

Material didáctico para calcular el pasaporte de perforación y voladura de las excavaciones subterráneas

Luis Alberto Ramírez Meléndez

lrmelendez@ismm.edu.cu

Gianna Banesa Moya Rivera

Universidad de Moa

Resumen: Se elaboró un material didáctico que permite calcular el pasaporte de perforación y voladura de las excavaciones subterráneas horizontales y verticales. Se diseñó una Hoja Electrónica de Cálculo en Excel que permitió facilitar el cálculo del pasaporte de perforación y voladura de excavaciones subterráneas verticales y horizontales para los diferentes tipos de secciones. Se utilizó el método de análisis y síntesis, métodos matemáticos y el programa informático AutoCAD Civil 3D. Se elaboraron las plantillas para el procesamiento de los resultados de los diferentes tipos de secciones. El material creado puede ser empleado por las industrias mineras y constructoras para darle soluciones al tema de los materiales de la construcción como a las infraestructuras.

Palabras claves: excavaciones horizontales; excavaciones verticales; hojas electrónicas de cálculo; excavaciones subterráneas; plantillas word.

Didactic material to calculate the passport of drilling and blasting of underground excavations

Abstract: A didactic material was elaborated that allows calculating the drilling and blasting passport of horizontal and vertical underground excavations. An Excel Electronic Calculation Sheet was designed to facilitate the calculation of the drilling and blasting passport for vertical and horizontal underground excavations for the different types of sections. The analysis and synthesis method, mathematical methods and the AutoCAD Civil 3D computer program were used. Templates for processing the results of the different types of sections were prepared. The material created can be used by the mining and construction industries to provide solutions to the issue of construction materials as well as infrastructures.

Keywords: horizontal excavations; vertical excavations; electronic spreadsheets; underground excavations; word templates

Introducción

Los materiales didácticos son aquellos elementos o dispositivos empleados como mediador del proceso enseñanza aprendizaje (Angarita, Fernández & Duarte, 2014). Son medios curriculares que por sus sistemas simbólicos y estrategias de utilización, propician el desarrollo de habilidades cognitivas en los sujetos, en un contexto, determinado, facilitando y estimulando la intervención mediada sobre la realidad, la captación y comprensión de la información por el alumno y la creación de entornos diferenciados que propician aprendizajes (Bautista, Martínez & Hiracheta, 2014).

La incursión de las tecnologías de la información y la comunicación en la educación (TIC) ha permitido la aparición de diversos materiales didácticos basados en el computador (Niño & Fernández, 2019). El uso de las diversas herramientas TIC's en el entorno educativo otorga no sólo múltiples ventajas, sino que ofrece una alta flexibilidad de tiempo y espacio, permiten crear materiales didácticos que apoyen el aprendizaje de los estudiantes así como también mejorar la calidad de la educación y amplían las oportunidades de acceso al conocimiento (Bautista, Martínez & Hiracheta, 2014).

Los materiales didácticos virtuales son los portadores de los contenidos digitales, los cuales deben posibilitar el aprendizaje y se convierten a su vez en transmisores del conocimiento. Los materiales didácticos son aquellos que reúnen medios y recursos que facilitan la enseñanza y el aprendizaje. Suelen utilizarse dentro del ambiente educativo para facilitar la adquisición de conceptos, habilidades, actitudes y destrezas (Torres & García, 2019).

Las universidades que tienen procesos formativos presenciales pueden conceder una gran relevancia a la producción de contenidos desde el desarrollo de materiales didácticos virtuales con la utilización de las diversas herramientas tecnológicas y trabajo desde la virtualidad con las TIC; aspecto que puede favorecer el desarrollo de tales procesos (Torres & García, 2019).

Para que un material didáctico resulte efectivo y propicie una situación de aprendizaje exitosa debe tener en cuenta su calidad objetiva y en qué medida sus características específicas (contenidos, actividades) están en consonancia con determinados aspectos curriculares del contexto educativo:

- Los objetivos educativos que se pretenden lograr.
- Los contenidos que se van a tratar utilizando el material
- Las características de los estudiantes.
- Las características del contexto en el que se desarrolla la docencia y donde se debe emplear el material didáctico seleccionando.
- Las estrategias didácticas que se pueden diseñar considerando la utilización del material.

El cálculo de perforación y voladura es de suma importancia en los trabajos mineros de excavaciones. El arranque de las rocas durante el laboreo de túneles con el empleo de la perforación y voladura se realiza a través de cálculos que permiten diseñar patrones de ubicación de las cargas en los frentes de estas excavaciones subterráneas (Diéguez, Sargentón & Otaño (2014) por lo que es útil una herramienta que le permita a los estudiantes la tarea. Este trabajo propone el diseño de un material didáctico para calcular el pasaporte de perforación y voladura de las excavaciones subterráneas.

El material didáctico para el cálculo del pasaporte de perforación y voladura tiene la ventaja que el estudiante será capaz de trabajar de forma individual de acuerdo a la sección tipo que le corresponde realizar en el proyecto. Además de la automatización de los cálculos y la secuencia de ecuaciones. Por otro lado se pretende que cada estudiante de su criterio en cuanto a los resultados y compararlos con las notas de clase dadas por el profesor.

Materiales y métodos

Se utilizó el método Análisis y síntesis en la recopilación de documentos de la asignatura Fragmentación de las Rocas con Explosivos. Trabajos antes realizados y el estado actual de la investigación. Se utilizaron métodos matemáticos para la elaboración de la Hoja Electrónica de Cálculo en Excel. Donde se planteó las ecuaciones para el cálculo de los parámetros de cada una de las secciones y se utilizó el programa informático AutoCAD Civil 3D 2018 en Español.

Se recopilaron todas las ecuaciones necesarias para el cálculo de los parámetros de los diferentes tipos e secciones.

Según Candombo & Manuel (2019) para el diseño de voladuras en el laboreo de excavaciones subterráneas horizontales se considera las propiedades de las rocas, las características mecánico-estructurales del macizo, las propiedades de las sustancias explosivas y la acción de la explosión de éstas sobre el macizo rocoso. El software obtenido es el PreminFrag-LC validado por Diéguez (2014) en el tramo II del túnel Levisa-Mayarí. Barrera (2017), desarrolló una aplicación para el sistema operativo móvil ANDROID que pueda predecir los resultados de fragmentación aplicando el modelo de Kuz-Ram modificado. Con el objetivo de facilitar el diseño de una sección de un túnel Sena (2013), desarrolló una herramienta que se denomina - X-Tunnel v.Beta. Utilizando el Método Sueco de diseño voladuras en túnel, el modelo de Kuz-Ram modificado para la predicción de los fragmentos y su programación fue desarrollado en Excel haciendo uso de macros.

El uso de hojas electrónicas de cálculo ha sido validado por Espinoza (2004), Morales & Del Carmen (2020) y Rangel & Ortiz (2022) como medio de enseñanza en especialidades técnicas.

Resultados y discusión

Se obtuvo como resultado una Hoja Electrónica de Cálculo en Excel que permitió calcular los pasaportes de perforación y voladura de excavaciones subterráneas horizontales y verticales, y se elaboraron las plantillas en formato Word para el informe de los resultados obtenidos según la sección tipo (Figuras 1-5).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1											
2		Dimensiones de la excavación									
3		B (m)	4,4				1.	Número de barrenos			
4		b (m)	2,2					N=	49,00		
5		Área (m2)	19,80					N real	49		
6		Perímetro (m)	17,22				2.	Número de barrenos por grupo			
7		fortaleza	12					Nc	14	Nota 1	
8		h (m)	6					Ncreal	14		
9		α	80					Na	7		
10								Nco real	28		
11		Datos de la sustancia explosiva									
12		Diámetro de los cartuchos (cm)		3,2				Rectificar que la suma de Nc+Na+Nco=N real			
13		Masa de los cartucos kg		0,2					49	VERDADERO	
14		Longitud de los cartuchos (m)		0,25			3.	Profundidad de los barrenos			
15		Densidad p		1				P'	2,2		
16								P	2,5		
17		Diámetro de los barrenos (cm)		3,6	0,036 m						
18		q	1,6	Tabla 6.5 pág. 126			4.	Magnitud de la carga por un ciclo			
19		y	0,8	Tabla 6.7 pág. 127				Q	69,70	kg	
20		δ	0,9	Valor estimado			5.	Masa media			
21								qm	1,42	kg	
22							6.	Masa de carga por cada grupo			
23		Seno de 80	0,98480775					Corte			

Figura 1. Ejemplo de la Hoja Electrónica de Cálculo realizada.

	A	B	C	D	E
1					
2		Dimensiones de la excavación			
3		B (m)	6,2		
4		l (m)	2,8		
5		Área (m2)	17,36		
6		Perímetro (m)	16,40		
7		fortaleza	5		
8					
9					
10					
11		Datos de la sustancia explosiva			
12		Diámetro de los cartuchos (cm)		3,2	
13		Masa de los cartucos kg		0,2	
14		Longitud de los cartuchos (m)		0,25	
15		Densidad p		1	
16					
17		Diámetro de los barrenos (cm)		3,6	0,036 m
18		q	2,5	Tabla 6.5 pág. 126	
19		y	0,6	Tabla 6.7 pág. 127	
20		δ	1	Valor estimado	
21					

Figura 2. Datos de la sección transversal, sustancia explosiva y coeficientes necesarios.

11.	Cálculo de los índices técnico-económicos	
	Avance por ciclo	
	I	1,8 m
	Metros cúbico de roca a arrancar	
	Vr	31,25 m ³
	Cantidad de metros de perforación	
	Lp	167,19 m
	Metros de perforación por metro de avance	
	Lp'	92,88 m/m
	Metros de perforación por metro cúbico de roca a arrancar	
	Lp''	5,35 m/m ³
	Gasto de SE por metro de avance	
	GI	43,56 kg/m
	Gasto de SE por metro cúbico de roca a arrancar	
	Gv	2,51 kg/m ³
	Gasto de detonadores por metro de avance	
	Ndl	49,44
	Gasto de detonadores por metro cúbico de roca a arrancar	
	Ndv	2,85
12.	Volumen de relleno	
	Área de los barrenos	
	A	0,0010174 m ²
	Lrc	0,88
	Vrc	0,0179062 m ³
	Lra	0,675
	Vra	0,0206024
	Lrco	0,81
	Vrco	0,0321397
	Volumen total	
		0,0706483 m ³

Figura 3. Cálculo de los índices técnicos económicos y el volumen de material de relleno.

Nro. de Barrenos	Grupos de Barrenos	Longitud de los Barrenos (m)	Ángulo de Inclinación (°)		Magnitud de Carga		Coeficiente de Llenado	Tipo de Detonador	Intervalos de Retardo (ms)	Orden de Detonación
			Vertical	Horizontal	Kg	Nro. de Cartuchos				
1 8	Corte	2,13	70	-	1,056	5	0,59	NONEL (Exel ^{MS})	25	I
9 12	Arranque	1,8	-	-	0,88	4,5	0,63	NONEL (Exel ^{MS})	50	II
13 28	Contorno	1,81	85	-	0,792	4	0,55	NONEL (Exel ^{MS})	75	III

Figura 4. Parámetros de la carga en los barrenos.

Índice	Unidad	Cantidad
Sección de la excavación	m ²	17,36
Fortaleza de la roca según Protodiakonov	...	12
Máquina perforadora		
Tipo	Cantidad	U
		3
Dispositivo de instalación		
Tipo	Cantidad	U
		3
Coronas		
Tipo	Cantidad	U
		3
Número de barrenos por ciclo	Total	U
		89
	Corte	U
		20
	Arranque	U
		30
	Contorno	U
		39
Cantidad de metros de perforación		
	Total	m
		167,19
	Corte	m
		42,6
	Arranque	m
		54
	Contorno	m
		70,59
Coefficiente de utilización de los barrenos	...	0,9
Gasto de SE	Total	kg
		78,41
Tipo	Por metro cúbico	kg
		2,51
	Por metro de avance	kg
		43,56
Medios de explosión		
Tipo de detonadores	Instantáneos	U
		20
	Microrretardados	U
		69
	Por metro de avance	U
		49,44
	Por metro cúbico	U
		2,85
Material de relleno		
Tipo	m ³	0,07064826
Avance del frente por ciclo	m	1,8
Salida de roca por ciclo	m ³	31,25

Figura 5. Resumen de los cálculos del pasaporte de perforación y voladura.

El material elaborado facilita a los estudiantes de Ingeniería de Minas enfrentarse al proyecto de *Fragmentación de las Rocas con Explosivos* donde se sigue la metodología de cálculo descrita por Otaño, (2014). Es una forma de ayuda cognoscitiva al estudiante para que a su vez sepa tomar las decisiones correctas en un momento dado de su vida como profesional. Es de fácil comprensión para el estudiante en dependencia de su nivel de aprensión. Es de ayuda para la sociedad debido a que puede ser empleados por las industrias mineras y constructoras para darle soluciones al tema de los materiales de la construcción como a las infraestructuras.

Conclusiones

Se estudiaron las características de redacción de los materiales didácticos que permitió la elaboración de la Hoja Electrónica de Cálculo.

Se elaboró las plantillas en formato Word para el informe de los resultados obtenidos según la sección tipo.

Se elaboró el material didáctico que permitió calcular el pasaporte de perforación y voladura para excavaciones horizontales y verticales.

Este material permite a los estudiantes de Ingeniería en Minas enfrentarse al proyecto de Fragmentación de las Rocas con Explosivos

Referencias bibliográficas

ANGARITA, R. D., DUARTE, J. E., & FERNÁNDEZ, F. H. (2018). Desarrollo de un MEC para la creación de cultura ciudadana sobre el uso del recurso hídrico en estudiantes de educación básica. *Revista Espacios*, 39 (15), 19.

BARRERA, L. D. (2017). Validación del modelo Kuz-Ram para optimizar la fragmentación de roca por voladura. Universidad Nacional Autónoma de México.

BAUTISTA, M. G., MARTÍNEZ, A. R. & HIRACHETA, R. (2014). El uso de material didáctico y las tecnologías de información y comunicación (TIC's) para mejorar el alcance académico. *Ciencia y Tecnología*, 14, 183-194.

CANDOMBO, L. & MANUEL, J. (2019). *Desarrollo de un Software para el diseño de voladuras en el laboreo de excavaciones subterráneas horizontales* (Doctoral dissertation, Departamento de Minas).

DIÉGUEZ, Y., OTAÑO, J., SARGENTÓN, G. (2014). Diseño de voladuras de contorno en túneles *Minería y Geología*, 30(3), 49-66.

ESPINOZA, J. L. (2004). Usos didácticos de la hoja electrónica Excel. *Revista virtual matemática, educación e internet*, 5(2).

MORALES, M. & DEL CARMEN, G. (2020). Percepción del profesorado y el alumnado universitario de la formación temprana en investigación científica. *Actualidades investigativas en educación*, 20(3), 71-91.

NIÑO, J. & FERNÁNDEZ, F. H. (2019). Una mirada a la enseñanza de conceptos científicos y tecnológicos a través del material didáctico utilizado. *Revista Espacios*, Vol. 40(15), 4.

OTAÑO, J. (2014). *Fragmentación de rocas con explosivos*. Editorial Universitaria Félix Varela.

RANGEL ARZOLA, J. E. & ORTIZ J. (2022). Modelación matemática lineal y videos en la formación de ingenieros. *Matemáticas, educación y sociedad*, 5(3), 40-49.

SENA LEITE, FRANCISCO (2013). *Desarrollo de una Herramienta para el Diseño de Voladuras en Túneles*. Trabajo de diploma. Universidad Politécnica de Madrid

TORRES, T. & GARCÍA, A. (2019). Reflexiones sobre los materiales didácticos virtuales adaptativos. *Revista cubana de educación superior*, 38(3).