

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



XII SIMPOSIO INTERNACIONAL DE ESTRUCTURAS Y
GEOTECNIA 2019
III COLOQUIO DE INGENIERIA VIAL Y OBRAS DEL
TRANSPORTE

Título

Procedimiento y Diseño Automatizado de Voladuras para la Explotación de
Préstamos de Tierra y/o Rocas.

Title

Procedure and automatized design of blowing-ups for the exploitation of earthen loans
and/or rocks.

Ing. Jesús Alberto Ramírez Caraballo¹, Ing. Ernesto Antonio Medina Sánchez²

1-Empresa Constructora Militar Campaña de las Villas, Cuba, jesus@ecmcv.co.cu

2-Empresa Constructora Militar Campaña de las Villas, Cuba, emedinas@nauta.cu

Resumen:

La actividad de explotación de préstamos es fundamental para la construcción de obras de ingenierías como las explanadas, terraplenes y pedraplenes. Para ello comúnmente, se emplean métodos y técnicas de voladuras a cielo abierto que permiten extraer el material deseado de acuerdo a la granulometría especificada. Estas técnicas de explotación de préstamos en nuestro país no se encuentran descritas en ninguna normativa, lo que da lugar en muchas ocasiones a que se ejecuten procesos ineficientes en estos trabajos, generando en muchos casos, gastos excesivos en sustancia explosiva, sobredimensionamiento del material volado, apariciones de lomos, taludes inestables y grandes niveles de vibraciones y polvo, ocasionando elevados costos de producción y considerables daños medioambientales. Con el objetivo de minimizar estos aspectos indeseables mencionados con anterioridad, así como facilitar una guía metodológica

Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
II CONVENCION CIENTÍFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



basada en las buenas prácticas latinoamericanas en estos tipos de escenarios constructivos, se confecciona esta ponencia, que facilita un proceso de cálculo de manera automatizada de las voladuras, evaluar las mismas y en caso de que sea necesario obtener un grupo de medidas de corrección y ajuste para tiros futuros. Se aplican metodologías especificadas en el Manual de Diseño de ULAEX y de EXSA, empleando métodos de programación en el software Mathcad 14.0.

Palabras Clave: Línea de Menor Resistencia, Carga Explosiva, Escalón, Proyección.

Abstract:

The activity of exploitation of loans is fundamental for the construction of works of engineering like the esplanades and embankments. For it commonly, they use methods and techniques of open-cast blowing-ups that they enable extracting the material desired according to the specified classification by size of particles. These techniques of exploitation of loans at country do not find described in no ground rules, that makes room in many instances to that they execute inefficient processes in these works, generating in many instances, excessive expenses in explosive substance, over-sizing of the flown material, appearances of loins, unstable slopes and big levels of vibrations and dust, causing lofty production costs and considerable environmental damages. For the sake of minimizing these undesirable aspects mentioned beforehand, as well as making a guide easy metodológica based in the good Latin American practices in these types of constructive scenes, this postulate, that makes easy a process of calculation of way automatized of the blowing-ups, manufactures to evaluate itself them same and in the event it be necessary to get a group from measures of correction and adjustment for future throws. Methodologies specified in Desing Manual of ULAEX and of EXSA, using programming methods in the software apply over themselves Mathcad 14,0.

Keywords: Line of Minor Resistance, Explosive Load, Step, Projection.

Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu

**PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
II CONVENCION CIENTÍFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”**

**DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.**



1. Introducción

El hombre en su actuar diario se desarrolla y busca nuevas vías que garanticen el sostenimiento económico y el crecimiento social; para ello se ve en la necesidad de utilizar los recursos naturales y minerales que brinda la naturaleza, transformándolos y convirtiéndolos en las materias primas que se usan en la mayoría de los procesos constructivos e industriales que requiere la sociedad moderna. La actividad minera tiene el compromiso de explotar los recursos naturales de manera eficiente, cuidando el ambiente, respetando la diversidad de culturas, costumbres y principios, actuando con responsabilidad social y cumpliendo las leyes vigentes. (Quijano, 2013).

A partir de la no existencia en Cuba de una normativa que abarque las técnicas de explotación de préstamos de materiales para la construcción de estructuras de tierra y / rocas, se propone una guía metodológica basada en las buenas prácticas latinoamericanas en estos tipos de escenarios constructivos, se facilita un proceso de cálculo de manera automatizada de las voladuras, así como evaluar las mismas y en caso de que sea necesario obtener un grupo de medidas de corrección y ajuste para tiros futuros.

2. Desarrollo.

Para la realización de esta ponencia se cumplimentó la siguiente metodología:

1. Programación a través del software matcad de la secuencia de diseño de métodos de voladuras especificados según la unión latinoamericana de explosivos
2. Realización del diseño de la red de voladura a través de métodos automatizados que agilicen los cálculos pertinentes.
3. Establecimiento de los procedimientos de ejecución de los trabajos con explosivos de forma segura una vez realizado el tiro
4. Establecimiento de una guía práctica q permita evaluar el tiro y dar criterios del mismo, así como posibles correcciones y ajustes para disparos futuros

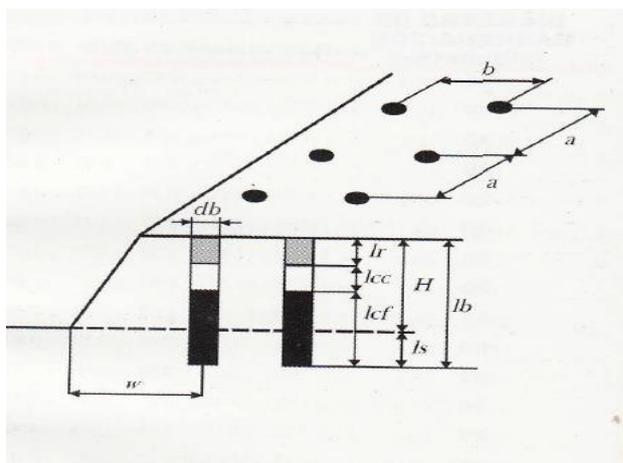
Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.

2.1 Diseño del patrón de la voladura.

Los adecuados diseños de los patrones de voladura a emplear garantizan la eficacia y el aprovechamiento del material volado en correspondencia con los gastos en materia de sustancia explosiva, la cual presenta valores elevados de costo. El diseño de patrones de voladura óptimos permiten prever la fracción de material que se desea obtener, el volumen de este, el grado de disgregación, así como garantizar elevadas garantías en materia de seguridad en los trabajos.

Este se realiza en función de las características del macizo rocoso, de las características de la sustancia explosiva a emplear y de la maquinaria disponible.



Donde:

db: Diámetro del barreno.

w: Línea de menor resistencia.

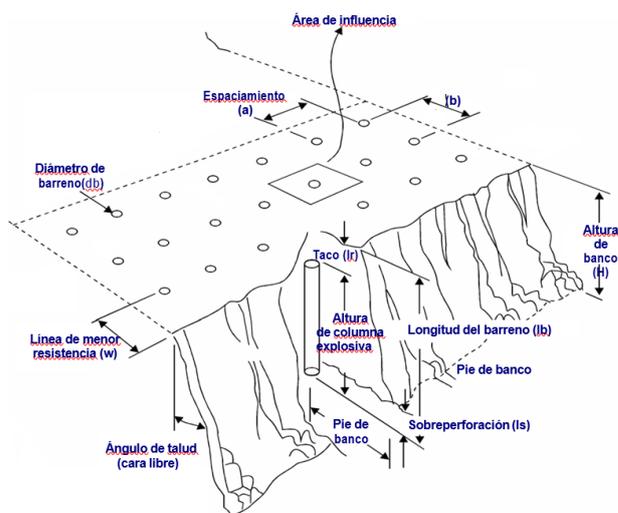
a: Espaciamiento.

b: Distancia entre filas de barrenos.

lr: Longitud de atraque (Taco).

H: Altura del banco.

lb: Longitud del barreno.



ls: longitud de sobreperforación.

lcc: Longitud de la carga de columna.

lcf: Longitud de la carga de fondo.

Figura No. 1: Esquema de diseño de la voladura

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
II CONVENCION CIENTÍFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”



DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.

2.2 Cálculo de voladuras. Reglas Prácticas.

El cálculo de los patrones de la voladura que se propone es el que se emplea en la UCM del MINFAR, que a su vez es el especificado en el Manual de Voladuras de la Unión Latinoamericana de Explosivos (ULAEX). Estos cálculos son una guía para una primera aproximación, los cuales deben ajustarse mediante la realización de voladuras de pruebas.

Procedimiento de cálculo:

1. **Determinación de la Línea de Mínima Resistencia:** $w = (20 \text{ a } 40) \text{ db; metros.}$
2. **Determinación del espaciamiento:** $a = (1.0 \text{ a } 1.8) w$
3. **Longitud de sobreperforación:** $ls = (0.2 \text{ a } 0.5) w$
4. **Longitud de carga de fondo:** $lcf = (0.3 \text{ a } 1.0) w + ls$

El valor máximo de carga de fondo se obtiene en barrenos donde la altura $H = 2w$. en alturas mayores se utiliza una carga de columna adicional.

5. **Longitud de atraque o taco:** $lr = (0.7 \text{ a } 1.3) w$

Si ($lr < 0.7w$) aumenta el vuelo de los fragmentos de roca y puede no lograrse el fondo deseado en escalones bajos, teniendo que disminuirse los valores de (a) y/o (w)

6. Cálculo de consumo de material explosivo e iniciadores.

El control de los índices de consumo de materiales explosivos es de vital importancia en la búsqueda de la mayor eficiencia de las voladuras. Estos están identificados como la cantidad de cada uno de los materiales (explosivos, detonadores, cordón, etc.) utilizada por cada metro cubico o tonelada de roca volada.

Entre estos índices se destaca el consumo específico de explosivo (q), conocido como factor de carga, en la industria minera se expresa en kilogramo por tonelada y en la construcción en kilogramo por metro cúbicos.

La cantidad de explosivos por barreno (Q_b) se obtiene multiplicando la longitud de carga por la cantidad de explosivos por metros lineal de barreno (Tabla1), conocido el diámetro del barreno y la densidad del explosivo.

Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu

**PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
II CONVENCIÓN CIENTÍFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”**



**DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.**

7. Kilogramo de explosivo por metro lineal de barreno.

Diámetro de barrenación en (milímetros)	Densidades (g/cm ³)													
	0,50	0,80	0,85	0,90	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,40	1,50	1,60
26	0,27	0,42	0,45	0,48	0,53	0,56	0,58	0,61	0,64	0,66	0,69	0,74	0,8	0,85
30	0,35	0,57	0,6	0,64	0,71	0,74	0,78	0,81	0,85	0,88	0,92	0,99	1,06	1,13
32	0,4	0,64	0,68	0,72	0,8	0,84	0,88	0,92	0,97	1,01	1,05	1,13	1,21	1,29
36	0,51	0,81	0,87	0,92	1,02	1,07	1,12	1,17	1,22	1,27	1,32	1,43	1,53	1,63
38	0,57	0,91	0,96	1,02	1,13	1,19	1,25	1,3	1,36	1,42	1,47	1,59	1,7	1,81
40	0,63	1,01	1,07	1,13	1,26	1,32	1,38	1,45	1,51	1,57	1,63	1,76	1,88	2,01
42	0,69	1,11	1,18	1,25	1,39	1,45	1,52	1,59	1,66	1,73	1,8	1,94	2,08	2,22
50	0,98	1,57	1,67	1,77	1,96	2,06	2,16	2,26	2,36	2,45	2,55	2,75	2,95	3,14
55	1,19	1,9	2,02	2,14	2,38	2,49	2,61	2,73	2,85	2,97	3,09	3,33	3,56	3,8
60	1,41	2,26	2,4	2,54	2,83	2,97	3,11	3,25	3,39	3,53	3,68	3,96	4,24	4,52
65	1,66	2,65	2,82	2,99	3,32	3,48	3,65	3,82	3,98	4,15	4,31	4,65	4,98	5,31
70	1,92	3,08	3,27	3,46	3,85	4,04	4,23	4,43	4,62	4,81	5	5,39	5,77	6,16
75	2,21	3,53	3,76	3,98	4,42	4,64	4,86	5,08	5,3	5,52	5,74	6,19	6,63	7,07
80	2,51	4,02	4,27	4,52	5,03	5,28	5,53	5,78	6,03	6,28	6,53	7,04	7,54	8,04
85	2,84	4,54	4,82	5,11	5,67	6,06	6,24	6,53	6,81	7,09	7,38	7,94	8,51	9,08
90	3,18	5,09	5,41	5,73	6,36	6,68	7	7,32	7,63	7,95	8,27	8,91	9,54	10,18
95	3,54	5,67	6,02	6,38	7,09	7,44	7,8	8,15	8,51	8,86	9,21	9,92	10,63	11,34
100	3,93	6,28	6,68	7,07	7,85	8,25	8,64	9,03	9,42	9,82	10,21	11	11,78	12,57
105	4,33	6,93	7,36	7,79	8,66	9,09	9,52	9,96	10,39	10,82	11,26	12,12	12,99	13,85
110	4,75	7,6	8,08	8,55	9,5	9,98	10,45	10,93	11,4	11,88	12,35	13,3	14,26	15,21
115	5,19	8,31	8,83	9,35	10,39	10,91	11,43	11,94	12,46	12,98	13,5	14,54	15,58	16,62
120	5,65	9,05	9,61	10,18	11,31	11,88	12,44	13,01	13,57	14,14	14,7	15,83	16,96	18,1
130	6,64	10,62	11,28	11,95	13,27	13,94	14,6	15,26	15,93	16,59	17,26	18,58	19,91	21,24
140	7,7	12,32	13,08	13,85	15,39	16,16	16,93	17,7	18,47	19,24	20,01	21,55	23,09	24,63
150	8,84	14,14	15,02	15,9	17,67	18,56	19,44	20,32	21,21	22,09	22,97	24,74	26,51	28,27
200	15,71	25,13	26,7	28,27	31,42	32,99	34,56	36,13	37,7	39,27	40,84	43,98	47,12	50,27
250	24,54	39,27	41,72	44,18	49,09	51,54	54	56,45	58,91	61,36	63,81	68,72	73,63	78,54
300	35,34	56,55	60,08	63,62	70,69	74,22	77,75	81,29	84,82	88,36	91,89	98,96	106,03	113,1

Tabla No. 1: Determinar los kg de explosivos por metro lineal de barreno

Para el volumen de roca por barreno (Vb), se multiplica la altura del banco o capa de roca, por los metros cúbicos de roca por metro lineal de barreno (tabla 2), conociendo la red de barrenación (distancia entre barrenos y filas).

El volumen de roca por su densidad permite determinar su peso q:

$$q = Qb/Vb \text{ ; en kg/m}^3$$

$$q = Qb/Vb * \text{densidad, en Kg/t}$$

8. Metros cúbicos de roca por metros lineal de barreno.

El consumo de detonadores se determina teniendo en cuenta que por cada barreno se emplea un detonador, entonces el número de barrenos es: 1/Vb y esto se expresa en detonadores por metro cúbicos.

**PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
II CONVENCIÓN CIENTÍFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”**



**DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.**

Distancia/ barrenos (metros)	Distancia entre filas (metros)																			
	1,00	1,20	1,40	1,50	1,60	1,80	2,00	2,20	2,40	2,50	2,60	2,80	3,00	3,20	3,40	3,50	3,60	3,80	4,00	
1,00	1,00	1,20	1,40	1,50	1,60	1,80	2,00	2,20	2,40	2,50	2,60	2,80	3,00	3,20	3,40	3,50	3,60	3,80	4,00	
1,20	1,20	1,44	1,68	1,80	1,92	2,16	2,40	2,64	2,88	3,00	3,12	3,36	3,60	3,84	4,08	4,20	4,32	4,56	4,80	
1,30	1,30	1,56	1,82	1,95	2,08	2,34	2,60	2,86	3,12	3,25	3,38	3,64	3,90	4,16	4,42	4,55	4,68	4,94	5,20	
1,40	1,40	1,68	1,96	2,10	2,24	2,52	2,80	3,08	3,36	3,50	3,64	3,92	4,20	4,48	4,76	4,90	5,04	5,32	5,60	
1,50	1,50	1,80	2,10	2,25	2,40	2,70	3,00	3,30	3,60	3,75	3,90	4,20	4,50	4,80	5,10	5,25	5,40	5,70	6,00	
1,60	1,60	1,92	2,24	2,40	2,56	2,88	3,20	3,52	3,84	4,00	4,16	4,48	4,80	5,12	5,44	5,60	5,76	6,08	6,40	
1,70	1,70	2,04	2,38	2,55	2,72	3,06	3,40	3,74	4,08	4,25	4,42	4,76	5,10	5,44	5,78	5,95	6,12	6,46	6,80	
1,80	1,80	2,16	2,52	2,70	2,88	3,24	3,60	3,96	4,32	4,50	4,68	5,04	5,40	5,76	6,12	6,30	6,48	6,84	7,20	
1,90	1,90	2,28	2,66	2,85	3,04	3,42	3,80	4,18	4,56	4,75	4,94	5,32	5,70	6,08	6,46	6,65	6,84	7,22	7,60	
2,00	2,00	2,40	2,80	3,00	3,20	3,60	4,00	4,40	4,80	5,00	5,20	5,60	6,00	6,40	6,80	7,00	7,20	7,60	8,00	
2,10	2,10	2,52	2,94	3,15	3,36	3,78	4,20	4,62	5,04	5,25	5,46	5,80	6,30	6,72	7,14	7,35	7,56	7,98	8,40	
2,20	2,20	2,64	3,08	3,30	3,52	3,96	4,40	4,84	5,28	5,50	5,72	6,16	6,60	7,04	7,48	7,70	7,92	8,36	8,80	
2,30	2,30	2,76	3,22	3,45	3,68	4,14	4,60	5,06	5,52	5,75	5,98	6,44	6,90	7,36	7,82	8,05	8,28	8,74	9,20	
2,40	2,40	2,88	3,36	3,60	3,84	4,32	4,80	5,28	5,76	6,00	6,24	6,72	7,20	7,68	8,16	8,40	8,64	9,12	9,60	
2,50	2,50	3,00	3,50	3,75	4,00	4,50	5,00	5,50	6,00	6,25	6,50	7,00	7,50	8,00	8,50	8,75	9,00	9,50	10,00	
2,60	2,60	3,12	3,64	3,90	4,16	4,68	5,20	5,72	6,24	6,50	6,76	7,28	7,80	8,32	8,84	9,10	9,36	9,88	10,40	
2,70	2,70	3,24	3,78	4,05	4,32	4,86	5,40	5,94	6,48	6,75	7,02	7,56	8,10	8,64	9,18	9,45	9,72	10,26	10,80	
2,80	2,80	3,36	3,92	4,20	4,48	5,04	5,60	6,16	6,72	7,00	7,28	7,84	8,40	8,96	9,52	9,80	10,08	10,64	11,20	
2,90	2,90	3,48	4,06	4,35	4,64	5,22	5,80	6,38	6,96	7,25	7,54	8,12	8,70	9,28	9,86	10,15	10,44	11,02	11,60	
3,00	3,00	3,60	4,20	4,50	4,80	5,40	6,00	6,60	7,20	7,50	7,80	8,40	9,00	9,60	10,20	10,50	10,80	11,40	12,00	
3,10	3,10	3,72	4,34	4,65	4,96	5,58	6,20	6,82	7,44	7,75	8,06	8,68	9,30	9,92	10,54	10,85	11,16	11,78	12,40	
3,20	3,20	3,84	4,48	4,80	5,12	5,76	6,40	7,04	7,68	8,00	8,32	8,96	9,60	10,24	10,88	11,20	11,52	12,16	12,80	
3,30	3,30	3,96	4,62	4,95	5,28	5,94	6,60	7,26	7,92	8,25	8,58	9,24	9,90	10,56	11,22	11,55	11,88	12,54	13,20	
3,40	3,40	4,08	4,76	5,10	5,44	6,12	6,80	7,48	8,16	8,50	8,84	9,52	10,20	10,88	11,56	11,90	12,24	12,92	13,60	
3,50	3,50	4,20	4,90	5,25	5,60	6,30	7,00	7,70	8,40	8,75	9,10	9,80	10,50	11,20	11,90	12,25	12,60	13,30	14,00	
3,60	3,60	4,32	5,04	5,40	5,76	6,48	7,20	7,92	8,64	9,00	9,36	10,08	10,80	11,52	12,24	12,60	12,96	13,68	14,40	
3,70	3,70	4,44	5,18	5,55	5,92	6,66	7,40	8,14	8,88	9,25	9,62	10,36	11,10	11,84	12,58	12,95	13,32	14,06	14,80	
3,80	3,80	4,56	5,32	5,70	6,08	6,84	7,60	8,36	9,12	9,50	9,88	10,64	11,40	12,16	12,92	13,30	13,68	14,44	15,20	
3,90	3,90	4,68	5,46	5,85	6,24	7,02	7,80	8,58	9,36	9,75	10,14	10,92	11,70	12,48	13,26	13,65	14,04	14,82	15,60	
4,00	4,00	4,80	5,60	6,00	6,40	7,20	8,00	8,80	9,60	10,00	10,40	11,20	12,00	12,80	13,60	14,00	14,40	15,20	16,00	

Tabla No. 2: Metros cúbicos de roca por metros lineal de barreno.

3. Resultados y discusión

3.1 Procedimiento automatizado de diseño.

El diseño automatizado se realizó a través de la herramienta de cómputo Mathcad 14.0, basado en la metodología descrita en el Manual de Diseño de ULAEX, a partir del mismo, se logra obtener un diseño de la voladura en función de los parámetros deseados establecidos en los trabajos de gabinete previos, así como, interactuar a partir de los rangos establecidos en el proceso de cálculo (en función de lo que se desee o de los recursos que se disponga), obteniendo un resultado de manera automática.

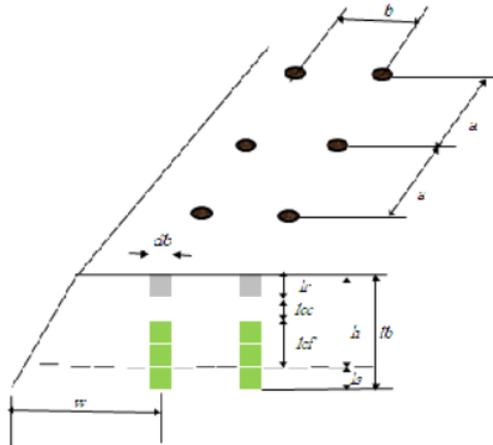
A continuación, se muestra una secuencia de imágenes donde se ilustra el mencionado proceso de diseño.

Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
II CONVENCION CIENTÍFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.

ENTRADA DE DATOS



Seleccionar Tipo de Roca Roca Blanda
 Roca Dura

db: Diámetro del barreno
w: Línea menor resistencia (bordo)
a: Espaciamiento
b: Distancia entre filas de barreno
tr: Longitud de atraque (taco)
h: Altura del banco
lbrb: Longitud del barreno
lbrd: Longitud de sobreperforación (sub barrenado)
lcc: Longitud de carga de la columna
lcf: Longitud de la carga de fondo

Altura del Escalón de Cantera o Banco $h := 5m$
Diámetro del Barreno $d_b := 105mm$
Longitud del Frente $L_f := 80m$
Ancho del Frente $A_f := 20m$

CALCULOS

Longitud del Barreno

Roca Blanda (0.90 a 0.95)h

$L_{brb} :=$
LongBarr_{rb} :=

0.90·h	if	L _{brb} = 1
0.91·h	if	L _{brb} = 2
0.92·h	if	L _{brb} = 3
0.93·h	if	L _{brb} = 4
0.94·h	if	L _{brb} = 5
0.95·h	if	L _{brb} = 6

LongBarr_{rb} = 4.6m

Roca Dura (1.10 a 1.15)h

$L_{brd} :=$
LongBarr_{rd} :=

1.10·h	if	L _{brd} = 1
1.11·h	if	L _{brd} = 2
1.12·h	if	L _{brd} = 3
1.13·h	if	L _{brd} = 4
1.14·h	if	L _{brd} = 5
1.15·h	if	L _{brd} = 6

LongBarr_{rd} = 5.6m

$L_b :=$

(LongBarr _{rb})	if	tr = 1
(LongBarr _{rd})	if	tr = 2

 $L_b = 5.6m$

l_{mr} :=
esp :=

Línea de Menor Resistencia, Piedra o Bordo $w = (20 \text{ a } 40) \cdot db$

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
II CONVENCION CIENTÍFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”



DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.

Espaciamiento $a = (1.0 \text{ a } 1.8) \cdot w$

$w = 2.2 \text{ m}$

$a = 2.4 \text{ m}$

Longitud de Sobreperforación (Garantiza la fragmentación de la roca hasta la profundidad deseada)

$l_s = (0.2 \text{ a } 0.5) \cdot w$

$s_p :=$

$l_s :=$

0.2 · w if $s_p = 1$
0.3 · w if $s_p = 2$
0.4 · w if $s_p = 3$
0.5 · w if $s_p = 4$
(0.5m) if $s_p = 5$

$l_s = 0.7 \text{ m}$

Comprobación del Espaciamiento entre Barrenos

Seleccionar el diámetro en función del
Tipo de Explosivo a Emplear

$\phi :=$

$M_n :=$

310kg if $\phi = 1$
455kg if $\phi = 2$
1389kg if $\phi = 3$
1924kg if $\phi = 4$
3125kg if $\phi = 5$
1467kg if $\phi = 6$
5000kg if $\phi = 7$
6250kg if $\phi = 8$

$M_n = 5000 \text{ kg}$

Datos Técnicos (SENATEL MAGNAFRAC)			
Diámetros	Long. Nominal	Masa Nominal	Conteo Nom.* Embalaje
mm	mm	kg	u
26	500	310	80
32	500	455	55
55	500	1389	18
65	500	1924	13
85	500	3125	8
100	460	4167	6
115	400	5000	5
127	400	6250	4

Carga Concentrada (q)

$$q_c := \frac{M_n}{1000}$$

$q_c = 5 \text{ kg}$

Distancia Mínima entre Barrenos

$$d_{\min} := 1.3 \cdot \sqrt[3]{\frac{q_c}{\text{kg}}} \cdot \text{m}$$

$d_{\min} = 2.2 \text{ m}$

Distancia Entre Filas

$$b := \begin{cases} w & \text{if } w \geq d_{\min} \\ d_{\min} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$b = 2.2 \text{ m}$

Comentario₁ := "CUMPLE LOS CRITERIOS DE DISEÑO" if $b \geq w$
"NO CUMPLE LOS CRITERIOS DE DISEÑO. EXPLOSIÓN POR SIMPATÍA" otherwise

Comentario₁ = "CUMPLE LOS CRITERIOS DE DISEÑO"

Seleccionar Diámetro de Barreno y Densidad del Explosivo para determinar los kg de explosivo por metro lineal de barreno

DiámetroBarreno :=

DensidadExplosivo :=

Densidad del explosivo (g/cm³)

kg de explosivo por metro lineal de barreno

$\text{kgexp_mlbarr} = 9.96 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$

Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL
"II CCI UCLV 2019"



DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.

Longitud de Atraque o Taco $L_r = (0.7 \text{ a } 1.3)w$

Longitud de la Carga $L_c = L_b - L_r$

relac_wlr :=

$L_r :=$ $\begin{cases} 0.7 \cdot w & \text{if } \text{relac_wlr} = 1 \\ 0.8 \cdot w & \text{if } \text{relac_wlr} = 2 \\ 0.9 \cdot w & \text{if } \text{relac_wlr} = 3 \\ 1.0 \cdot w & \text{if } \text{relac_wlr} = 4 \\ 1.1 \cdot w & \text{if } \text{relac_wlr} = 5 \\ 1.2 \cdot w & \text{if } \text{relac_wlr} = 6 \\ 1.3 \cdot w & \text{if } \text{relac_wlr} = 7 \end{cases}$

$L_{roca} := L_b - L_r$
 $L_c = 3.8 \text{ m}$
 $L_r = 1.8 \text{ m}$

kg de explosivo por barreno $Q_b := \text{kgexp_mlbarr} \cdot L_c$ $Q_b = 38.21 \text{ kg}$ por Barreno

Seleccionar Distancia entre Barrenos (a) y Distancia entre Filas (b) para determinar los m³ de roca por metro lineal de barreno

Distancia entre Barrenos $a = 2.4 \text{ m}$

Distancia entre Filas $b = 2.2 \text{ m}$

DistEntreBarrenos :=

DistEntreFilas :=

m³ de roca por metro lineal de barreno

$m3roca_mlbarr = 5.28 \frac{\text{m}^3}{\text{m}}$

m³ de roca por barreno

$V_b := m3roca_mlbarr \cdot h$ $V_b = 26.4 \text{ m}^3$ por Barreno

Consumo Específico de explosivo o Factor de Carga q (kg/m³)

$q := \frac{Q_b}{V_b}$ $q = 1.447 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

Barrenos Por Fila

$B_f := \frac{L_f - 2 \cdot w}{a} + 1$ $B_f = 32$

Cantidad de Filas

$C_f := \frac{A_f - w}{b} + 1$ $C_f = 9$

Barrenos

$\text{Número_Barrenos} := B_f \cdot C_f$ $\text{Número_Barrenos} = 290$

Cantidad Total de Explosivo

$\text{Total_explosivo} := Q_b \cdot \text{Número_Barrenos}$ $\text{Total_explosivo} = 11066 \text{ kg}$

Cantidad Total de Material Generado

$\text{Total_roca} := V_b \cdot \text{Número_Barrenos}$ $\text{Total_roca} = 7647 \text{ m}^3$

Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
II CONVENCION CIENTÍFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”



DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.

RESULTADOS DEL DISEÑO

Díámetro del Barreno	$d_b = 105\text{-mm}$	Distancia Entre Filas	$b = 2.223\text{ m}$
Altura del Escalón de Cantera	$h = 5\text{ m}$	Longitud de Sobreperforación	$l_s = 0.662\text{ m}$
Longitud del Barreno	$L_b = 5.6\text{ m}$	Longitud de Carga	$L_c = 3.836\text{ m}$
Línea de Menor Resistencia	$w = 2.205\text{ m}$	Longitud de Atraque	$L_r = 1.764\text{ m}$
Espaciamiento Entre Barrenos	$a = 2.426\text{ m}$	kg de Explosivo por Barreno	$Q_b = 38.207\text{ kg}$
Factor de Carga	$q = 1.447 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	m ³ de Roca por Barreno	$V_b = 26.4\text{-m}^3$
Número de Barrenos	Número_Barrenos = 290		
Cantidad Total de Explosivo	Total_explosivo = 11066 kg		
Cantidad Total de Roca	Total_roca = 7647-m ³		

3.2 Evaluación de la Voladura

Una vez obtenidos los parámetros de diseño a partir del epígrafe anterior, se procede a la realización práctica de la voladura en función de las actividades correspondientes, después del disparo y solamente después de haber pasado un tiempo prudencial el encargado de la operación regresará al lugar de la voladura para efectuar su evaluación de la fragmentación, empuje, volumen removido y sobre rotura, a partir de los resultados obtenidos se procede a la evaluación de la misma a través de los criterios que a continuación se proponen:

I. Tiros fallados

Son un punto especial en voladura. A pesar de todas las recomendaciones de preparación, todo usuario eventualmente se encontrará con este problema que por lo general afecta a uno o más huecos de un tiro, y debe estar preparado para solucionarlo.

Medidas generales

- Esperar un tiempo prudencial antes de acercarse al frontón (usualmente 30 minutos).
- Retirar a todo el personal no necesario o no vinculado al trabajo de eliminación de tiros fallados.

Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu

**PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
II CONVENCIÓN CIENTÍFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”**

**DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.**



- Dar parte inmediato del problema al Departamento de Seguridad.
- Examinar el frente disparado con cuidado en su totalidad, ubicar los “tacos quedados”, buscar los restos de explosivo y accesorios no explotados entre los escombros de la voladura, recogerlos si es factible y llevarlos a lugar seguro para eliminarlos.
- Eliminar los tacos quedados con chorro de agua, colocarles un nuevo cebo y volverlos a disparar.

II. Proyección de rocas

Toda voladura genera cierto volumen de gases y polvo, que se mantienen en el ambiente. Roca volante en voladura es simplemente un fragmento de roca arrojada al aire con violencia como resultado de una explosión, por tanto, con gran potencial de causar daños”.

La inesperada, incontrolada e indeseada proyección de fragmentos a distancias más allá de las estimadas como límite normal de desplazamiento de los detritos de una voladura, representan el más serio problema de seguridad en razón de que el impulso de lanzamiento aumenta con el mayor diámetro del barreno empleado, el riesgo es serio en minas y obras donde se trabaja con diámetros grandes de barreno y con agentes explosivos que generan alto volumen de gases.

El riesgo es naturalmente mayor para personas y edificaciones cercanas a voladuras en áreas urbanas tanto así que algunos reglamentos de construcción prohíben efectuar voladuras sin mantas protectoras pesadas.

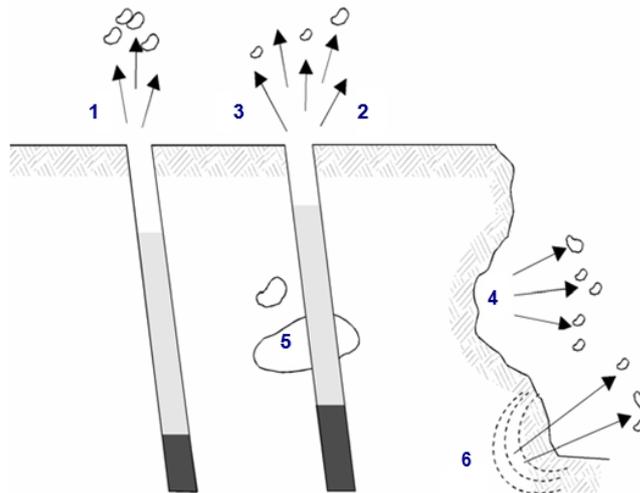
Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”

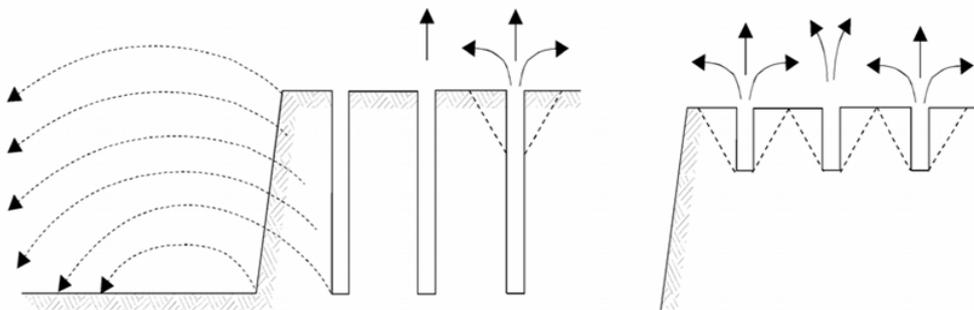
DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.

FUENTES DE PROYECCION EN BANCO

1. Sopladura
2. Craterización por sobrecarga o excesivo bordo
3. Tiro fuera de secuencia (barreno posterior antes que el primero)
4. Bordo muy corto (por desplome)
5. Bordo muy corto por cavidades
6. Bordo muy corto por sobrecarga excesiva al fondo del barreno de primera fila



TIPOS DE PROYECTIL (PIEDRAS VOLANTES)



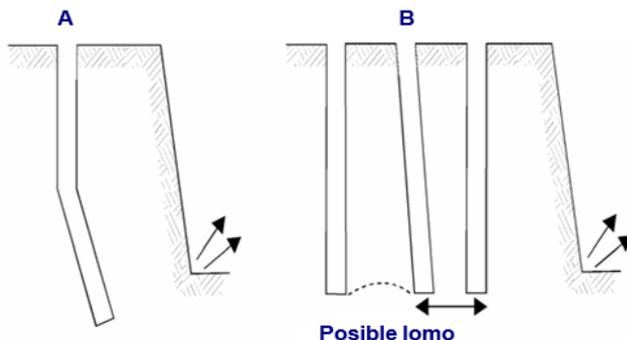
Tipo 1: De banco

Tipo 2: De sopladuras

Tipo 3: De cráter

CAUSAS USUALES DE PROYECCIONES EN BANCOS

Perforación:



A. Mal alineamiento de barrenos de la primera fila o insuficiente burden al pie del barreno (soplo a nivel del piso).

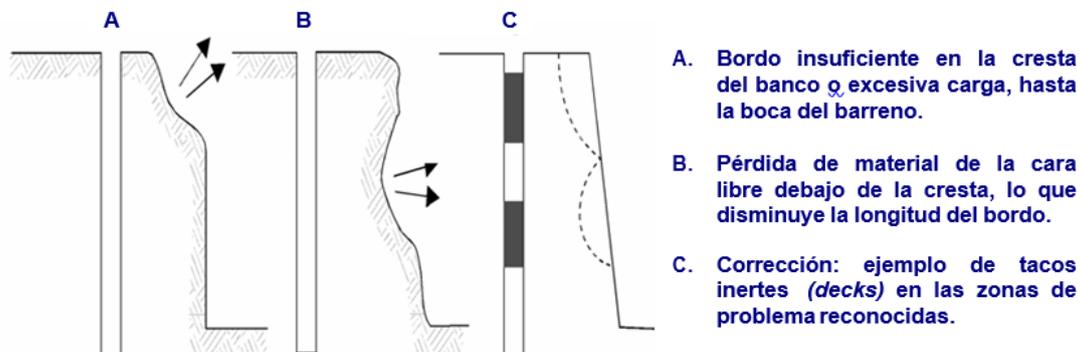
B. Desviación de barrenos de la segunda fila muy cerca de la primera, lo que incrementa la carga en la base (excesivo factor de carga que puede generar soplo a nivel del piso).

Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu

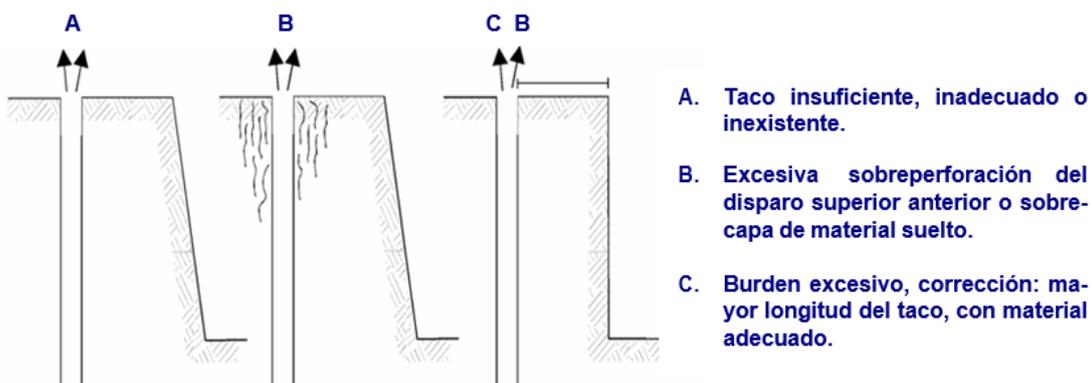
PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
II CONVENCION CIENTÍFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.

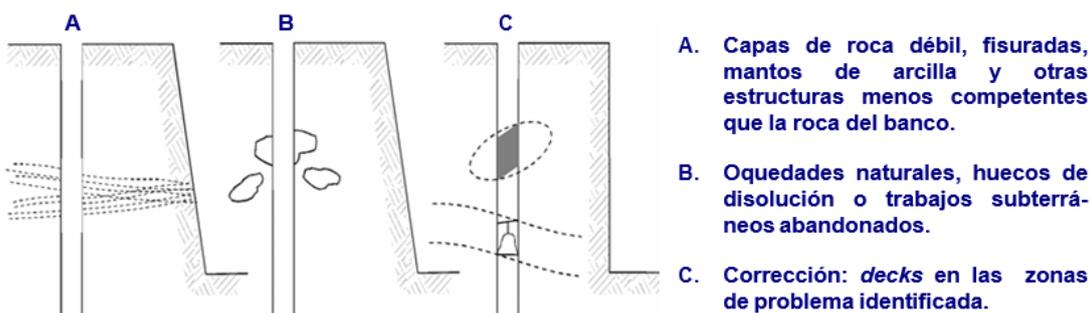
Bordo insuficiente:



Taco insuficiente:



Problemas geológicos:



• **Medidas generales**

- Las rocas volantes son un riesgo latente y la mejor protección es una distancia segura y cobertura adecuada. Todo operador debe ser instruido al respecto y saber hacia dónde dirigirse para protección.

Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu

**PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
II CONVENCION CIENTÍFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”**

**DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.**



- Es muy importante evitar tiros prematuros, pues estos no avisan ni dan tiempo a escapar.
- No correr riesgos innecesarios ni permitir que otros los corran por ignorancia, desconocimiento del disparo, razón por la que es de primera importancia montar un eficiente sistema de vigilancia para alertar a las personas ajenas y evitar que se acerquen al área de voladura en el momento del disparo.

4. Conclusiones

En el escenario actual de la explotación de préstamos para materiales de construcción de estructura de tierra y / roca en Cuba, no existe normativa que regule esta actividad, denotándose una inadecuada preparación y ejecución de estos trabajos.

Los diseños óptimos de patrones de voladuras aseguran tiros eficientes y garantizan la factibilidad económica y ambiental en estas tareas.

El diseño automatizado facilita en gran medida los trabajos de diseño y cálculo de voladura ya que reduce significativamente los tiempos empleados para ellos, humanizando estas tareas.

Con la utilización de esta guía práctica se puede evaluar de forma rápida y concisa posibles errores del tiro y plantar una posible solución para su rectificación.

Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu

**PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
II CONVENCION CIENTÍFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”**

**DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.**



5. Referencias bibliográficas

- Bustillo. M y López. C. Manual de Evaluación y Diseño de Explotaciones Mineras. Madrid. 1997)
- Cálculo de Voladuras. Reglas Prácticas ULAEX ,2013
- Herrera Herbert, J. Métodos de minería a cielo abierto. Tesis de maestría, Madrid, 2006.
- Herbert,. Nichols, Manual de Excavaciones, 1980.
- Ley 76 Ley de Minas,
- Manual Práctico de Voladuras, Centro Tecnológico de Voladuras EXSA, Lima, Perú, s.f.
- Mc Kenzie, C. Manual de Tronadura. Antofagasta, Chile, 2001.
- Orta Amaro, Pedro. A. Tecnología de Construcción de las Explanaciones. Editorial Félix Varela, La Habana, Cuba, 2013
- Pereda Hernández, Segundo. Maquinaria Minera. Editorial Félix Varela, La Habana, 2009.
- Preparación Ingeniera, MINFAR, 1987.
- Propuesta de NC Explanaciones de Carreteras, Código de Buenas Prácticas

Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu