

# Optimization of the Exploitation of the Rock Mass to Increase Productivity Through Mining Planning in CMPSA

Elmer Julio, Bejarano Castro Bach.<sup>1</sup>, Wilson Carlos Gomez Hurtado Mg.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de ingeniería-Ing. Minas Universidad Privada del Norte, Perú,  
N00220395 @upn.pe, wilson.gomez@upn.pe

*Abstract— This research was carried out with the purpose of optimizing the exploitation of the rock mass, with the aim of increasing productivity through mining planning in Mining Company Poderosa S.A. An analysis of the current condition was carried out to design and implement a mining plan that would lead to a significant increase in productivity and, consequently, greater economic profitability. Various sources of consultation were used, based on previous studies where mining planning had managed to optimize exploitation, reduce costs and improve productivity. This research, with a quantitative, applied, descriptive–prospective, non-experimental and transversal approach, collected and analyzed data through the observation guide and production record. This approach allowed deficiencies to be identified through the use of the Pareto diagram, providing clear guidelines for the development of mining planning. As a result, an optimization of the exploitation processes was achieved, with an increase in productivity of 31%, an annual saving of 14.53% regarding the year 2022, equivalent to US\$ 394214.58, and a COK of 14% was obtained. , an NPV of US\$ 60993.53 and an IRR of 51%, results validated using the Student T test that yielded a confidence level of no less than 95%.*

*Keywords— Masizo rocos, drilling and blasting, mathematical models, optimization, production.*

# Optimización de la Explotación del Macizo Rocoso para Aumentar la Productividad Mediante la Planificación de Minado en CMPSA

Elmer Julio, Bejarano Castro Bach.<sup>1</sup>, Wilson Carlos Gomez Hurtado Mg.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de ingeniería-Ing. Minas Universidad Privada del Norte, Perú,  
N00220395 @upn.pe, wilson.gomez@upn.pe

**Resumen**— Esta investigación se llevó a cabo con el propósito de optimizar la explotación del macizo rocoso, con el objetivo de aumentar la productividad mediante la planificación de minado en Compañía Minera Poderosa S.A. Se realizó un análisis de la condición actual para diseñar e implementar un plan de minado que condujera a un incremento significativo de la productividad y, en consecuencia, a una mayor rentabilidad económica. Se utilizaron diversas fuentes de consulta, basada en estudios previos donde la planificación de minado había logrado optimizar la explotación, reducir costos y mejorar la productividad. Esta investigación, de enfoque cuantitativa, aplicada, descriptiva-prospectiva, no experimental y transversal, recopiló y analizó datos a través de la guía de observación y registro de producción. Este enfoque permitió identificar las deficiencias mediante el uso del diagrama de Pareto, proporcionando pautas claras para el desarrollo de la planificación de minado. Como resultado, se logró una optimización de los procesos de explotación, con un aumento de la productividad de 31%, un ahorro anual de 14.53% respecto del año 2022, equivalente a US\$ 394214.58, además se obtuvo un COK de 14%, un VAN de US\$ 60993.53 y una TIR de 51%, resultados validados mediante la prueba T Student que arroja un nivel de confianza no menor al 95%.

**Palabras clave**— Macizo rocoso, Planificación de minado, Productividad, Minería subterránea y Explotación minera.

## I. INTRODUCCIÓN

Las empresas que buscan reconocimiento global en la industria minera, deben establecer lineamientos claros y objetivos definidos. Para lograrlo, es crucial contar con cronogramas precisos de planificación y ejecución que abarquen todas las actividades unitarias en los procesos mineros. Cumplir con estos cronogramas es esencial para satisfacer los requerimientos de los clientes. No obstante, algunas empresas carecen de lineamientos y objetivos claros, enfrentándose a un inminente fracaso a corto y mediano plazo. Estas empresas no logran alcanzar sus metas planificadas en términos de producción y productividad. [1].

Este problema tiene su punto de partida en un pésimo diseño, planificación e implementación de un correcto diseño de programa de sistemas de gestión global para el proyecto, teniendo su inicio en la fase de exploración y finalizando con el acarreo del mineral desde interior mina hasta la planta de procesamiento del mineral. En la actualidad las empresas mineras enfocan sus recursos y esfuerzos en optimizar la

explotación del macizo rocoso para mejorar la productividad y diseñan diversas estrategias que permitirán optimizar la productividad [2].

La baja productividad en la explotación minera, debido a deficiencias en la planificación de minado, afecta la capacidad de las plantas de procesamiento. Esto resulta en un manejo ineficiente de recursos y costos operativos elevados. Es crucial considerar la productividad en todas las operaciones de planificación minera, optimizándola diariamente [3]. La comprensión de la relación entre la planificación y la ejecución, guiada por el cronograma empresarial, permite aplicar controles y mejoras para evitar déficits en la explotación del macizo rocoso [4].

En CMPSA, la productividad disminuyó desde principios de 2021 debido a la falta de comunicación y coordinación entre las áreas de soporte, provocando retrasos de 3 a 5 días en la llegada de materiales. Esto resulta en horas hombre muertas, escasez de personal capacitado y desgaste de equipos de protección personal (EPP), creando un entorno laboral desfavorable. Estas condiciones han llevado a un incumplimiento significativo de la producción diaria programada, afectando el logro de las metas mensuales establecidas por la empresa.

El declive en la productividad es un problema evidente que presenta una tendencia negativa, resultando perjudicial para la economía de la empresa. Este deterioro impacta directamente en el consumo excesivo de recursos, incremento de los costos operativos, deficiencias operacionales y repercusiones adversas en los ámbitos ambiental y social, destacando como aspectos críticos en el marco de esta investigación.

Huarichi [5], en su investigación resalta que la planificación y la ejecución en la producción tenía un déficit de 6%, generado por retraso de materiales (2 días), la U.M. en el 2018 registró un sobre costo de 24,82% sobre su presupuesto lo que generando un costo operativo de US\$ 38,4 por tonelada. Para atacar esta problemática diseño estrategias de gestión con la finalidad de optimizar la explotación, con mejoras en las áreas de logística, finanzas y producción, cambio el de método de explotación logrando un costo operativo de US\$ 27,01 por tonelada.

Ramírez [6], en su investigación se valió de un correcto diseño y ejecución del planeamiento de minado, seleccionó el método de explotación de Banqueo debido a las características de la cantera, logrando mediante el planeamiento de minado optimizar la explotación, mejorando la productividad, obteniendo ganancias de US\$ 25168.

Pimentel [7] en su investigación analizó el secuenciamiento del planeamiento de minado y su efecto causante en la optimización del método de explotación, mediante la aplicación del software Datamine, le arrojó una ejecución del 99% entre lo programado y ejecutado. El planeamiento a corto plazo optimizó la productividad, pasando de un 89% de cumplimiento en el primer semestre del 2018, a un cumplimiento en el segundo semestre del 2018 del 99% y redujo los costos, logrando utilidades de US\$ 9218790.

Ticllasuca [8] en su investigación describe la situación actual de la explotación y luego realiza el diseño del planeamiento de minado. Obteniendo como resultados que el planeamiento cooperó que la producción aumente en un 2,4% de lo planificado, los costos pasaron de US\$ 95,91/Tn a US\$ 95,62/Tn, un VAN de US\$ 630207 y TIR de 19%.

Huerta [9] en su investigación determinando los lineamientos a seguir en el planeamiento de minado. Obtuvo, que el planeamiento de minado al ser aplicado generó un aumento de la productividad de 127% en corto y mediano plazo, el flujo económico es 1,3784 y el flujo financiero es 1,3779, lo que indica que el proyecto es viable y rentable financieramente.

Cuando se refieren al término Minería, hacemos mención a la extracción de ciertos minerales que son rentables económicamente para las empresas mineras, y dividiéndose el proceso en varias fases o etapas y son: Prospección, exploración, avance, explotación y acarreo [10]. Por Minería Subterránea, entendemos a trabajos realizados internamente en las capas de la tierra como túneles, cámaras, pilares, rampas, chimeneas, socavones, entre otros, los que permitirán llegar al cuerpo mineralizado y su posterior explotación y extracción [11].

Todos estos trabajos se realizan en el macizo rocoso mediante esfuerzos externos son producto de la Perforación, que es la actividad donde se hacen hoyos en forma cilíndrica mediante el uso de taladros y van introduciéndose a la roca en forma rotativa para que luego se introduzca explosivo, posteriormente se da paso a la Voladura, es la acción donde se fragmenta a la roca en diversos tamaños, para finalmente para a la etapa de Acarreo del mineral, que es la actividad donde el mineral es sacado del interior de la mina [12].

Todas estas etapas antes mencionadas se tienen que realizar de manera Eficiente, esto quiere decir obtener resultados en la minería mediante el desarrollo de lo planificado con el uso de los recursos de manera óptima y en menor cantidad, obteniendo mejores resultados y las metas trazadas [13], y al referirnos a Optimización, se refiere a toda acción que se desarrolla en determinado proceso con resultados mejorados y una alta eficacia al ejecutar dichas actividades [14]. Donde los Costos Operativos, son asumidos desde la etapa inicial del proyecto minero hasta la extracción, refinado del mineral, gastos en tecnología, estudios y mano de obra [15].

Productividad, es el vínculo entre el producto o servicio final y los recursos utilizados en la fabricación de dicho producto o servicio brindado, la productividad tiene relación directa con de tiempo, producto y dinero [16]. La productividad es la eficiencia que tiene una empresa que utiliza el capital humano, capital económico y diversos recursos, para producir bienes y/o servicios [17]. La productividad es usada como estrategia para incrementar la competitividad de las instituciones [18].

El Planeamiento de Minado, son los lineamientos de la fase estratégica de las empresas, para poder hacer las comparativas respectivas mes a mes y ejecutar controles que le permitan ir mejorando, este planeamiento permitirá diseñar el método de explotación de acuerdo a las características del yacimiento [19].

Cuando se hace referencia al planeamiento a corto plazo, nos referimos a la ejecución de los cronogramas diarios, semanales y las mensuales cumpliendo con el plan anual, está ligado a la operación diaria de la mina [8], el planeamiento a mediano plazo comprende un plazo no mayor a 5 años y siendo está el pilar fundamental para la consideración y evaluación financiera de la organización [20], y finalmente el planeamiento a largo plazo comúnmente llamado planificación estratégica es el conglomerado de pautas y lineamientos para que un proyecto se desarrolle de la mejor manera, disponiendo de una guía de posibles soluciones en momentos complejos [9].

En consecuencia, es apropiado realizar la pregunta siguiente: ¿Cómo la optimización de la explotación del macizo rocoso puede generar incremento en la productividad mediante la planificación de minado en CMPSA 2023?

Teniendo como Objetivo General: Optimizar de la explotación del macizo rocoso para aumentar la productividad mediante la planificación de minado en CMPSA 2023.

De igual forma se plantearon tres Objetivos Específicos: Determinar la condición existente en la explotación del macizo rocoso y la productividad en CMPSA 2023, seguido de Plantear el diseño e implementación de la planificación de minado a fin de optimizar la explotación del macizo rocoso para poder aumentar la productividad en CMPSA 2023, y finalmente Estimar la repercusión económica al implementar la planificación de minado en la optimización del proceso de explotación y el aumento de la productividad en CMPSA 2023.

Esta investigación se plantea la siguiente hipótesis; Es posible lograr la optimización de la explotación mediante la Planificación Minera basada en la gestión global de los procesos para poder aumentar la productividad en CMPSA, 2023.

## II. MÉTODO

La investigación tiene enfoque cuantitativo, debido a que cuenta con un diagnóstico previo para lo cual se tomaron datos numéricos, con un cronograma mensual donde van datos de la producción, de los costos unitarios operativos y otros indicadores estadísticos [21].

La investigación es Aplicada, pues está orientada en brindar conocimientos para que puedan entender directamente cómo funciona la planificación de minado al momento de dar soluciones a los potenciales problemas que están impidiendo la

optimización de la explotación y así permita el incremento de la productividad [22].

Esta la investigación tiene un alcance Descriptivo–Prospectivo, porque se estudia, diagnostica y desarrolla una planificación de minado la misma que será propuesta para ser implementada en un futuro. El diseño de la investigación es No Experimental, pues no se alterarán en ningún caso las variables de estudio, y finalmente la investigación es de corte transversal, debido a que el investigador observa el comportamiento de las variables en momentos determinados.

Se tiene como población a la Unidad Productiva de Santa María de CMPSA y como muestra se tomó a todas las operaciones mineras subterráneas de Santa María.

Instrumentos y técnicas utilizados en esta investigación:

Guía de observación: Teniendo como técnica la observación del investigador de todas las operaciones de explotación, extracción y acarreo del mineral, desde la interior mina hacia la superficie, así mismo, la circulación de los materiales y movimiento de los diversos equipos utilizados en la operación minera. Todo esto nos permitirá obtener un diagnóstico acertado sobre la planificación de minado, donde el investigador hace un recorrido por las diversas labores mineras subterráneas, donde visualizara la producción, acarreo de mineral, uso de materiales, los movimientos de los equipos mineros y tomara nota.

Registros de producción, costos operativos y avance de la productividad: Teniendo como técnica la recopilación documental, lo que permitirá analizar información referente a los costos operativos de la producción, tiempos acarreo del mineral y avance de la productividad, analizando datos de registros históricos de la producción de los años 2021 y 2022, los costos de producción, la producción y los incumplimientos.

La efectividad, confiabilidad y validez de los instrumentos utilizados, se recurrió a expertos en nuestro tema de estudio.

Todos estos datos recolectados permitirán hacer un diagnóstico real y posteriormente poder diseñar la planificación de minado que, al ser propuesta e implementada, la repercusión en la explotación del macizo rocoso será satisfactoria.

Esta investigación respetó todos los aspectos éticos, debido a que se citaron de manera correcta todas las fuentes que sirvieron de apoyo y nutrieron este estudio. Por último, las personas que aportaron sus conocimientos para esta investigación, han solicitado la reserva de sus datos.

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### A. Determinar la condición existente en la explotación del macizo rocoso y la productividad en CMPSA 2023.

Al realizar diagnóstico sobre la condición actual de la labor, respecto de la explotación del macizo rocoso y como esto afecta la productividad, donde se toman tres puntos que están inmersos en la productividad y estos son: Tiempo, producto y costos. Los hallazgos son alarmantes y se detallan a continuación.

TABLA I

FALENCIAS Y LA MERMA EN LA PRODUCTIVIDAD / MES, AÑO 2022

Área	Falencias	Costos	Merma en la productividad
Logística	Desabastecimiento	\$ 4039,4	9%
RR.HH.	Personal no capacitado	\$ 2672,3	2%
Finanzas	Pago a proveedores	\$ 3214,4	3%
Operación Mina	Procesos y aforo de planta	\$ 1721,5	5%
<b>TOTAL</b>		<b>\$ 11647,6</b>	<b>19%</b>

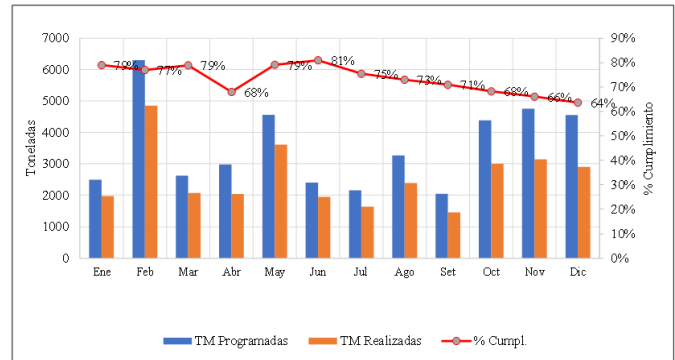


Figura 1. Producción Realizada, Programada y Porcentaje de Cumplimiento, Año 2022.

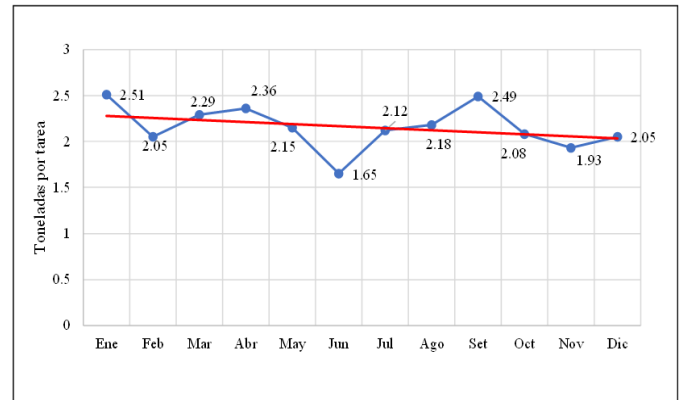


Figura 2. Productividad en TM/h-día, Año 2022.

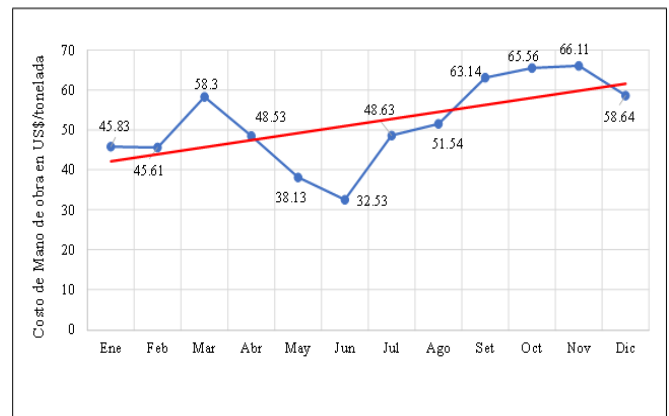


Figura 3. Costos en US\$/TM, Año 2022.

Las condiciones actuales en la U.P. Santa María, indican que se está generando pérdidas en tiempo, dinero y producción, produciendo una baja productividad en la explotación del macizo rocoso de las labores en U.P. Santa María en CMPSA.

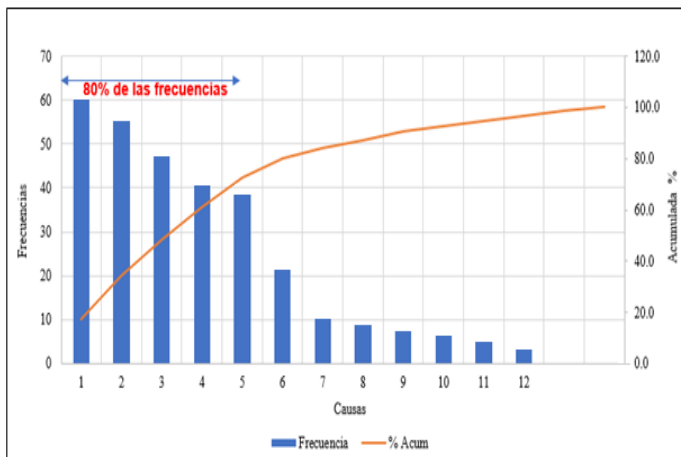
*B. Plantear el diseño e implementación de la planificación de minado a fin de optimizar la explotación del macizo rocoso para poder aumentar la productividad en CMPSA 2023.*

El principio de Pareto que nos indica que el 80% de las consecuencias de los problemas provienen tan solo del 20% de sus causas, y se utiliza para ubicar las causas de la problemática.

**TABLA II**  
PARETO DE LAS CAUSAS, FRECUENCIA Y % ACUMULADO

Ítem	Causas	Frecuencia	% Acumulado
1	Avance	60	19,7
2	Sostenimiento	56	38,1
3	Limpieza 1	47	53,5
4	Reposición	41	66,9
5	Limpieza 2	38	79,4
6	Entablar	21	86,3
7	Deficiencia de personal	10	89,6
8	Ensanche	9	92,5
9	Instalación de equipos	8	95,1
10	preparación de la labor	6	97,0
11	Armado y Disparo fallidos	5	98,6
12	Deficiencia de agua y Perforadoras	4	100
	<b>TOTAL</b>	<b>305</b>	<b>100</b>

La tabla II nos indica que 5 causas acumulan el 79.4% del total, siendo estas causa las que están agravando la problemática en la operación minera en U.P. Santa María.



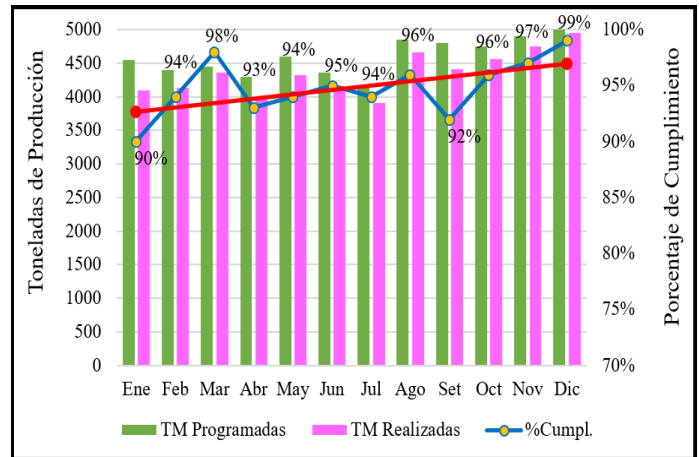
**Figura 4.** Diagrama de Pareto.

**TABLA III**  
COMPARATIVO DE LA MEJORA / MES, AÑO 2023

Ítem	Problemática	Tradicional/Normal		Propuesta Optimizada	
		Costo	Merma	Costo	Merma
Logística	Desabastecimiento	\$403,4	9%	\$434,2	1,00%

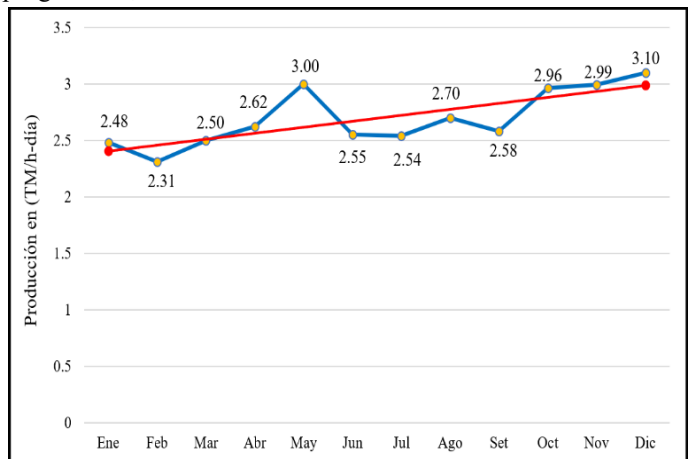
Recursos Humanos	Personal no capacitado	\$2672,3	2%	\$536.8	0,50%
Finanzas	Pago a proveedores	\$3214,4	3%	\$447,3	0,35%
Producción	Optimización de procesos y aforo de planta	\$1721,5	5%	\$272,3	0,65%
<b>Total</b>		<b>\$11647,6</b>	<b>19%</b>	<b>\$1690,6</b>	<b>2,50%</b>

La tabla III muestra que los costos y merma mensual se han reducido, producto de la planificación de minado.



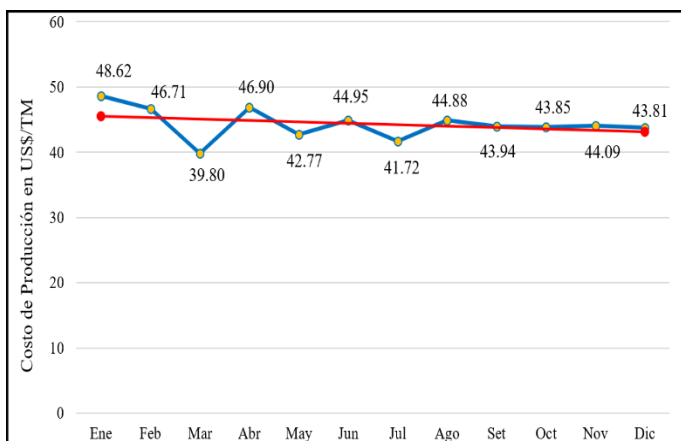
**Figura 5.** Producción Programada, Realizada y Porcentaje de Cumplimiento, Año 2023.

La figura 5 se observa que el cumplimiento de la producción ahora tiene un mínimo de 90% y máximo de 99% de lo programado, con una tendencia ascendente.



**Figura 6.** Producción Ejecutada (TM/h-día), Año 2023.

La figura 6. Se observa una tendencia ascendente en la producción, aunque se presentan fluctuaciones a lo largo del año. Los momentos de mayor producción se registran en mayo (3,00 TM/h-día), octubre (2,96 TM/h-día) y noviembre (2,99 TM/h-día). Por otro lado, el punto más bajo de producción se encuentra en febrero (2,31 TM/h-día). En la curva se puede apreciar que representa una tendencia general de crecimiento de la producción a lo largo del año.



**Figura 7.** Costos de Producción en US\$/TM, 2023.

La figura 7 muestra como los costos van en descenso, con mínimos de US\$ 39,80 por TM y máximos de US\$ 48,62/TM.

**TABLA IV**  
COMPARACIÓN DE PRODUCTIVIDAD ANTERIOR vs OPTIMIZADA

Indicadores	Unidad de Medida	Anterior (2022)	Optimizada (2023)
Producción planificada	Toneladas	42841	55110
Producción realizada	Toneladas	31189,05	52293
Costo Total	US\$	1617776,01	2318148,7
Tiempo de ejecución planificada	Horas	10	10
Tiempo de ejecución realizada	Horas	8	9.5
Eficaz	Porcentaje	72,80	94,88
Eficiente	Porcentaje	84,5	97,5
<b>Productividad</b>		<b>61,5%</b>	<b>92,5%</b>

La tabla IV muestra mejora de la productividad en un 31% durante el año 2023.

C. Estimar la repercusión económica al implementar la planificación de minado en la optimización del proceso de explotación y el aumento de la productividad en CMPSA 2023.

Al hacer una estimación de la repercusión en el tema financiero de la empresa después de haber ejecutado y proyectado el diseño e implementación de la Planificación de Minado, tenemos que hacerlo mediante una comparativa de un “antes” y un “después” de nuevo diseño.

**TABLA V**  
RAZÓN ENTRE PRODUCCIÓN AÑO 2023 vs 2022

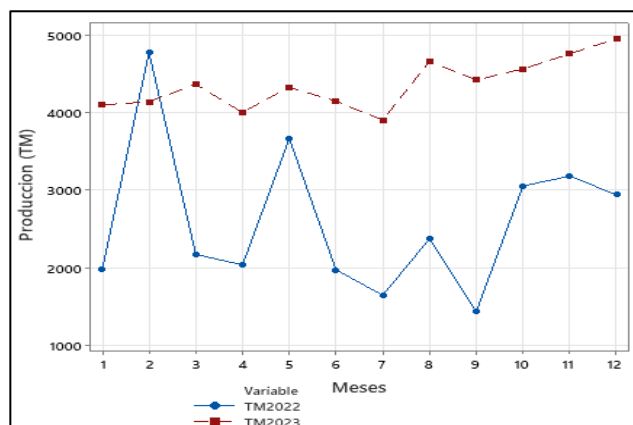
Año 2023	Año 2022	Razón
52293	31189,05	1,6766

**Nota:** La razón es la relación entre el año 2022 y 2023, con ella se proyectarán nuevos costos de producción para el 2022 y poder obtener un ahorro correcto.

**TABLA VI**  
COMPARATIVA ECONÓMICA DE LA PRODUCCIÓN (US\$)

Mes	Año 2022			Año 2023		Ahorro (US\$)
	TM	Costos	Costos Proyectados	TM	Costos	
Ene.	1975	102443,25	171756,35	4095	181531,35	-9774,99
Feb.	4774	247627,38	415172,06	4136	183348,88	231823,18
Mar.	2168,55	112482,69	188588,48	4361	193323,13	-4734,65
Abr.	2031,84	105391,54	176699,46	3999	177275,67	-576,21
May	3661,65	189929,78	318436,27	4324	191682,92	126753,34
Jun.	1969,11	102137,73	171244,12	4142	183614,86	-12370,74
Julio	1641,75	85157,57	142775,18	3901	172931,33	-30156,14
Ago.	2369,58	122910,11	206071,09	4656	206400,48	-329,39
Set.	1433,49	74355,13	124663,81	4416	195761,28	-71097,47
Oct.	3051,16	158263,67	265344,87	4560	202144,8	63200,07
Nov.	3177,24	164803,44	276309,45	4753	210700,49	65608,96
Dic.	2935,68	152273,72	255302,12	4950	2194335	35868,62
<b>Total</b>	<b>31189,05</b>	<b>1617776,01</b>	<b>2712363,3</b>	<b>52293</b>	<b>2318148,69</b>	<b>394214,58</b>

Se observa que la estrategia de Planificación de Minado y el correcto funcionamiento de las áreas vinculadas en toda la operación de explotación del macizo rocoso, generan un ahorro de US\$ 394214,58 anualmente, logrando una variación de ahorro de 14,53% entre el antes y después.



**Figura 8.** Análisis de la producción del 2022 y la producción 2023

En la figura 8. Se observa que existe una diferencia significativa entre la producción del 2022 sin optimización de la explotación el macizo rocoso con la producción del año 2023. Durante el año 2022, la producción comienza en niveles altos, pero experimenta una caída pronunciada en los meses siguientes. A mitad de año, se logra una recuperación parcial, y posteriormente se mantiene relativamente estable, aunque con ligeras fluctuaciones. En cuanto al año 2023, la producción muestra una tendencia más fluctuante, iniciando en niveles

bajos, experimentando un pico notable en el quinto mes, volviendo a descender y finalmente mostrando signos de recuperación a partir del noveno mes. En general, se observa que la producción en 2023 parece ser inferior a la del año anterior, especialmente durante los primeros meses. No obstante, la tendencia ascendente hacia el final de 2023 sugiere una posible recuperación en curso.

**TABLA VII**  
ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA PLANIFICACIÓN PROPUESTA E IMPLEMENTADA, AÑO 2023

Ítem	Gastos	Enero	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Gas to Inicial	-\$ 52381,58						
Ingresos		\$ 35784,2	\$ 35784,2	\$ 35784,2	\$ 35784,2	\$ 35784,2	\$ 35784,2
Ahorro en insumos		\$ 61,84	\$ 61,84	\$ 61,84	\$ 61,84	\$ 61,84	\$ 61,84
Capacitaciones		-\$ 2867,1	-\$ 2867,1	-\$ 2867,1	-\$ 2867,1	-\$ 2867,1	-\$ 2867,1
Mantenimiento		-\$ 3823,7	-\$ 3823,7	-\$ 3823,7	-\$ 3823,7	-\$ 3823,7	-\$ 3823,7
<b>Caja Total</b>	<b>-\$ 52381,58</b>	<b>\$ 29155,2</b>	<b>\$ 29155,2</b>	<b>\$ 29155,2</b>	<b>\$ 29155,2</b>	<b>\$ 29155,2</b>	<b>\$ 29155,2</b>

<b>COK =</b>	14%
<b>VAN =</b>	US\$ 60993,53
<b>TIR =</b>	51%

Los resultados obtenidos de la Tabla VII muestran que la propuesta diseñada y posteriormente implementada es rentable y el proyecto totalmente viable para CMPSA.

## V. CONCLUSIONES

Identificando las causas más significativas que estaban mermando al proceso de explotación y sus indicadores, se ejecutó un correcto diseño de la planificación de minado y al implementarla generó un aumento considerablemente en: Cumplimiento de producción promedio de 94,83% de lo programado, productividad por tarea promedio de 2,7 TM/h-día siendo la meta 2,6 TM/h-día, reducción de costos logrando un promedio de US\$ 44,33 por TM siendo la meta US\$ 44,5 por TM, lo que finalmente generó un aumento de la productividad pasando de 61,5% a 92,5% y un ahorro del 14,53% que vendrían a ser US\$ 394214,58, validado por la prueba T Student con una confianza no menor al 95% dando viabilidad al proyecto.

Al realizar un análisis detallado de las condiciones y situaciones existentes del proceso de explotación, se pudo identificar de donde provenían las falencias producto mayormente de la mala gestión de las áreas competentes, generando mermas en la productividad de un 19%, cumplimiento de producción promedio de 72,8% y un aumento

de los costos operativos mensuales de US\$ 11647,6, estos datos fueron de gran utilidad para tomar el direccionamiento correcto al momento de diseñar el planeamiento de minado y posteriormente su implementación, teniendo especial cuidado en los tiempos de ejecución, producción y los costos operativos, para optimizar el proceso y aumento de la productividad.

Al valernos de una herramienta como el diagrama de Pareto, se pudo identificar las 5 causas que están siendo más perjudiciales para el proceso pues entre ellas generan el 79,4% de las frecuencias de las causas, el DAP para la descarga de mineral vienen siendo el correcto con un total de 7 actividades ejecutadas en 170 minutos, el cumplimiento de producción promedio ahora es de 94,83%, la productividad por tarea tiene un promedio de 2.7 TM/h-día siendo un 0,1 TM/h-día más de la meta planteada, los costos por TM ahora tienen un promedio de US\$ 44,33 siendo un US\$ 0,3 menos de la meta planteada, y finalmente todo estos datos impactaron en a la productividad de manera favorable pues se evidenció un aumento, pasando de 61,5% a un 92,5%, todo esto gracias al buen diseño e implementación del planeamiento de minado.

Al realizar la evaluación económica, el proyecto arrojó datos positivos debido a que se logró una variación en el ahorro de 14,53% respecto del año 2022, que en dinero es US\$394214,58 durante el 2023, con un COK de 14%, un VAN de US\$ 60993,53 y un TIR de 51%, datos que fueron validados con el análisis estadístico de la prueba T Student que nos arrojó una confianza no menor al 95%, todo esto nos indica que el proyecto es económicamente rentable.

## AGRADECIMIENTO

A dios por permitirme tener salud y fortaleza para seguir avanzando día a día, y a los ingenieros (amigos) que supieron brindarme su apoyo para poder resolver algunas interrogantes a lo largo de esta investigación.

## REFERENCIAS

- [1] Omar, N. (2018). Agenda 2030: La minería como motor de desarrollo económico para el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 8, 9, 12 y 17. Primera Edición. Disponible en: [https://www.up.edu.pe/egp/Documentos/agenda\\_2030\\_la\\_mineria\\_como\\_motor\\_de\\_desarrollo\\_economico\\_para\\_el\\_cumplimiento\\_de\\_los\\_ods\\_89\\_12\\_y\\_17.pdf](https://www.up.edu.pe/egp/Documentos/agenda_2030_la_mineria_como_motor_de_desarrollo_economico_para_el_cumplimiento_de_los_ods_89_12_y_17.pdf)
- [2] Gil, Z. y Moreno, I. (2021). Sistemas integrados de gestión en el sector minero. Disponible en: <https://doi.org/10.15332/24631140.6674>
- [3] Mamani, C. (2019). Caracterización del macizo rocoso para el diseño de sostenimiento en excavaciones subterráneas. Disponible en: <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/12371>
- [4] Jiménez, Y. (2012). Sistemas de clasificación para la caracterización del macizo rocoso. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/268442439.pdf>
- [5] Huarichi, H. (2020). Gestión de costos en la minería subterránea. Caso estudio: unidad minera El Porvenir. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12404/17264>
- [6] Ramírez, A. (2020). Plan de minado para optimizar la explotación de agregados en la cantera Astramacon – Ferreñafe 2018. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/40043>
- [7] Pimentel, E. (2020). Secuenciamiento del plan de minado a corto plazo para optimizar el método de explotación de taladros largos en la mina Raúl,

- compañía minera Condestable, Southern Peaks Mining Cañete - Lima 2019.  
 Disponible en: <http://repositorio.unamba.edu.pe/handle/UNAMBA/908>
- [8] Ticllasuca, E. (2019). Planeamiento de minado a corto plazo para optimizar la producción en la Unidad Minera Pallancata de Hochschild Mining S.A. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12394/7022>
- [9] Huerta, R. (2020). Planeamiento de minado subterráneo para incrementar la producción en la unidad minera Mallay compañía de minas Buenaventura S.A. – 2018.  
 Disponible en: <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/4194>
- [10] Ministerio de Energía y Minas (2023). Cartilla informativa – El proceso minero. Disponible en: <https://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/Mineria/PUBLICACIONES/CARTILLAS/2021/CARTILLA%204.pdf>
- [11] Consejo Internacional de Minería y Metales (2023). Disponible en: <https://www.icmm.com/engb/search?q=miner%C3%ADa+subterr%C3%A1nea&page=1&filter=98-spanish>
- [12] Santana, L. (2014). Diseño de malla para perforación y voladura de frentes utilizando modelo matemático de Holmberg e índice de volabilidad de Lylli. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12894/1340>
- [13] Palomino, H. (2016). Optimización del proceso de perforación y voladura en las labores de desarrollo, para mejorar la eficiencia en Compañía Minera Poderosa S.A. Disponible en: <https://dspace.unitru.edu.pe/server/api/core/bitstreams/31fbb453-8a36-47c9-98b5-fe08ec067d43/content>
- [14] Significado. (2013). Significado de Optimizar. Disponible en: [www.significados.com/optimizar/](http://www.significados.com/optimizar/)
- [15] Duque, J. (2017). Administración Financiera. Elementos del costo. Disponible en: <https://www.abcfinanzas.com/administracionfinanciera/elementos-del-costo>
- [16] Ramírez, M. (2018) Estrategias de exploración minera en Chile y estimación de costos.  
 Disponible en: <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/151529>
- [17] Diewert, W. (2012). The easurement of roductivity in the nonmarket sector. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s11123-011-0247-x>
- [18] Jung, Hye; Young, Sun Sung y Nam, Jin (2015), Mechanisms Underlying Creative Performance: Employee Perceptions of Intrinsic and Extrinsic Rewards for Creativity. Disponible en: <https://doi.org/10.2224/sbp.2015.43.7.1161>
- [19] ESAN (2016). Reducción de costos con eficiencia. Disponible en: <https://www.esan.edu.pe/conexion-esan/reduccion-de-costos-con-eficiencia>
- [20] Domínguez, P. (2015). Plan de minado a mediano plazo para una explotación superficial con la aplicación al proyecto Santa Este de la Unidad Minera Iscaycruz - Compañía Minera Los Quenuales.  
 Disponible en: <http://repositorio.unp.edu.pe/handle/UNP/961>
- [21] Hernández et al. (2014). Metodología de la investigación, Sexta Edición, Mc Graw Hill–México. Disponible en: [https://www.academia.edu/32697156/Hern%C3%A1ndez\\_R\\_2014\\_Metodologia\\_de\\_la\\_Investigacion](https://www.academia.edu/32697156/Hern%C3%A1ndez_R_2014_Metodologia_de_la_Investigacion)
- [22] Murillo, W. (2008). La investigación científica. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos15/investcientifica/investcientifica.shtm>