



## Implementación del método de hundimientos por subniveles para incrementar la productividad en la explotación de los yacimientos de carbón antracita del Callejón de Huaylas-2018

### Implementation the sublevel stopping method to increase productivity in the exploitation the anthracite coal deposits in Callejón de Huaylas-2018

RICARDO CAYO CASTILLEJO MELGAREJO <sup>1</sup>, JAVIER ENRIQUE SOTELO MONTES <sup>1</sup>, ANTONIO DOMÍNGUEZ FLORES <sup>1</sup>, WALTER ROMERO VEGA <sup>1</sup>, RAÚL EDGAR CASTILLEJO MELGAREJO <sup>1</sup> y LOURDES LIZ HUAMÁN ROMERO <sup>1</sup>

#### RESUMEN

El proyecto consiste en implementar el método de explotación de Hundimiento por subniveles en los yacimientos de carbón antracita ubicados en el departamento de Áncash, Perú. Este método permite mejorar la productividad, reducir los costos y garantizar la seguridad y salud ocupacional de los trabajadores. Para ello, se realizó la caracterización geomecánica del macizo rocoso y del mineral según el sistema propuesto por Bieniawski (RMR). Se obtuvieron valores de RMR techo 50, RMR piso 49 y RMR mineral 33, que indican las condiciones favorables para el método. Se compararon los indicadores de productividad (KPI) antes y después de la implementación del método, utilizando la prueba estadística t-student con un nivel de significación del 5 %. Se encontraron diferencias significativas en la mano de obra, explosivos, sostenimiento, consumo energético y consumo de aire comprimido. Se concluyó que el método de Hundimiento por subniveles es factible y beneficioso para los yacimientos de carbón antracita.

<sup>1</sup>Universidad Santiago Antúnez de Mayolo. Huaraz, Perú.

© Los autores. Este artículo es publicado por la Revista Aporte Santiaguino de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), que permite: **Compartir-copiar** y **redistribuir** el material en cualquier medio o formato, **Adaptar-remezclar**, **transformar** y **construir** a partir del material para cualquier propósito, incluso comercialmente.

**Palabras clave:** hundimiento por subniveles; productividad; macizo rocoso; recuperación.

## **ABSTRACT**

The project consists of implementing the sublevel sinking exploitation method in the anthracite coal deposits located in the department of Áncash, Peru. This method makes it possible to improve productivity, reduce costs and guarantee the occupational safety and health of workers. For this, the geomechanical characterization of the rock mass and the mineral was carried out according to the system proposed by Bieniawski (RMR). Values of RMR ceiling 50, RMR floor 49 and mineral RMR 33 were obtained, which indicate favorable conditions for the method. The productivity indicators (KPI) were compared before and after the implementation of the method, using the t-student statistical test with a significance level of 5 %. Significant differences were found in labor, explosives, support, energy consumption and compressed air consumption. It was concluded that the sublevel sinking method is feasible and beneficial for anthracite coal deposits.

**Keywords:** sublevel stopping; productivity; rock mass; recovery.

## **INTRODUCCIÓN**

El presente estudio analiza y determina si la implementación del método de explotación de hundimiento por subniveles favorece en los indicadores de productividad en la concesión minera Fernando Antonio F nivel Carlos 2880, así mismo es proponer a los productores de carbón antracita del departamento de Áncash el empleo de este método de minado utilizado ampliamente en la minería metálica.

Según [INGEMMET \(1983\)](#) el departamento de Ancash, es una de las regiones que tiene mayor abundancia del carbón del tipo antracita, localizados en las provincias de Yungay, Caraz, Sihuas, Pallasca, Chavin y Huallanca, Por otro parte [INGEMMET \(2020\)](#) establece que la formación Chimú (Ki-Chi) es la que alberga mantos de carbón del tipo antracita sobreyaciendo a la formación Oyón e infrayaciendo a la formación Santa, en el Chimú se han identificado seis mantos de carbón de los cuales solo dos son económicamente explotables.

Castillejo (2019) da cuenta que las características estructurales y geomecánicas de la concesión Fernando Antonio F son favorables, en la que se indica que el buzamiento varía de 32° a 35° con potencias de 4,5 m a 5,5 m las características geomecánicas en el techo corresponde a la categoría III regular, mientras que en el piso corresponde a la categoría IV mala. El problema radica en que todos los yacimientos son minados por sistemas de explotación convencional, es decir, por cámaras y pilares y sus variantes. En algunos yacimientos se practica el Shrinkage.

Hustrulid (2014) afirma que el método de hundimiento por subniveles es una de las técnicas más usadas en la minería metálica; Chile y Perú son los países que mejor han desarrollado esta metodología, el cual consiste en la construcción de un nivel de base y nivel de cabeza en donde se ubica el equipo de perforación de taladros largos que pueden ser perforados en paralelo o abanico (p.107).

Para FAMESA (2019) las ventajas que ofrece el método de hundimiento por subniveles con perforación de taladros largos es la gran seguridad, niveles altos de producción, menores daños a la pared residual y costos bajos por uso de accesorios y agentes de voladura (p. 312).

Según Gutiérrez (2003) demuestra que mediante la implementación del método de tajeos por subniveles en la mina Chipmo, ha permitido la mejora de la productividad, recuperación de los minerales y cumplir con las exigencias de producción. En los trabajos de la mina Azulcocha sostiene que la implementación del método de hundimiento por subniveles favorece de manera significativa la recuperación, productividad, dilución y estabilidad de los trabajos subterráneos (Carhuamaca, 2018).

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

Para el presente trabajo se tuvo en cuenta los siguientes pasos: evaluación geomecánica, evaluación estructural, propiedades mecánicas y recolección de la información. Es así Para la evaluación geomecánica de las rocas encajonantes y el mineral, se procedió con el mapeo geo estructural bajo las consideraciones de propuestas por Bienawski *Rock mass Rating* (Índice de calidad de la masa rocosa), Para la evaluación estructural de dirección y buzamiento se realizó con la brújula Brunton azimutal, para la determinación de la resistencia compresiva se realizó mediante los ensayos en el laboratorio de mecánicas de Rocas de la FIMGM-UNASAM. Para la recolección de la información de consumos, de explosivo y madera se procedió a la revisión de los CARDEX electrónicos, para el consumo energético y aire comprimido se realizó mediante la revisión de

los *Check list* (Lista de verificación) de los equipos de propiedad de la minera San Roque FM SAC. La técnica empleada para la investigación es la observación y el instrumento es la ficha de observación. El tipo de investigación es aplicada con alcance experimental, para el antes se considera de corte transversal puesto que el recojo de la información se realizó en un momento determinado y para el después de corte longitudinal. La aplicación de esta metodología nos permitió realizar un análisis cuantitativo sobre los indicadores de desempeño *Key performance indicator* (Indicadores de desempeño) para luego ser tabulados en Excel y alimentado al programa estadístico SPSS versión 22, para el análisis se utilizó la prueba estadística *t-Student*, si cumple con el requisito de normalidad con un nivel de significación del 5 % ( $p < 0,05$ ).

### **Población**

La población de estudio abarcará las minas de carbón antracita ubicadas en el Callejón de Huaylas, como son las zonas de Caraz, Yungay, Sihuas, Chavin y Huallanca.

### **Muestra**

Para un mejor trabajo de investigación, como muestra se tomó la mina Fernando Antonio F, ubicada en el distrito de Mancos, provincia de Yungay y departamento de Ancash.

## **RESULTADOS**

**Tabla 1**

*Caracterización Geomecánica de las rocas encajonantes Fernando Antonio F-NV-2880- según RMR*

Parámetro	Caja techo		Caja piso	
	Descripción	Valor	Descripción	Valor
Resistencia a la compresión simple	55 Mpa	7	60 Mpa	7
RQD	60 %	13	75 %	17
Espaciamiento de las discontinuidades	0,4 m	10	0,6 m	10
Estado de las discontinuidades	Rugosa	20	Lig. Rugosa	15
Presencia de aguas subterráneas	Seco	0	Seco	0
Orientación de las discontinuidades	Muy Favorable	0	Muy Favorable	0
		50		40

Como muestra la tabla 1, según la clasificación geomecánica de Bienawski, la caja techo corresponde a la categoría de III roca Regular, mientras que la caja Piso corresponde a la categoría IV mala.

**Tabla 2**

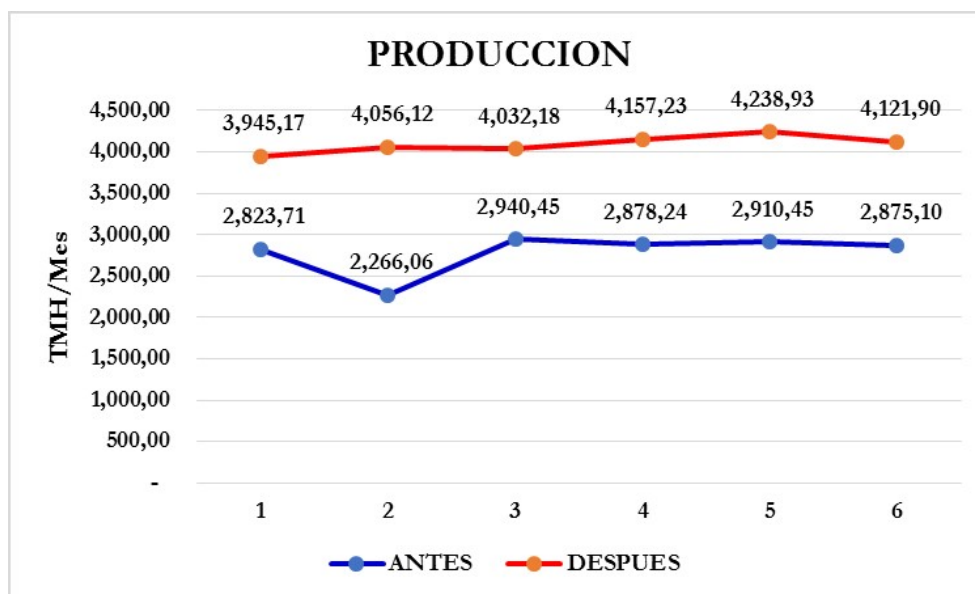
*Caracterización Geomecánica del mineral de Fernando Antonio F-NV-2880-según RMR*

Parámetro	Mineral	
	Descripción	Valor
Resistencia a la compresión simple	45 Mpa	4
RQD	45 %	6
Espaciamiento de las discontinuidades	0,35 M	10
Estado de las discontinuidades	Lig. Rugosa	15
Presencia de aguas subterráneas	Seco	0
Orientación de las discontinuidades	Favorable	0
		33

Como muestra en la tabla 2, según la clasificación geomecánica de Bienawski, se observa que el mineral corresponde a la categoría V muy mala. Este valor nos permite que la implementación del método de Hundimiento por subniveles bajo las condiciones geoestructurales sean favorables.

**Figura 1**

*Producción de mineral antes y después de la implementación de método de Hundimiento por sub niveles*



Como muestra la Figura 1, la producción de los minerales de carbón antracita se incrementó de un valor promedio de 2782,34 a 4091,12 representando 31,99 % más, esta es una de las características del método de hundimiento por subniveles al ser masivo genera mayor volumen de producción.

**Tabla 3**

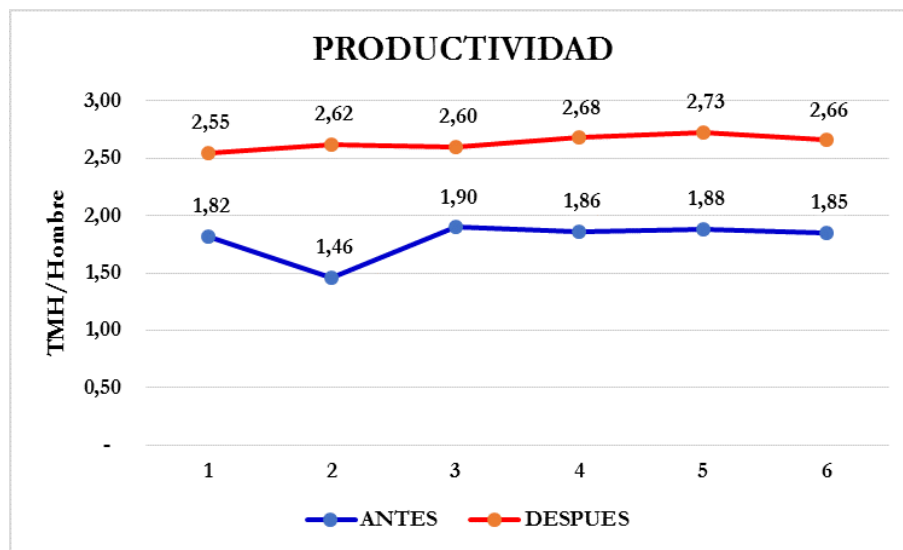
*Caracterización Geomecánica del mineral de Fernando Antonio F-NV-2880-según RMR*

Producción	Media	D.E	Prueba t-Student para las diferencias de medias	Valor de P
Antes	2782,34	255,92	-11,626	0,0000
Después	4091,92	103,11		

Al realizar el análisis estadístico con la prueba t-Student para determinar si existe diferencia significativa en cuanto a la producción antes y después de la implementación del método de Hundimiento por subniveles, se observa que las diferencias son estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ), por lo que se puede afirmar que la implementación del nuevo método de minado favorece significativamente en la producción de los minerales de carbón antracita.

**Figura 2**

*Productividad del trabajador antes y después de la implementación de método de Hundimiento por subniveles*



La productividad del trabajador representa la suma de toda la fuerza laboral en la empresa San Roque FM SAC, es decir, mano de obra directa e indirecta, operaciones, administración y gerencia, cuantificado de forma mensual.

Como muestra la Tabla 4, La productividad de la mina se incrementó de un valor promedio de 1,80 TMH/Hombre a 2,64 TMH/Hombre, representando un incremento del 46,66 %. Al realizar el análisis estadístico con la prueba t-Student, se observa que las diferencias son estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ), por lo que se puede afirmar que la implementación del nuevo método de minado favorece significativamente en la productividad.

El factor de Carga es uno de los indicadores de desempeño el cual relaciona el consumo total de

*Implementación del método de hundimientos por subniveles para incrementar la productividad en la explotación de los yacimientos de carbón antracita del Callejón de Huaylas -2018*

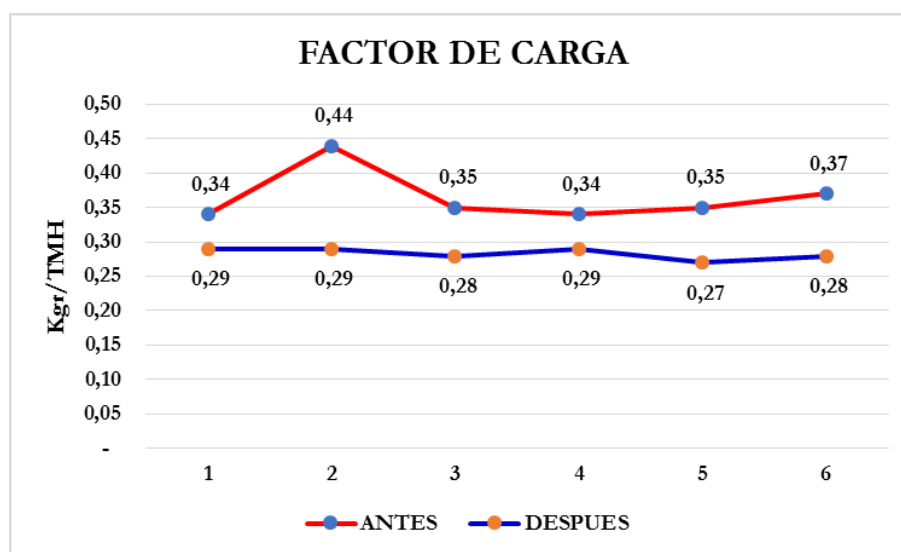
**Tabla 4**

*Validación de la productividad en la Mina Fernando Antonio F*

Productividad (TMH/Hombre)	Media	D.E	Prueba t-Student para las diferencias de medias	Valor de P
Antes	1,8	0,17	11,623	0,0000
Después	2,64	0,07		

**Figura 3**

*El factor de carga antes y después de la implementación de método de Hundimiento por sub niveles*



explosivos y agente de voladura con respecto al nivel de producción registrada en el mes, como se observa hay una sustancial reducción lo que significa que estamos usando menos explosivos con la implementación del método de hundimiento por subniveles.

**Tabla 5**

*Validación del factor de carga en la Mina Fernando Antonio F*

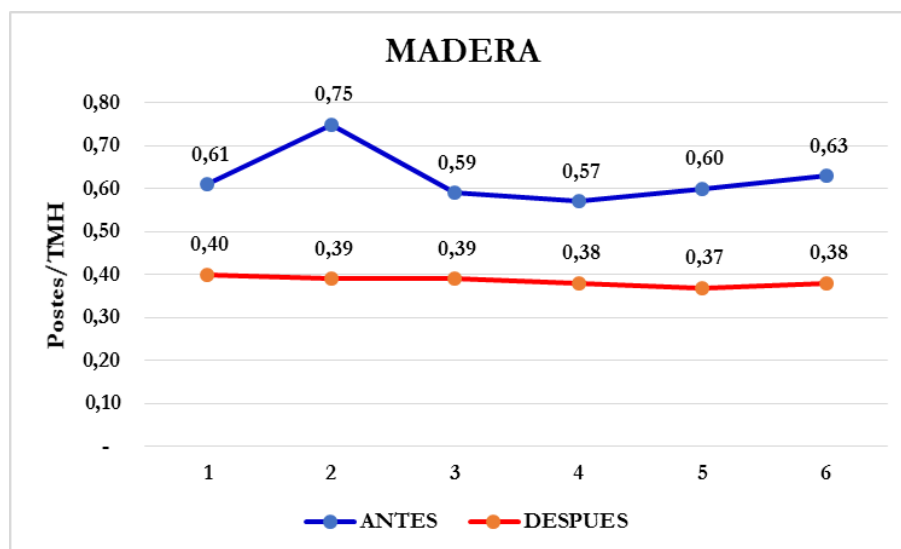
Factor de Carga (Kgr/TMH)	Media	D.E	Prueba t-Student para las diferencias de medias	Valor de P
Antes	0,37	0,04	5,103	0,0000
Después	0,28	0,01		

Muestra el factor de carga en la mina Fernando Antonio F, se redujo de un valor promedio de 0,37 Kgr/TMH a 0,28 Kg/TMH, representando una disminución del 24,32 %. Al realizar el análisis estadístico con la prueba t-Student, se observa que las diferencias son estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ), por lo que se puede afirmar que la implementación del nuevo método de minado favorece significativamente en el factor de carga.

Las maderas de eucalipto son de uso para la fortificación de las labores subterráneas como mues-

**Figura 4**

Consumo de Madera de Eucalipto como elemento de soporte en la mina Fernando Antonio F antes y después de la implementación de método de Hundimiento por sub niveles



tra la figura 4 hay una reducción por tonelada producida lo que significa este método es importante porque reduce la deforestación de los bosques de eucalipto en la región.

**Tabla 6**

Validación del factor de carga en la Mina Fernando Antonio F

Madera (Postes/TMH)	Media	D.E	Pruba t-Student para las diferencias de medias	Valor de P
Antes	0,62	0,06	9,007	0,0000
Después	0,39	0,01		

Como se muestra el consumo de maderas de eucalipto se redujo de 0,62 Postes/TMH a 0,39 Postes/TMH, representando una reducción del 37,10 %. Al realizar el análisis estadístico con la prueba t-Student, se observa que las diferencias son estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ), por lo que se puede afirmar que la implementación del nuevo método de minado favorece significativamente en la reducción del consumo de maderas de eucalipto en la fortificación de la mina.

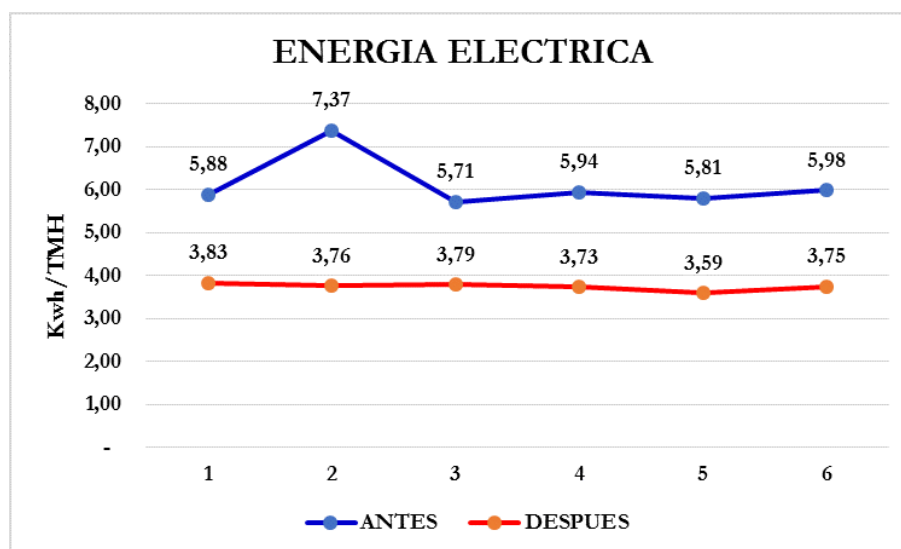
La energía eléctrica es uno de los recursos que uno tiene que ser eficiente en su consumo, este es para la generación de aire comprimido, ventilación, Cargadores de batería a corriente continua, Bombeo e iluminación, como se muestra la reducción es sustancial.

Como se muestra en el cuadro precedente, el consumo energético en el minado de la concesión Fernando Antonio F se ha reducido de 6,12 Kwh/TMH a 3,74 Kwh/TMH, representando una reducción del 38,82 %. Al realizar el análisis estadístico con la prueba t-Student, se observa que



**Figura 5**

Consumo Energético en el minado del yacimiento Fernando Antonio F antes y después de la implementación de método de Hundimiento por sub niveles



**Tabla 7**

Validación del consumo energético en la Mina Fernando Antonio F

Energía (Kwh/TMH)	Media	D.E	Prueba t-Student para las diferencias de medias	Valor de P
Antes	6,12	0,62	9,262	0,0000
Después	3,74	0,08		

las diferencias son estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ), por lo que se puede afirmar que la implementación del nuevo método de minado favorece significativamente en la reducción del consumo energético en el proceso de minado.

**Tabla 8**

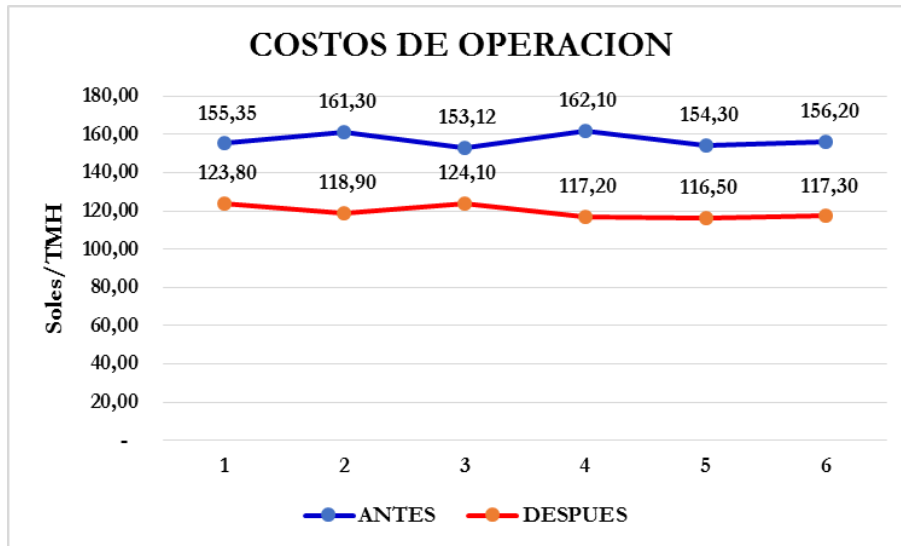
Validación del costo de operación en la Mina Fernando Antonio F

Costo S/TMH	Media	D.E	Prueba t-Student para las diferencias de medias	Valor de P
Antes	157,06	3,75	18,034.00	0,0000
Después	119,63	407,12		

Uno de los parámetros a tener presente en la gestión de operaciones es el Costo, Como se muestra en la presente Tabla, los costos del minado en la concesión Fernando Antonio F se ha reducido de 157,06 S/TMH a 119,63 S/TMH, representando una reducción del 23,83 %. Al realizar el análisis estadístico con la prueba t-Student, se observa que las diferencias son estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ), por lo que se puede afirmar que la implementación del nuevo método de minado favorece significativamente en la reducción de los costos de operación en el proceso de

### Figura 6

Costo total de operación en el minado del yacimiento Fernando Antonio F antes y después de la implementación de método de Hundimiento por sub niveles



minado.

## DISCUSIÓN

La industria extractiva se caracteriza por cuidar el ratio más importantes que se llama productividad, cuyo concepto es, que resultados tengo con los recursos que se ha utilizado, esto nos conduce a determinar si he usado correctamente los recursos que son, personas, explosivos, energía, madera, aceros de perforación, aire comprimido, dinero, etc., y es de suma importancia que todos estos recursos estén bien utilizados en la organización y definitivamente siendo productivos la organización es más competitiva.

Según [González \(2002\)](#) la caracterización geomecánica del yacimiento nos permite clasificar si el macizo rocoso reúne condiciones para seleccionar un determinado método de explotación, en la investigación se determinó que las condiciones geomecánicas del yacimiento Fernando Antonio F permite con éxito la placabilidad del método de hundimiento por subniveles. Por otra parte [FAMESA \(2019, p.315\)](#) da cuenta que el método de explotación por subniveles es factible el uso de taladros en abanico, los cuales deben ser perforados desde un punto concéntrico imaginario a 360°, en la investigación se ratificó, la perforación en los tajos de producción del NV Carlos 2880 la perforación se realizó mediante equipos rotativos ZITRON con barras extensibles.

Según [Hustrulid \(2014\)](#) señala que los métodos de explotación masiva generan tasas importantes de producción a bajos costos, en la investigación se ratificó, puesto que la aplicación del método de hundimiento permitió incrementar la producción en 31,99 % y una reducción de costo total de producción en 23,83 % (p.113).

Para [Corral \(2010\)](#) los indicadores de desempeño está asociado al incremento del nivel de producción y el número total de colaboradores que participan directa e indirectamente en el proceso productivo, en la investigación se determinó que los KPIs con la implementación del método de hundimiento se logró reducir, el factor de carga en 24,32 %, el consumo de madera en 37,10 %, metros perforados en 33,33 %, el consumo energético en 38,82 % y el consumo de aire comprimido en 46,76 % así mismo se logró incrementar la eficiencia por trabajador en 46,66 %.

[Gutiérrez \(2003\)](#) concluye que la implementación del método de hundimiento por subniveles en la mina Chipmo se logró la mejora de la productividad y recuperación de los minerales, con la presente investigación hay concordancia puesto que se incrementó la productividad por persona en 46,66 %.

Según [Bustamante \(2018\)](#) concluye el éxito de la prueba piloto del método de Hundimiento por subniveles desarrollada en la Mina Carahuacra de la minera Volcan en la que se logró tasas altas de producción y recuperación, la presente investigación ratifica las conclusiones puesto que en la mina Fernando Antonio F se logró incrementar la producción en 31,99 %. [Sotoudeh et al. \(2020\)](#) afirman que la industria minera continúa enfrentando el agotamiento de leyes por lo que se exige el incremento de la producción para la mejora de la rentabilidad, por lo que consideran que el método de subniveles es el método más versátil y productivo que se utiliza en minería subterránea, la presente investigación ratifica los comentarios en la que se ha logrado reducir los costos de minada de 157,06 S/TMH a 119,63 S/TMH.

## **CONCLUSIONES**

Los resultados obtenidos en los rubros anteriores nos conducen a sacar algunas conclusiones que serán dadas en forma resumida. Con los indicadores de desempeño que se han detallado en la etapa de resultado concluimos que las características geomecánicas de las rocas en encajonantes y mineral permiten implementar con éxito el método de hundimiento por subniveles con perforación en abanico, así mismo los ratios de consumo de horas hombre, explosivos, madera, aire comprimido y finalmente los costos de producción nos indica que la implementación

del método de Hundimiento por subniveles incrementa la productividad de la concesión minera Fernando Antonio F, yacimiento de carbón antracita ubicado en el distrito de Mancos, provincia de Yungay y departamento de Ancash.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Bustamante, A. (2018). Prueba piloto en la ejecución del slot del método de explotación sub level caving en compañía minera Volcan - unidad Carahuacra, Cerro de Pasco: Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.
- Carhuamaca, J. (2018). Método de minado Sub level Caving (SLC) para mejorar la recuperación de la mina Azulcocha- Concepción Industrial S.A.C. Huancayo: Universidad del Centro del Perú.
- Castillejo, R. (2019). Plan de Minado Fernando Antonio F. Yungay: San Roque FM SAC.
- Corral, R. (2010). Los Indicadores de desempeño KPIs operativos y estratégicos. España: Leex-life.
- FAMESA. (2019). Manual de perforación y voladura. Lima: FAMESA Explosivos.
- González, I. (2002). Ingeniería Geológica. España: Prentice Hall.
- Gutiérrez, H. (2003). Proyecto de ampliación del método tajeo por subniveles en el tajo 420-380 en mina Chipmo U.E.A. Orcopampa. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Hustrulid, W. (2014). Underground mining. Sweden: Atlas Copco.
- INGEMMET. (1983). El carbón en el Perú. Lima: INGEMMET
- INGEMMET. (2020). Evaluación geológica Anantigua - Shancayan. Lima: INGEMMET.
- Sotoudeh, F., Nehring, M., Kizil, M., Knights, P., y Mousavi, A. (2020). Production scheduling optimisation for sublevel stoping mines using mathematical programming: A review of literature and future directions. *Resources Policy*, 68, 101809. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2020.101809>

Fecha de recepción: 23/05/23

Fecha de aceptación: 31/08/23

*Implementación del método de hundimientos por subniveles para incrementar la productividad en la explotación de los yacimientos de carbón antracita del Callejón de Huaylas -2018*

**Correspondencia**

Ricardo Cayo Castillejo Melgarejo

rcastillejom@unasam.edu.pe