	85.0	92.0	113.9	41.7
02/03/21	25.5	41.9			3.2	64.8	64.9	51.5	100.8	64.8	89.0	117.0	42.3
03/03/21	17.6	27.0		27.0	24.5	58.2	29.9	80.1	107.5	84.9	78.2	66.8	82.3
04/03/21	25.2	36.0		79.4	34.5	48.2	38.0	71.3	62.5	43.8	103.2	72.4	102.3
05/03/21	25.0	32.3		67.9	22.1	81.9	31.1	66.4	131.8	61.5	111.7	94.4	24.9

ANEXO 02

Es una muestra de un formulario de ingreso de información para consulta automatizada para extraer las horas operativas de Palas de la base de datos del sistema de control de producción.

Consulta de Horas Operativas de Palas de la base de datos

> Detalle de Estado de Equipos

Fecha Inicio Fecha Fin Unidad

Equipos Categoria Codigo

1 of 1 100%

Equipo	Fecha	Turno	Equipo	ID Operador	Nombre Operador	Estado	Categoría	Codigo	Nombre Codigo
	08/Apr/21	Dia	P21	00073120	BELLIDO ROSAS GONZALO	Demora	Cmb Turno	439	CAMBIO DE TURNO
	08/Apr/21	Dia	P21	00073120	BELLIDO ROSAS GONZALO	Operativo	Operativo	200	OPERATIVO
	08/Apr/21	Dia	P21	00073120	BELLIDO ROSAS GONZALO	Demora	Dem. Oper	405	TRASLADO CORTO PALA
	08/Apr/21	Dia	P21	00073120	BELLIDO ROSAS GONZALO	Operativo	Operativo	200	OPERATIVO
	08/Apr/21	Dia	P21	00073120	BELLIDO ROSAS GONZALO	Malogrado	Det No Prog	1605	MNP_E_SIST. PROPUL (PROPEL)
	08/Apr/21	Dia	P21	00073120	BELLIDO ROSAS GONZALO	Operativo	Operativo	200	OPERATIVO
	08/Apr/21	Dia	P21	00068439	TICONA CONDE MIGUEL	Demora	Cmb Turno	439	CAMBIO DE TURNO
	08/Apr/21	Dia	P21	00068439	TICONA CONDE MIGUEL	Operativo	Operativo	200	OPERATIVO

ANEXO 03

Muestra el formato de información de tonelaje, horas operativas, productividad y producción en una planilla de Microsoft Excel.

Información por tipos de Palas

AÑO	MES	Hydraulic P09						Electric P&H4100 P15					
		Ktons	Loads	Days	Hrs-Op	TM/hr	ktpd	Ktons	Loads	Days	Hrs-Op	TM/hr	ktpd
2017	1	1,290	7,286	31	444	2,903	42	2,087	8,482	31	529	3,944	67
2017	2	1,262	7,128	28	406	3,109	45	2,149	8,693	28	498	4,315	77
2017	3	306	1,727	31	121	2,531	10	1,305	5,113	31	265	4,932	42
2017	4	1,062	5,926	30	353	3,005	35	2,800	10,721	30	528	5,303	93
2017	5	974	5,015	31	423	2,302	31	2,333	8,970	31	522	4,471	75
2017	6	599	2,502	30	360	1,664	20	2,657	10,312	30	590	4,500	89
2017	7	729	3,038	31	552	1,321	24	3,300	12,684	31	630	5,237	106
2017	8	618	2,576	31	447	1,382	20	2,807	10,691	31	565	4,964	91
2017	9	679	2,829	30	419	1,622	23	3,163	11,976	30	607	5,213	105
2017	10	1,273	5,306	31	606	2,103	41	3,686	13,828	31	647	5,695	119
2017	11	1,320	5,502	30	591	2,234	44	3,209	12,266	30	584	5,495	107
2017	12	1,015	4,231	31	533	1,905	33	3,252	12,429	31	618	5,262	105
2018	1	861	3,590	31	503	1,711	28	3,029	11,703	31	613	4,943	98
2018	2	885	3,686	28	454	1,947	32	2,900	11,015	28	569	5,101	104
2018	3	1,057	4,404	31	585	1,808	34	2,831	10,872	31	593	4,777	91
2018	4	1,059	4,413	30	573	1,847	35	2,981	11,617	30	611	4,880	99
2018	5	941	3,920	31	525	1,792	30	2,826	11,040	31	629	4,494	91
2018	6	1,092	4,548	30	484	2,254	36	2,582	9,814	30	599	4,309	86
2018	7	1,147	4,779	31	548	2,094	37	2,769	10,491	31	599	4,621	89

ANEXO 04

Muestra una parte de la Tabla de datos de Productividad por Palas preparada con información de la Base de datos del servidor de la Mina.

Tabla de datos de Palas

Fecha	No	Pala	Flota	tph
2017-4	4	P09	Cat6050	3,005
2017-5	5	P09	Cat6050	2,302
2017-6	6	P09	Cat6050	1,664
2017-7	7	P09	Cat6050	1,321
2017-8	8	P09	Cat6050	1,382
2017-9	9	P09	Cat6050	1,622
2017-10	10	P09	Cat6050	2,103
2017-11	11	P09	Cat6050	2,234
2017-12	12	P09	Cat6050	1,905
2018-1	13	P09	Cat6050	1,711
2018-2	14	P09	Cat6050	1,947
2018-3	15	P09	Cat6050	1,808
2018-4	16	P09	Cat6050	1,847
2018-5	17	P09	Cat6050	1,792
2018-6	18	P09	Cat6050	2,254
2018-7	19	P09	Cat6050	2,094
2017-1	20	P14	Cat6050	1,801
2017-2	21	P14	Cat6050	1,895
2017-3	22	P14	Cat6050	2,473
2017-4	23	P14	Cat6050	2,421
2017-5	24	P14	Cat6050	2,445
2017-6	25	P14	Cat6050	2,385
2017-7	26	P14	Cat6050	2,381
2017-8	27	P14	Cat6050	2,359
2017-9	28	P14	Cat6050	2,394
2017-10	29	P14	Cat6050	2,325
2017-11	30	P14	Cat6050	2,389
2017-12	31	P14	Cat6050	2,467

ANEXO 05

Muestra un modelo de información en columna, preparada con Tablas dinámicas para el formato de MINITAB.

Ejemplo de ordenamiento en columna para MINITAB

P151618 tph

5,303
4,471
4,500
5,237
4,964
5,213

5,695
5,495
5,262
4,943
5,101
4,777
4,880
4,494
4,309
4,621
5,548
5,455
5,257
5,228
4,792
5,508
5,372
5,600
5,059
5,228
4,941
4,850
5,184
5,163
4,748
4,935
4,634

ANEXO 06

Muestra la estructura de información cargada al editor de MINITAB mediante un copiar y pegar desde Excel.

+	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
	6050 tph	4100 tph	P16 tph	P15 tph	P09 tph	P14 tph	P0914-1 tph	Dos 6050	P0914 tph	4100 tph_1	P16 tph_1	P15 tph_1	P18 tph	P151618 tph
1	2903	3944	3596	3944	3005	2421	3005	5425.81	6010.16	5303	5548	5303	4634	5303
2	3109	4315	4554	4315	2302	2445	2302	4747.80	4604.85	4471	5455	4471	4568	4471
3	2531	4932	4846	4932	1664	2385	1664	4048.95	3327.76	4500	5257	4500	4154	4500
4	3005	5303	5548	5303	1321	2381	1321	3702.00	2642.69	5237	5228	5237	4247	5237
5	2302	4471	5455	4471	1382	2359	1382	3740.14	2763.09	4964	4792	4964	4400	4964
6	1664	4500	5257	4500	1622	2394	1622	4015.43	3243.33	5213	5508	5213	3674	5213
7	1321	5237	5228	5237	2103	2325	2103	4428.06	4205.85	5695	5372	5695	3856	5695
8	1382	4964	4792	4964	2234	2389	2234	4622.82	4467.64	5495	5600	5495	4023	5495
9	1622	5213	5508	5213	1905	2467	1905	4372.21	3810.61	5262	5059	5262	5123	5262
10	2103	5695	5372	5695	1711	2494	1711	4204.90	3421.75	4943	5228	4943	5142	4943
11	2234	5495	5600	5495	1947	2468	1947	4415.32	3894.79	5101	4941	5101	5013	5101
12	1905	5262	5059	5262	1808	2056	1808	3864.36	3616.33	4777	4850	4777	5110	4777
13	1711	4943	5228	4943	1847	2261	1847	4108.79	3694.75	4880	5184	4880	5308	4880
14	1947	5101	4941	5101	1792	2321	1792	4112.15	3583.20	4494	5163	4494	5222	4494
15	1808	4777	4850	4777	2254	1917	2254	4171.42	4508.94	4309	4748	4309	4465	4309
16	1847	4880	5184	4880	2094	1908	2094	4001.94	4188.01	4621	4935	4621	4920	4621

ANEXO 07

Muestra una parte de la Tabla de datos de Costo Unitario de flotas de Palas preparada con información de la Base de datos del servidor de la Mina.

Ejemplo de tabla de datos de Costos

Periodo	No	Pala	Costo
2017-4	4	P&H4100	0.071
2017-5	5	P&H4100	0.094
2017-6	6	P&H4100	0.074
2017-7	7	P&H4100	0.079
2017-8	8	P&H4100	0.055
2017-9	9	P&H4100	0.077
2017-10	10	P&H4100	0.096
2017-11	11	P&H4100	0.069
2017-12	12	P&H4100	0.102
2018-1	13	P&H4100	0.078
2018-2	14	P&H4100	0.071
2018-3	15	P&H4100	0.091
2018-4	16	P&H4100	0.087
2018-5	17	P&H4100	0.101
2018-6	18	P&H4100	0.105
2018-7	19	P&H4100	0.089
2018-8	20	P&H4100	0.099
2018-9	21	P&H4100	0.182
2018-10	22	P&H4100	0.110
2018-11	23	P&H4100	0.119
2018-12	24	P&H4100	0.092
2019-1	25	P&H4100	0.091
2019-2	26	P&H4100	0.106
2019-3	27	P&H4100	0.094
2019-4	28	P&H4100	0.094
2019-5	29	P&H4100	0.096