

Proyecto de grado en Maestría en Ingeniería Civil. Énfasis en Geotecnia	Análisis de rendimientos para varios sistemas de excavación de túneles en roca.	Elaborado por: Ing. Diego Triana																																			
<b>TOPOGRAFÍA</b>																																					
Tipo de terreno Longitud máxima recomendada del barreno a partir del tipo de terreno Definir longitud del barreno Longitud del tramo Sección del túnel Diámetro túnel Perímetro túnel Topografía. Rendimiento propuesto Tiempo por ciclo en replanteo de puntos de perforación N° Desplazamientos cuadrilla topografica Tiempo total Tiempo total	<table border="0"> <tr><td></td><td style="text-align: center;"><b>I</b></td><td></td></tr> <tr><td></td><td style="text-align: center;">≥ 3</td><td style="text-align: right;">m</td></tr> <tr><td></td><td style="text-align: center;"><b>3,00</b></td><td style="text-align: right;">m</td></tr> <tr><td></td><td style="text-align: center;"><b>5879</b></td><td style="text-align: right;">m</td></tr> <tr><td></td><td style="text-align: center;"><b>23,2</b></td><td style="text-align: right;">m<sup>2</sup></td></tr> <tr><td></td><td style="text-align: center;"><b>5,1</b></td><td style="text-align: right;">m</td></tr> <tr><td></td><td style="text-align: center;">7,7</td><td style="text-align: right;">m</td></tr> <tr><td></td><td style="text-align: center;"><b>1,0</b></td><td style="text-align: right;">min/m<sup>2</sup></td></tr> <tr><td></td><td style="text-align: center;">23,2</td><td style="text-align: right;">min</td></tr> <tr><td></td><td style="text-align: center;">1960,0</td><td></td></tr> <tr><td></td><td style="text-align: center;">45472,0</td><td style="text-align: right;">min</td></tr> <tr><td></td><td style="text-align: center;">757,9</td><td style="text-align: right;">h</td></tr> </table>		<b>I</b>			≥ 3	m		<b>3,00</b>	m		<b>5879</b>	m		<b>23,2</b>	m <sup>2</sup>		<b>5,1</b>	m		7,7	m		<b>1,0</b>	min/m <sup>2</sup>		23,2	min		1960,0			45472,0	min		757,9	h
	<b>I</b>																																				
	≥ 3	m																																			
	<b>3,00</b>	m																																			
	<b>5879</b>	m																																			
	<b>23,2</b>	m <sup>2</sup>																																			
	<b>5,1</b>	m																																			
	7,7	m																																			
	<b>1,0</b>	min/m <sup>2</sup>																																			
	23,2	min																																			
	1960,0																																				
	45472,0	min																																			
	757,9	h																																			
<b>TOPOGRAFÍA</b>																																					
Tipo de terreno Longitud máxima recomendada del barreno a partir del tipo de terreno Definir longitud del barreno Longitud del tramo Sección del túnel Diámetro túnel Perímetro túnel Topografía. Rendimiento propuesto Tiempo por ciclo en replanteo de puntos de perforación N° Desplazamientos cuadrilla topografica Tiempo total Tiempo total	<table border="0"> <tr><td></td><td style="text-align: center;"><b>II</b></td><td></td></tr> <tr><td></td><td style="text-align: center;">2,00</td><td style="text-align: right;">m</td></tr> <tr><td></td><td style="text-align: center;"><b>2,00</b></td><td style="text-align: right;">m</td></tr> <tr><td></td><td style="text-align: center;"><b>1293</b></td><td style="text-align: right;">m</td></tr> <tr><td></td><td style="text-align: center;"><b>23,2</b></td><td style="text-align: right;">m<sup>2</sup></td></tr> <tr><td></td><td style="text-align: center;"><b>5,1</b></td><td style="text-align: right;">m</td></tr> <tr><td></td><td style="text-align: center;">7,7</td><td style="text-align: right;">m</td></tr> <tr><td></td><td style="text-align: center;"><b>1,0</b></td><td style="text-align: right;">min/m<sup>2</sup></td></tr> <tr><td></td><td style="text-align: center;">23,2</td><td style="text-align: right;">min</td></tr> <tr><td></td><td style="text-align: center;">647,0</td><td></td></tr> <tr><td></td><td style="text-align: center;">15010,4</td><td style="text-align: right;">min</td></tr> <tr><td></td><td style="text-align: center;">250,2</td><td style="text-align: right;">h</td></tr> </table>		<b>II</b>			2,00	m		<b>2,00</b>	m		<b>1293</b>	m		<b>23,2</b>	m <sup>2</sup>		<b>5,1</b>	m		7,7	m		<b>1,0</b>	min/m <sup>2</sup>		23,2	min		647,0			15010,4	min		250,2	h
	<b>II</b>																																				
	2,00	m																																			
	<b>2,00</b>	m																																			
	<b>1293</b>	m																																			
	<b>23,2</b>	m <sup>2</sup>																																			
	<b>5,1</b>	m																																			
	7,7	m																																			
	<b>1,0</b>	min/m <sup>2</sup>																																			
	23,2	min																																			
	647,0																																				
	15010,4	min																																			
	250,2	h																																			
<b>TOPOGRAFÍA</b>																																					
Tipo de terreno Longitud máxima recomendada del barreno a partir del tipo de terreno Definir longitud del barreno Longitud del tramo Sección del túnel Diámetro túnel Perímetro túnel Topografía. Rendimiento propuesto Tiempo por ciclo en replanteo de puntos de perforación N° Desplazamientos cuadrilla topografica Tiempo total Tiempo total	<table border="0"> <tr><td></td><td style="text-align: center;"><b>IIIa</b></td><td></td></tr> <tr><td></td><td style="text-align: center;">1,50</td><td style="text-align: right;">m</td></tr> <tr><td></td><td style="text-align: center;"><b>1,50</b></td><td style="text-align: right;">m</td></tr> <tr><td></td><td style="text-align: center;"><b>395,0</b></td><td style="text-align: right;">m</td></tr> <tr><td></td><td style="text-align: center;"><b>23,2</b></td><td style="text-align: right;">m<sup>2</sup></td></tr> <tr><td></td><td style="text-align: center;"><b>5,1</b></td><td style="text-align: right;">m</td></tr> <tr><td></td><td style="text-align: center;">7,7</td><td style="text-align: right;">m</td></tr> <tr><td></td><td style="text-align: center;"><b>1,0</b></td><td style="text-align: right;">min/m<sup>2</sup></td></tr> <tr><td></td><td style="text-align: center;">23,2</td><td style="text-align: right;">min</td></tr> <tr><td></td><td style="text-align: center;">264,0</td><td></td></tr> <tr><td></td><td style="text-align: center;">6124,8</td><td style="text-align: right;">min</td></tr> <tr><td></td><td style="text-align: center;">102,1</td><td style="text-align: right;">h</td></tr> </table>		<b>IIIa</b>			1,50	m		<b>1,50</b>	m		<b>395,0</b>	m		<b>23,2</b>	m <sup>2</sup>		<b>5,1</b>	m		7,7	m		<b>1,0</b>	min/m <sup>2</sup>		23,2	min		264,0			6124,8	min		102,1	h
	<b>IIIa</b>																																				
	1,50	m																																			
	<b>1,50</b>	m																																			
	<b>395,0</b>	m																																			
	<b>23,2</b>	m <sup>2</sup>																																			
	<b>5,1</b>	m																																			
	7,7	m																																			
	<b>1,0</b>	min/m <sup>2</sup>																																			
	23,2	min																																			
	264,0																																				
	6124,8	min																																			
	102,1	h																																			

Proyecto de grado en Maestría en Ingeniería Civil. Énfasis en Geotecnia		Análisis de rendimientos para varios sistemas de excavación de túneles en roca.	
<b>BARRENOS DE CUELE TIPO DE TERRENO</b>		<b>I</b>	
Volabilidad Roca		Mala	
$\theta$ Barreno carga (mm)		45	
L bareno de carga (m)		3,0	
$\theta$ Barreno expansión (mm)		127	
<b>Cálculo del cuele</b>			
<b>1. Área y numero de barrenos</b>			
Área necesaria (Ilustración 3 – 75)		132	mm <sup>2</sup>
N° Barrenos expansión		1,04	
Definir N° de barrenos expansión		1	
<b>2. Distancia entre barreno cargado y los barrenos de expansión</b>			
Distancia mínima $1,75D_2$ $a_1$ y $a_2$		222	mm
Definir distancia mínima		220	mm
Control expansión			
Área a volar		4201	mm <sup>2</sup>
Área necesaria (% de expansión)	95,2	8202	mm <sup>2</sup>
Área disponible		17664	mm <sup>2</sup>
<b>3. Distancia entre la abertura y siguientes barrenos cargados</b>			
Aplicando mismo criterio			
# Barrenos expansión		0,52	
Definir N° de barrenos expansión		1	
Distancia mínima $1,75D_2$		222	mm
Definir distancia mínima		220	mm
Control de expansión			
Área a volar (% de expansión)	95,2	8202	mm <sup>2</sup>
Área necesaria		12126	mm <sup>2</sup>

Proyecto de grado en Maestría en Ingeniería Civil. Énfasis en Geotecnia		Análisis de rendimientos para varios sistemas de excavación de túneles en roca.	
<b>4. Ajuste de <math>a_3</math> y <math>a_4</math>, reduciendo margen de seguridad</b>			
Control de expansión para $a_3$		400	mm
Área a volar ( $\text{mm}^2$ )		27271	$\text{mm}^2$
Área necesaria (% de expansión)	95,2	53237	$\text{mm}^2$
Área disponible		54115	$\text{mm}^2$
Control de expansión para $a_4$		350	mm
Área a volar ( $\text{mm}^2$ )		22971	$\text{mm}^2$
Área necesaria (% de expansión)	95,2	44843	$\text{mm}^2$
Área disponible		49815	$\text{mm}^2$
<b>5. Piedra <math>B_1</math>, en función del ancho base</b>			
Ancho base $A_1$		0,57	m
Ancho de base $B_1$ (Ilustración 3 – 68 )		0,36	m
Control de expansión		104568	$\text{mm}^2$
Área necesaria (% de expansión)	95,2	204134	$\text{mm}^2$
Área disponible		122232	$\text{mm}^2$
<b>6. Reducción de la piedra <math>B_1</math></b>			
Reducción de $B_1$		300	mm
Área a volar		76218	$\text{mm}^2$
Área necesaria (% de expansión)	95,2	148790	$\text{mm}^2$
Área disponible		93882	$\text{mm}^2$
<b>7. Piedra <math>B_2</math> en función del ancho base</b>			
	$A_2$	1235	mm
	$B_2$	0,70	m
Área a volar		377601	$\text{mm}^2$
Área necesaria (% de expansión)	95,2	737141	$\text{mm}^2$
Área disponible		574338	$\text{mm}^2$

**8. Reducción de piedra B<sub>2</sub>** 0,3 m

Área a volar		132145	mm <sup>2</sup>
Área necesaria (% de expansión)	95,2	257969	mm <sup>2</sup>
Área disponible		328881	mm <sup>2</sup>

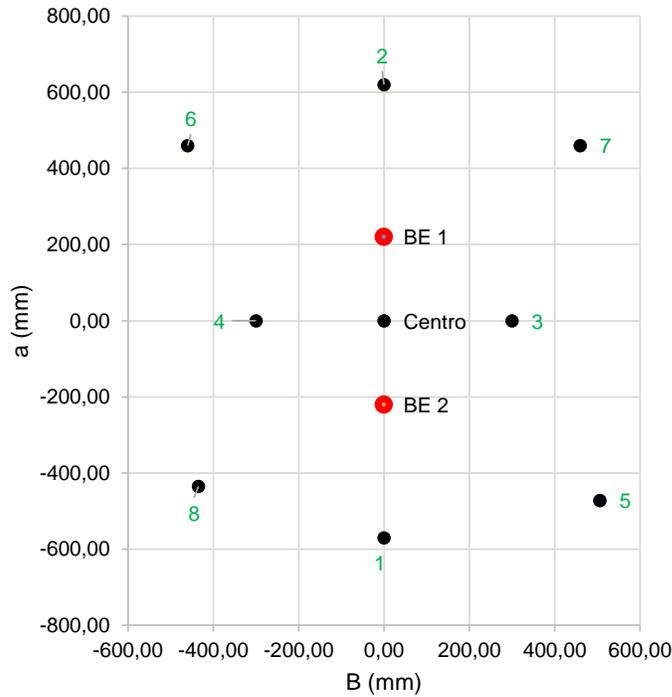
**9. Piedra B<sub>3</sub> en función del ancho base**

A <sub>3</sub>	644	mm
B <sub>3</sub>	0,40	m

**10. Piedra B<sub>4</sub>, B<sub>5</sub> y B<sub>6</sub> en función del ancho base**

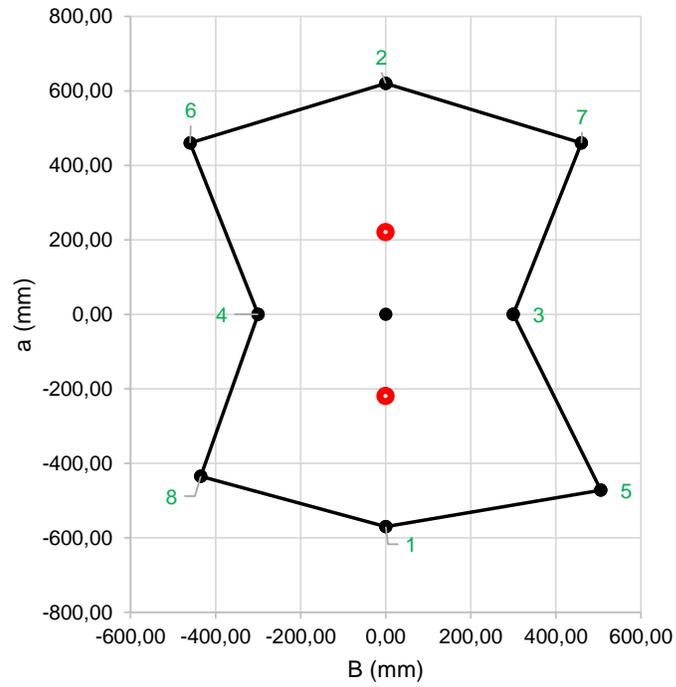
A <sub>4</sub>	689	mm
A <sub>5</sub>	689	mm
A <sub>6</sub>	644	mm
B <sub>4</sub>	344	mm
B <sub>5</sub>	344	mm
B <sub>6</sub>	322	mm

PUNTOS PARA CUELE



- Barreno cargado
- Barreno de expansión
- # Secuencia de explosión

### GEOMETRÍA CUELE



Proyecto de grado en Maestría en Ingeniería Civil. Énfasis en Geotecnia	Análisis de rendimientos para varios sistemas de excavación de túneles en roca.	
<b>BARRENOS DE CUELE TIPO DE TERRENO II</b>		
Volabilidad Roca $\theta$ Barreno carga (mm) L bareno de carga (m) $\theta$ Barreno expansión (mm)	Mala 45 2,0 76	
<b>Cálculo del cuele</b>		
<b>1. Área y numero de barrenos</b>		
Área necesaria N° Barrenos expansión Definir N° de barrenos expansión	56 0,74 1	mm <sup>2</sup>  
<b>2. Distancia entre barreno cargado y los barrenos de expansión</b>		
Distancia mínima $1,75D_2$ $a_1$ y $a_2$ Definir distancia mínima  Control expansión Área a volar Área necesaria (% de expansión) Área disponible	133 130  340 94,7 661 5671	mm mm  mm <sup>2</sup> mm <sup>2</sup> mm <sup>2</sup>
<b>3. Distancia entre la abertura y siguientes barrenos cargados</b>		
Aplicando mismo criterio N° Barrenos expansión Definir N° de barrenos expansión Distancia mínima $1,75D_2$ Definir distancia mínima  Control de expansión Área a volar (% de expansión) Área necesaria	0,37 1 133 130  340 94,7 661 4198	   mm mm  mm <sup>2</sup> mm <sup>2</sup> mm <sup>2</sup>

Proyecto de grado en Maestría en Ingeniería Civil. Énfasis en Geotecnia		Análisis de rendimientos para varios sistemas de excavación de túneles en roca.	
<b>4. Ajuste de <math>a_3</math> y <math>a_4</math>, reduciendo margen de seguridad</b>			
Control de expansión para $a_3$		400	mm
Área a volar ( $\text{mm}^2$ )		21137	$\text{mm}^2$
Área necesaria (% de expansión)	94,7	41158	$\text{mm}^2$
Área disponible		32860	$\text{mm}^2$
Control de expansión para $a_4$		350	mm
Área a volar ( $\text{mm}^2$ )		18112	$\text{mm}^2$
Área necesaria (% de expansión)	94,7	35268	$\text{mm}^2$
Área disponible		29835	$\text{mm}^2$
<b>5. Piedra <math>B_1</math>, en función del ancho base</b>			
Ancho base $A_1$		0,34	m
Ancho de base $B_1$ (Ilustración 3 – 68 )		0,25	m
Control de expansión		64364	$\text{mm}^2$
Área necesaria (% de expansión)	94,7	125333	$\text{mm}^2$
Área disponible		70036	$\text{mm}^2$
<b>6. Reducción de la piedra <math>B_1</math></b>			
Reducción de $B_1$		300	mm
Área a volar		47564	$\text{mm}^2$
Área necesaria (% de expansión)	94,7	92620	$\text{mm}^2$
Área disponible		53236	$\text{mm}^2$
<b>7. Piedra <math>B_2</math> en función del ancho base</b>			
	$A_2$	1055	mm
	$B_2$	0,61	m
Área a volar		288543	$\text{mm}^2$
Área necesaria (% de expansión)	94,7	561864	$\text{mm}^2$
Área disponible		412882	$\text{mm}^2$

**8. Reducción de piedra B<sub>2</sub>** 0,3 m

Área a volar		126336	mm <sup>2</sup>
Área necesaria (% de expansión)	94,7	246008	mm <sup>2</sup>
Área disponible		250676	mm <sup>2</sup>

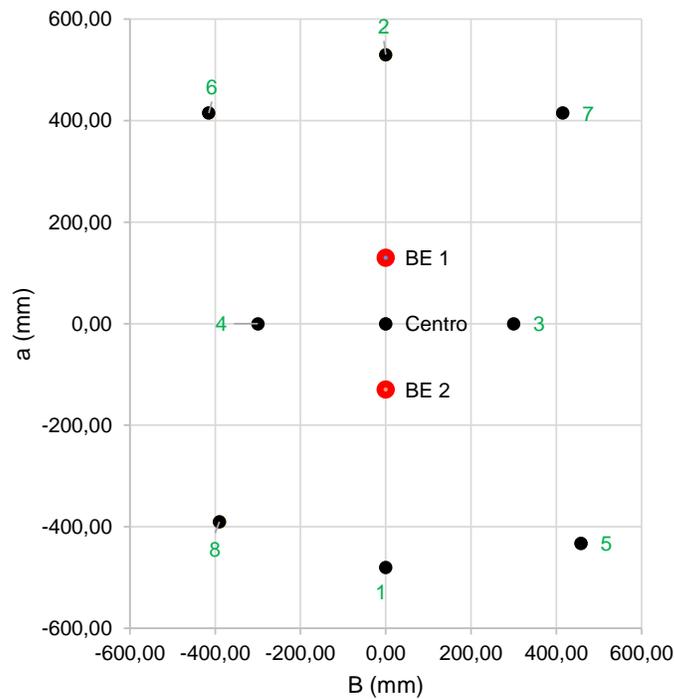
**9. Piedra B<sub>3</sub> en función del ancho base**

A <sub>3</sub>	566	mm
B <sub>3</sub>	0,36	m

**10. Piedra B<sub>4</sub>, B<sub>5</sub> y B<sub>6</sub> en función del ancho base**

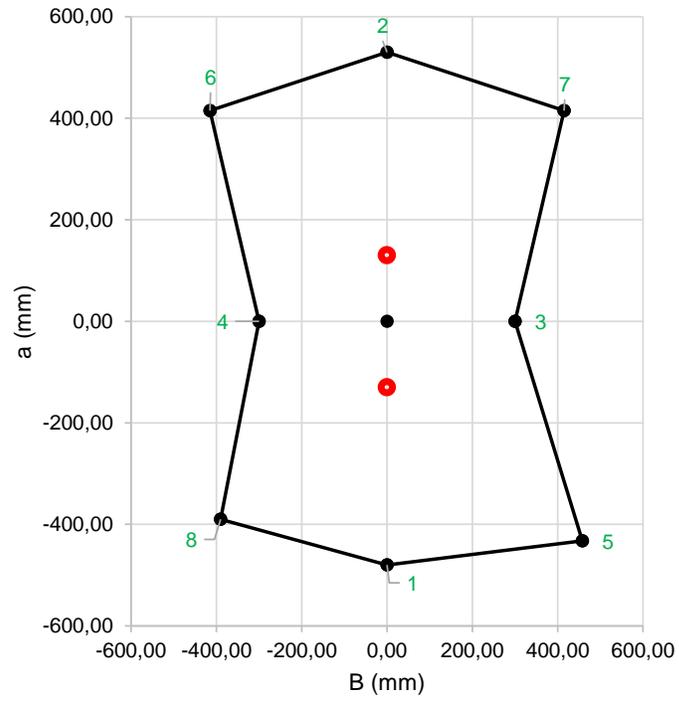
A <sub>4</sub>	609	mm
A <sub>5</sub>	609	mm
A <sub>6</sub>	566	mm
B <sub>4</sub>	305	mm
B <sub>5</sub>	305	mm
B <sub>6</sub>	283	mm

PUNTOS PARA CUELE



- Barreno cargado
- Barreno de expansión
- # Secuencia de explosión

### GEOMETRÍA DEL CUELE



Proyecto de grado en Maestría en Ingeniería Civil. Énfasis en Geotecnia		Análisis de rendimientos para varios sistemas de excavación de túneles en roca.	
<b>BARRENOS DE CUELE TIPO DE TERRENO</b>		<b>IIIa</b>	
Volabilidad Roca		Mala	
$\theta$ Barreno carga (mm)		45	
L bareno de carga (m)		2,0	
$\theta$ Barreno expansión (mm)		76	
<b>Cálculo del cuele</b>			
<b>1. Área y numero de barrenos</b>			
Área necesaria		56	mm <sup>2</sup>
N° Barrenos expansión		0,74	
Definir N° de barrenos expansión		1	
<b>2. Distancia entre barreno cargado y los barrenos de expansión</b>			
Distancia mínima $1,75D_2$ $a_1$ y $a_2$		133	mm
Definir distancia mínima		130	mm
Control expansión			
Área a volar		340	mm <sup>2</sup>
Área necesaria (% de expansión)	94,7	661	mm <sup>2</sup>
Área disponible		5671	mm <sup>2</sup>
<b>3. Distancia entre la abertura y siguientes barrenos cargados</b>			
Aplicando mismo criterio			
N° Barrenos expansión		0,37	
Definir N° de barrenos expansión		1	
Distancia mínima $1,75D_2$		133	mm
Definir distancia mínima		130	mm
Control de expansión			
Área a volar (% de expansión)	94,7	661	mm <sup>2</sup>
Área necesaria		4198	mm <sup>2</sup>

Proyecto de grado en Maestría en Ingeniería Civil. Énfasis en Geotecnia		Análisis de rendimientos para varios sistemas de excavación de túneles en roca.	
<b>4. Ajuste de <math>a_3</math> y <math>a_4</math>, reduciendo margen de seguridad</b>			
Control de expansión para $a_3$		400	mm
Área a volar ( $\text{mm}^2$ )		21137	$\text{mm}^2$
Área necesaria (% de expansión)	94,7	41158	$\text{mm}^2$
Área disponible		32860	$\text{mm}^2$
Control de expansión para $a_4$		350	mm
Área a volar ( $\text{mm}^2$ )		18112	$\text{mm}^2$
Área necesaria (% de expansión)	94,7	35268	$\text{mm}^2$
Área disponible		29835	$\text{mm}^2$
<b>5. Piedra <math>B_1</math>, en función del ancho base</b>			
Ancho base $A_1$		0,34	m
Ancho de base $B_1$ (Ilustración 3 – 68 )		0,25	m
Control de expansión		64364	$\text{mm}^2$
Área necesaria (% de expansión)	94,7	125333	$\text{mm}^2$
Área disponible		70036	$\text{mm}^2$
<b>6. Reducción de la piedra <math>B_1</math></b>			
Reducción de $B_1$		300	mm
Área a volar		47564	$\text{mm}^2$
Área necesaria (% de expansión)	94,7	92620	$\text{mm}^2$
Área disponible		53236	$\text{mm}^2$
<b>7. Piedra <math>B_2</math> en función del ancho base</b>			
	$A_2$	1055	mm
	$B_2$	0,61	m
Área a volar		288543	$\text{mm}^2$
Área necesaria (% de expansión)	94,7	561864	$\text{mm}^2$
Área disponible		412882	$\text{mm}^2$

**8. Reducción de piedra B<sub>2</sub>** 0,3 m

Área a volar		126336	mm <sup>2</sup>
Área necesaria (% de expansión)	94,7	246008	mm <sup>2</sup>
Área disponible		250676	mm <sup>2</sup>

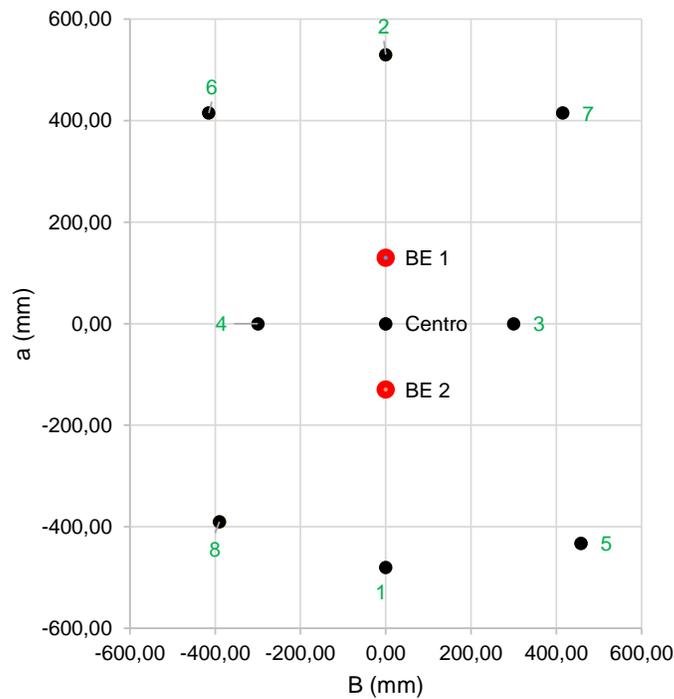
**9. Piedra B<sub>3</sub> en función del ancho base**

A <sub>3</sub>	566	mm
B <sub>3</sub>	0,36	m

**10. Piedra B<sub>4</sub>, B<sub>5</sub> y B<sub>6</sub> en función del ancho base**

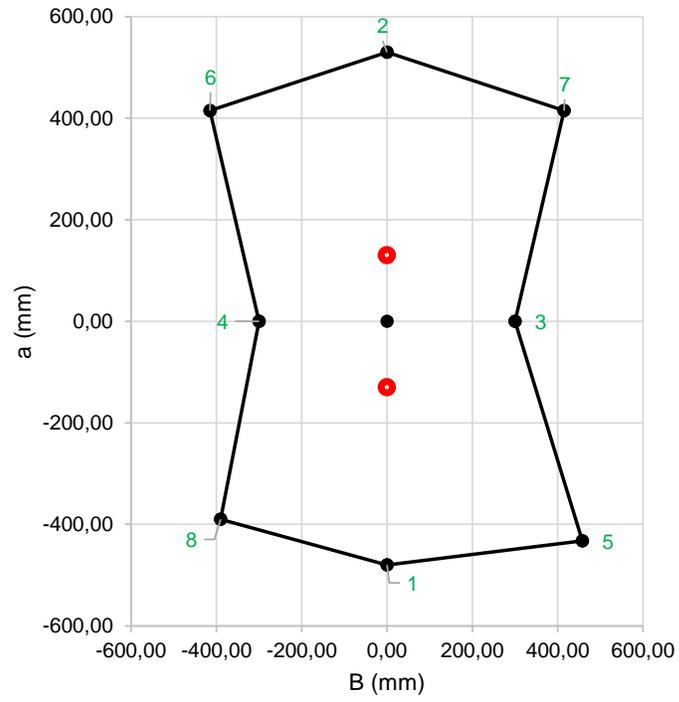
A <sub>4</sub>	609	mm
A <sub>5</sub>	609	mm
A <sub>6</sub>	566	mm
B <sub>4</sub>	305	mm
B <sub>5</sub>	305	mm
B <sub>6</sub>	283	mm

PUNTOS PARA CUELE



- Barreno cargado
- Barreno de expansión
- # Secuencia de explosión

### GEOMETRÍA DEL CUELE



Proyecto de grado en Maestría en Ingeniería Civil. Énfasis en Geotecnia

Análisis de rendimientos para varios sistemas de excavación de túneles en roca.

Elaborado por:  
Ing. Diego Triana

## BARRENOS DE CONTORNO TERRENO TIPO I

$L_{\text{barreno}}$	3,00	m		
Forma del explosivo		Encartuchado		
$Q_c$	2	Kg		
$\rho$	1,5	$\text{g/cm}^3$		
$D_{\text{barreno}}$	0,076	m	76	mm
$L_{\text{cartucho}}$	0,6	m		
$R_c$	0,2			
$S_c$	0,87	m		

### 1. Presión del barreno

Explosivo	ANFO			
$\rho$	1,5	$\text{g/cm}^3$		
VD	3559	m/s	160	
PB	1969,38	MPa		

### 2. Presión del barreno crítico

Tipo de carga		Continua		
d	26	mm		
D	0,076	m		
C	1	0,85		
$PB_{\text{cr}}$	8469,75	MPa		

### 3. Precorte. Espaciamiento entre barrenos

$\sigma_s$ roca	75	MPa		
$PB_e$	8469,75	MPa		
$r_b$	0,038	m		
r	0,017	m		
$\sigma_t$	42319,42	MPa		
S	8,659	m		
$F_R$	643,701	MPa		
$L_{\text{precorte}}$	16,02	m		
N	2			

Proyecto de grado en Maestría en  
Ingeniería Civil. Énfasis en Geotecnia

Análisis de rendimientos para  
varios sistemas de excavación de  
túneles en roca.

Elaborado por:  
Ing. Diego Triana

#### 4. Recorte. Espaciamiento entre barrenos

CE	0,75	Oscila entre 0,5 y 1,0 Kg/cm <sup>3</sup>
Q <sub>l</sub>	0,52	Kg/m
B	0,87	m
S	0,69	m
L <sub>recorte</sub>	16,02	m
N	23	

Proyecto de grado en Maestría en Ingeniería Civil. Énfasis en Geotecnia	Análisis de rendimientos para varios sistemas de excavación de túneles en roca.	Elaborado por: Ing. Diego Triana
---	---	-------------------------------------

**BARRENOS DE CONTORNO TERRENO TIPO II**

$L_{\text{barreno}}$	2,00	m		
Forma del explosivo		Encartuchado		
$Q_c$	2	Kg		
$\rho$	1,5	$\text{g/cm}^3$		
$D_{\text{barreno}}$	0,076	m	76	mm
$L_{\text{cartucho}}$	0,6	m		
$R_c$	0,2			
$S_c$	0,87	m		

**1. Presión del barreno**

Explosivo	Gel			
$\rho$	1,5	$\text{g/cm}^3$		
VD	Digitar VD	m/s	160	m/s
PB	3,98	MPa		

**2. Presión del barreno crítico**

Tipo de carga		Continua		
d	26	mm		
D	0,076	m		
C	1	0,85		
$PB_{\text{cr}}$	17,12	MPa		

**3. Precorte. Espaciamiento entre barrenos**

$\sigma_s \text{ roca}$	75	MPa		
$PB_e$	17,12	MPa		
$r_b$	0,038	m		
r	0,017	m		
$\sigma_t$	85,52	MPa		
S	0,093	m		
$F_R$	1,301	MPa		
$L_{\text{precorte}}$	16,02	m		
N	172			

Proyecto de grado en Maestría en  
Ingeniería Civil. Énfasis en Geotecnia

Análisis de rendimientos para  
varios sistemas de excavación de  
túneles en roca.

Elaborado por:  
Ing. Diego Triana

#### 4. Recorte. Espaciamiento entre barrenos

CE	0,75	Oscila entre 0,5 y 1,0 Kg/cm <sup>3</sup>
Q <sub>l</sub>	0,52	Kg/m
B	0,87	m
S	0,69	m
L <sub>recorte</sub>	16,02	m
N	23	

Proyecto de grado en Maestría en Ingeniería Civil. Énfasis en Geotecnia

Análisis de rendimientos para varios sistemas de excavación de túneles en roca.

Elaborado por:  
Ing. Diego Triana

**BARRENOS DE CONTORNO TERRENO TIPO IIIa**

$L_{\text{barreno}}$	1,50	m		
Forma del explosivo		Encartuchado		
$Q_c$	2	Kg		
$\rho$	1,5	$\text{g/cm}^3$		
$D_{\text{barreno}}$	0,076	m	76	mm
$L_{\text{cartucho}}$	0,6	m		
$R_c$	0,2			
$S_c$	0,87	m		

**1. Presión del barreno**

Explosivo	ANFO		
$\rho$	1,5	$\text{g/cm}^3$	
VD	3559	m/s	160
PB	1969,38	MPa	

**2. Presión del barreno crítico**

Tipo de carga		Continua	
d	26	mm	
D	0,076	m	
C	1	0,85	
$PB_{\text{cr}}$	8469,75	MPa	

**3. Precorte. Espaciamiento entre barrenos**

$\sigma_s \text{ roca}$	75	MPa	
$PB_e$	8469,75	MPa	
$r_b$	0,038	m	
r	0,017	m	
$\sigma_t$	42319,42	MPa	
S	8,659	m	
$F_R$	643,701	MPa	
$L_{\text{precorte}}$	16,02	m	
N	2		

Proyecto de grado en Maestría en  
Ingeniería Civil. Énfasis en Geotecnia

Análisis de rendimientos para  
varios sistemas de excavación de  
túneles en roca.

Elaborado por:  
Ing. Diego Triana

#### 4. Recorte. Espaciamiento entre barrenos

CE	0,75	Oscila entre 0,5 y 1,0 Kg/cm <sup>3</sup>
Q <sub>l</sub>	0,52	Kg/m
B	0,87	m
S	0,69	m
L <sub>recorte</sub>	16,02	m
N	23	

Proyecto de grado en Maestría en Ingeniería Civil. Énfasis en Geotecnia	Análisis de rendimientos para varios sistemas de excavación de túneles en roca.	Elaborado por: Ing. Diego Triana
<b>BARRENOS DE DESTROZA TERRENO TIPO I</b>		
<b>Datos de entrada</b> Longitud barreno 3,00 m		
<b>1. Barrenos de piso o zapateras</b>		
Diámetro barreno	38,00 mm	
Tipo de explosivo	EMULITE 150 en cartuchos de papel. Densidad de carga 1,20 Kg/litro	
<b>Carga de fondo</b>		
Carga lineal $Q_f$	1,35 Kg/m	
Longitud carga de fondo $H_f$	1,00 m	
Carga de fondo $Q_f$	1,35 Kg	
<b>Carga de columna</b>		
$q_c = q_f$	1,35	
B=	1,00 m	
$H_a =$	0,20 m	
$H_c =$	1,80 m	
$Q_c = Q_f$	2,43 Kg	
<b>Carga total Q</b>	3,78 Kg	
<b>Resumen</b>		
	B	1,00 m
	S	1,10 m
	Q	3,78 Kg
<b>2. Barrenos hastiales</b>		
Diámetro barreno	30,00 mm	
Tipo de explosivo	DYMANEX M en cartuchos de papel. Densidad de carga 1,25 Kg/litro	
<b>Carga de fondo</b>		
Carga lineal $Q_f$	0,88 Kg/m	
Longitud carga de fondo $H_f$	0,50 m	
Carga de fondo $Q_f$	0,44 Kg	

<b>Proyecto de grado en Maestría en Ingeniería Civil. Énfasis en Geotecnia</b>	<b>Análisis de rendimientos para varios sistemas de excavación de túneles en roca.</b>	<b>Elaborado por: Ing. Diego Triana</b>
--	--	---

<b>Carga de columna</b>			
$q_c = q_f$		0,35	Kg/m
B=		0,70	m
$H_a =$		0,35	m
$H_c =$		2,15	m
$Q_c = Q_f$		0,76	Kg
<b>Carga total Q</b>		1,20	Kg
<b>Resumen</b>			
	B	0,70	m
	S	0,77	m
	Q	1,20	Kg

### 3. Barrenos de techo

Diámetro barreno	32,00	mm
Tipo de explosivo	EMULITE 150 en tubos de plástico	
<b>Carga de fondo</b>		
Carga lineal $Q_f$	0,96	Kg/m
Longitud carga de fondo $H_f$	0,50	m
Carga de fondo $Q_f$	0,48	Kg

<b>Carga de columna</b>			
$q_c = q_f$		0,29	Kg/m
B=		0,70	m
$H_a =$		0,35	m
$H_c =$		2,15	m
$Q_c = Q_f$		0,62	Kg
<b>Carga total Q</b>		1,10	Kg
<b>Resumen</b>			
	B	0,70	m
	S	0,77	m
	Q	1,10	Kg

<b>Proyecto de grado en Maestría en Ingeniería Civil. Énfasis en Geotecnia</b>	<b>Análisis de rendimientos para varios sistemas de excavación de túneles en roca.</b>	<b>Elaborado por: Ing. Diego Triana</b>
--	--	---

#### 4. Destroza hacia arriba y horizontal

Diámetro barreno	29,00 mm	
Tipo de explosivo	EMULITE 150 en tubos de plástico	

#### **Carga de fondo**

Carga lineal $Q_f$	0,80	Kg/m
Longitud carga de fondo $H_f$	1,00	m
Carga de fondo $Q_f$	0,80	Kg

#### **Carga de columna**

$q_c = q_f$	0,40	Kg/m
$B =$	0,70	m
$H_a =$	0,35	m
$H_c =$	1,65	m
$Q_c = Q_f$	0,66	Kg

#### **Carga total Q**

1,46 Kg

#### **Resumen**

B	0,70	m
S	0,77	m
Q	1,46	Kg

#### 5. Destroza hacia arriba y horizontal

Diámetro barreno	41,00 mm	
Tipo de explosivo	ANFO, cargado automáticamente	

#### **Carga de fondo**

Carga lineal $Q_f$	1,03	Kg/m
Longitud carga de fondo $H_f$	1,00	m
Carga de fondo $Q_f$	1,03	Kg

#### **Carga de columna**

$q_c = q_f$	0,52	Kg/m
$B =$	0,80	m
$H_a =$	0,40	m
$H_c =$	1,60	m
$Q_c = Q_f$	0,82	Kg

Proyecto de grado en Maestría en Ingeniería Civil. Énfasis en Geotecnia	Análisis de rendimientos para varios sistemas de excavación de túneles en roca.	Elaborado por: Ing. Diego Triana																																																				
<b>Carga total Q</b> <b>Resumen</b>	1,85 Kg  B 0,80 m S 0,88 m Q 1,85 Kg																																																					
<b>6. Número de barrenos</b>																																																						
<b>Consumo específico de explosivo</b> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">RC</td> <td style="width: 15%; text-align: center;">150,00</td> <td style="width: 15%;">Kg/cm<sup>2</sup></td> <td style="width: 55%;"></td> </tr> <tr> <td>D<sub>barreno</sub></td> <td style="text-align: center;">41,00</td> <td>mm</td> <td></td> </tr> <tr> <td>f</td> <td style="text-align: center;">15,00</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>α</td> <td style="text-align: center;">1,65</td> <td></td> <td>Valor que varia entre 1,5 a 1,8</td> </tr> <tr> <td>S</td> <td style="text-align: center;">23,20</td> <td>m<sup>2</sup></td> <td></td> </tr> <tr> <td>CE</td> <td style="text-align: center;">1,40</td> <td>Kg/m<sup>3</sup></td> <td>Langefors-Kihistrom, Limitación 4&lt;=S&lt;=100 m<sup>2</sup></td> </tr> <tr> <td>CE</td> <td style="text-align: center;">0,78</td> <td>Kg/m<sup>3</sup></td> <td>Protodyakonov</td> </tr> <tr> <td>CE</td> <td style="text-align: center;">1,73</td> <td>Kg/m<sup>3</sup></td> <td>Ucar</td> </tr> <tr> <td>CE<sub>i</sub></td> <td style="text-align: center;">1,25</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>k</td> <td style="text-align: center;">1,7</td> <td></td> <td>Coeficiente que varia entre 1,4 a 2,0</td> </tr> <tr> <td>v</td> <td style="text-align: center;">1,35</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>e</td> <td style="text-align: center;">1,00</td> <td></td> <td>Factor que varia entre 0,8 a 1,2</td> </tr> <tr> <td>CE</td> <td style="text-align: center;">3,92</td> <td>Kg/m<sup>3</sup></td> <td></td> </tr> </table> <div style="text-align: right; margin-top: 20px;">       Pokrovsky     </div>			RC	150,00	Kg/cm <sup>2</sup>		D <sub>barreno</sub>	41,00	mm		f	15,00			α	1,65		Valor que varia entre 1,5 a 1,8	S	23,20	m <sup>2</sup>		CE	1,40	Kg/m <sup>3</sup>	Langefors-Kihistrom, Limitación 4<=S<=100 m <sup>2</sup>	CE	0,78	Kg/m <sup>3</sup>	Protodyakonov	CE	1,73	Kg/m <sup>3</sup>	Ucar	CE <sub>i</sub>	1,25			k	1,7		Coeficiente que varia entre 1,4 a 2,0	v	1,35			e	1,00		Factor que varia entre 0,8 a 1,2	CE	3,92	Kg/m <sup>3</sup>	
RC	150,00	Kg/cm <sup>2</sup>																																																				
D <sub>barreno</sub>	41,00	mm																																																				
f	15,00																																																					
α	1,65		Valor que varia entre 1,5 a 1,8																																																			
S	23,20	m <sup>2</sup>																																																				
CE	1,40	Kg/m <sup>3</sup>	Langefors-Kihistrom, Limitación 4<=S<=100 m <sup>2</sup>																																																			
CE	0,78	Kg/m <sup>3</sup>	Protodyakonov																																																			
CE	1,73	Kg/m <sup>3</sup>	Ucar																																																			
CE <sub>i</sub>	1,25																																																					
k	1,7		Coeficiente que varia entre 1,4 a 2,0																																																			
v	1,35																																																					
e	1,00		Factor que varia entre 0,8 a 1,2																																																			
CE	3,92	Kg/m <sup>3</sup>																																																				
<b>Consumo específico promedio de explosivo</b> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">CE<sub>0</sub></td> <td style="width: 15%; text-align: center;">7,5</td> <td style="width: 15%;">Kg/m<sup>3</sup></td> <td style="width: 55%;">Varía entre 7 a 8 Kg/m<sup>3</sup></td> </tr> <tr> <td>S<sub>0</sub></td> <td style="text-align: center;">1,5</td> <td>m<sup>2</sup></td> <td>Varía entre 1 a 2 m<sup>2</sup></td> </tr> <tr> <td>Q<sub>0</sub></td> <td style="text-align: center;">0,32</td> <td>Kg</td> <td></td> </tr> <tr> <td>CE<sub>1</sub></td> <td style="text-align: center;">1,15</td> <td>Kg/m<sup>3</sup></td> <td>Varía entre 0,8 a 1,5 Kg/m<sup>3</sup></td> </tr> <tr> <td>S<sub>1</sub></td> <td style="text-align: center;">21,70</td> <td>m<sup>2</sup></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Q<sub>1</sub></td> <td style="text-align: center;">0,71</td> <td>Kg</td> <td></td> </tr> <tr> <td>CE</td> <td style="text-align: center;">1,56</td> <td>Kg/m<sup>3</sup></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Q<sub>T</sub></td> <td style="text-align: center;">1,03</td> <td>Kg</td> <td></td> </tr> </table>			CE <sub>0</sub>	7,5	Kg/m <sup>3</sup>	Varía entre 7 a 8 Kg/m <sup>3</sup>	S <sub>0</sub>	1,5	m <sup>2</sup>	Varía entre 1 a 2 m <sup>2</sup>	Q <sub>0</sub>	0,32	Kg		CE <sub>1</sub>	1,15	Kg/m <sup>3</sup>	Varía entre 0,8 a 1,5 Kg/m <sup>3</sup>	S <sub>1</sub>	21,70	m <sup>2</sup>		Q <sub>1</sub>	0,71	Kg		CE	1,56	Kg/m <sup>3</sup>		Q <sub>T</sub>	1,03	Kg																					
CE <sub>0</sub>	7,5	Kg/m <sup>3</sup>	Varía entre 7 a 8 Kg/m <sup>3</sup>																																																			
S <sub>0</sub>	1,5	m <sup>2</sup>	Varía entre 1 a 2 m <sup>2</sup>																																																			
Q <sub>0</sub>	0,32	Kg																																																				
CE <sub>1</sub>	1,15	Kg/m <sup>3</sup>	Varía entre 0,8 a 1,5 Kg/m <sup>3</sup>																																																			
S <sub>1</sub>	21,70	m <sup>2</sup>																																																				
Q <sub>1</sub>	0,71	Kg																																																				
CE	1,56	Kg/m <sup>3</sup>																																																				
Q <sub>T</sub>	1,03	Kg																																																				

Proyecto de grado en Maestría en Ingeniería Civil. Énfasis en Geotecnia	Análisis de rendimientos para varios sistemas de excavación de túneles en roca.	Elaborado por: Ing. Diego Triana
<b>Número de barrenos</b>		
$L_p$	3,00 m	
$\eta$	95%	Varia entre 90 y 95 %
$k$	1,08	Varía entre 1,05 a 1,1
$\rho_e$	1,5 g/cm <sup>3</sup>	
$d_{\text{explosivo}}$	25 mm	
$q_l$	0,78 Kg/m	
$L_c$	2,59 m	
N	46	Langefors-Kihistrom, Limitación $4 \leq S \leq 100 \text{ m}^2$
N	25	Protodyakonov
N	57	Ucar
N	128	Pokrovsky

<b>Proyecto de grado en Maestría en Ingeniería Civil. Énfasis en Geotecnia</b>	<b>Análisis de rendimientos para varios sistemas de excavación de túneles en roca.</b>	<b>Elaborado por: Ing. Diego Triana</b>
<b>BARRENOS DE DESTROZA TERRENO TIPO II</b>		
<b>Datos de entrada</b> Longitud barreno 2,00 m		
<b>1. Barrenos de piso o zapateras</b>		
Diámetro barreno Tipo de explosivo	38,00 mm EMULITE 150 en cartuchos de papel. Densidad de carga 1,20 Kg/litro	
<b>Carga de fondo</b> Carga lineal $Q_f$ 1,35 Kg/m Longitud carga de fondo $H_f$ 0,67 m Carga de fondo $Q_f$ 0,90 Kg		
<b>Carga de columna</b> $q_c = q_f$ 1,35 $B =$ 1,00 m $H_a =$ 0,20 m $H_c =$ 1,13 m $Q_c = Q_f$ 1,53 Kg <b>Carga total Q</b> 2,43 Kg <b>Resumen</b> B 1,00 m S 1,10 m Q 2,43 Kg		
<b>2. Barrenos hastiales</b>		
Diámetro barreno Tipo de explosivo	30,00 mm DYMANEX M en cartuchos de papel. Densidad de carga 1,25 Kg/litro	
<b>Carga de fondo</b> Carga lineal $Q_f$ 0,88 Kg/m Longitud carga de fondo $H_f$ 0,33 m Carga de fondo $Q_f$ 0,29 Kg		

Proyecto de grado en Maestría en Ingeniería Civil. Énfasis en Geotecnia	Análisis de rendimientos para varios sistemas de excavación de túneles en roca.	Elaborado por: Ing. Diego Triana																								
<p><b>Carga de columna</b></p> <table data-bbox="159 325 803 504"> <tr><td><math>q_c = q_f</math></td><td>0,35</td><td>Kg/m</td></tr> <tr><td>B=</td><td>0,70</td><td>m</td></tr> <tr><td><math>H_a =</math></td><td>0,35</td><td>m</td></tr> <tr><td><math>H_c =</math></td><td>1,32</td><td>m</td></tr> <tr><td><math>Q_c = Q_f</math></td><td>0,46</td><td>Kg</td></tr> </table> <p><b>Carga total Q</b> 0,76 Kg</p> <p><b>Resumen</b></p> <table data-bbox="511 619 803 724"> <tr><td>B</td><td>0,70</td><td>m</td></tr> <tr><td>S</td><td>0,77</td><td>m</td></tr> <tr><td>Q</td><td>0,76</td><td>Kg</td></tr> </table>			$q_c = q_f$	0,35	Kg/m	B=	0,70	m	$H_a =$	0,35	m	$H_c =$	1,32	m	$Q_c = Q_f$	0,46	Kg	B	0,70	m	S	0,77	m	Q	0,76	Kg
$q_c = q_f$	0,35	Kg/m																								
B=	0,70	m																								
$H_a =$	0,35	m																								
$H_c =$	1,32	m																								
$Q_c = Q_f$	0,46	Kg																								
B	0,70	m																								
S	0,77	m																								
Q	0,76	Kg																								
<p><b>3. Barrenos de techo</b></p>																										
<table data-bbox="159 829 1463 903"> <tr> <td data-bbox="159 829 592 861">Diámetro barreno</td> <td data-bbox="592 829 738 861" style="background-color: #d9ead3;">32,00</td> <td data-bbox="738 829 1463 861">mm</td> </tr> <tr> <td data-bbox="159 861 592 892">Tipo de explosivo</td> <td colspan="2" data-bbox="592 861 1463 892" style="background-color: #d9ead3;">EMULITE 150 en tubos de plástico</td> </tr> </table> <p><b>Carga de fondo</b></p> <table data-bbox="159 966 803 1081"> <tr><td>Carga lineal <math>Q_f</math></td><td>0,96</td><td>Kg/m</td></tr> <tr><td>Longitud carga de fondo <math>H_f</math></td><td>0,33</td><td>m</td></tr> <tr><td>Carga de fondo <math>Q_f</math></td><td>0,32</td><td>Kg</td></tr> </table>			Diámetro barreno	32,00	mm	Tipo de explosivo	EMULITE 150 en tubos de plástico		Carga lineal $Q_f$	0,96	Kg/m	Longitud carga de fondo $H_f$	0,33	m	Carga de fondo $Q_f$	0,32	Kg									
Diámetro barreno	32,00	mm																								
Tipo de explosivo	EMULITE 150 en tubos de plástico																									
Carga lineal $Q_f$	0,96	Kg/m																								
Longitud carga de fondo $H_f$	0,33	m																								
Carga de fondo $Q_f$	0,32	Kg																								
<p><b>Carga de columna</b></p> <table data-bbox="159 1144 803 1333"> <tr><td><math>q_c = q_f</math></td><td>0,29</td><td>Kg/m</td></tr> <tr><td>B=</td><td>0,70</td><td>m</td></tr> <tr><td><math>H_a =</math></td><td>0,35</td><td>m</td></tr> <tr><td><math>H_c =</math></td><td>1,32</td><td>m</td></tr> <tr><td><math>Q_c = Q_f</math></td><td>0,38</td><td>Kg</td></tr> </table> <p><b>Carga total Q</b> 0,70 Kg</p> <p><b>Resumen</b></p> <table data-bbox="511 1438 803 1543"> <tr><td>B</td><td>0,70</td><td>m</td></tr> <tr><td>S</td><td>0,77</td><td>m</td></tr> <tr><td>Q</td><td>0,70</td><td>Kg</td></tr> </table>			$q_c = q_f$	0,29	Kg/m	B=	0,70	m	$H_a =$	0,35	m	$H_c =$	1,32	m	$Q_c = Q_f$	0,38	Kg	B	0,70	m	S	0,77	m	Q	0,70	Kg
$q_c = q_f$	0,29	Kg/m																								
B=	0,70	m																								
$H_a =$	0,35	m																								
$H_c =$	1,32	m																								
$Q_c = Q_f$	0,38	Kg																								
B	0,70	m																								
S	0,77	m																								
Q	0,70	Kg																								

Proyecto de grado en Maestría en Ingeniería Civil. Énfasis en Geotecnia	Análisis de rendimientos para varios sistemas de excavación de túneles en roca.	Elaborado por: Ing. Diego Triana
---	---	-------------------------------------

#### 4. Destroza hacia arriba y horizontal

Diámetro barreno	29,00 mm	
Tipo de explosivo	EMULITE 150 en tubos de plástico	

#### Carga de fondo

Carga lineal $Q_f$	0,80	Kg/m
Longitud carga de fondo $H_f$	0,67	m
Carga de fondo $Q_f$	0,53	Kg

#### Carga de columna

$q_c = q_f$	0,40	Kg/m
B=	0,70	m
$H_a =$	0,35	m
$H_c =$	0,98	m
$Q_c = Q_f$	0,39	Kg

#### Carga total Q

	0,93	Kg
--	------	----

#### Resumen

	B	0,70	m
	S	0,77	m
	Q	0,93	Kg

#### 5. Destroza hacia arriba y horizontal

Diámetro barreno	41,00 mm	
Tipo de explosivo	ANFO, cargado automáticamente	

#### Carga de fondo

Carga lineal $Q_f$	1,03	Kg/m
Longitud carga de fondo $H_f$	0,67	m
Carga de fondo $Q_f$	0,69	Kg

#### Carga de columna

$q_c = q_f$	0,52	Kg/m
B=	0,80	m
$H_a =$	0,40	m
$H_c =$	0,93	m
$Q_c = Q_f$	0,48	Kg

Proyecto de grado en Maestría en Ingeniería Civil. Énfasis en Geotecnia	Análisis de rendimientos para varios sistemas de excavación de túneles en roca.	Elaborado por: Ing. Diego Triana
<b>Carga total Q</b> <b>Resumen</b>	1,17 Kg  B 0,80 m S 0,88 m Q 1,17 Kg	
<b>6. Número de barrenos</b>		
<b>Consumo específico de explosivo</b>		
RC $D_{\text{barreno}}$ f $\alpha$ S CE CE CE  $CE_i$ k v e CE	150,00 Kg/cm <sup>2</sup> 41,00 mm 15,00 1,65 23,20 m <sup>2</sup> 1,40 Kg/m <sup>3</sup> 0,78 Kg/m <sup>3</sup> 1,73 Kg/m <sup>3</sup>  1,25 1,7 1,35 1,00 3,92 Kg/m <sup>3</sup>	Valor que varia entre 1,5 a 1,8  Langefors-Kihistrom, Limitación $4 \leq S \leq 100 \text{ m}^2$ Protodyakonov Ucar  Coeficiente que varia entre 1,4 a 2,0  Factor que varia entre 0,8 a 1,2  Pokrovsky
<b>Consumo específico promedio de explosivo</b>		
$CE_0$ $S_0$  $Q_0$ $CE_1$ $S_1$ $Q_1$ CE $Q_T$	7,5 Kg/m <sup>3</sup> 1,5 m <sup>2</sup>  0,21 Kg 1,15 Kg/m <sup>3</sup> 21,70 m <sup>2</sup> 0,47 Kg 1,56 Kg/m <sup>3</sup> 0,69 Kg	Varía entre 7 a 8 Kg/m <sup>3</sup> Varía entre 1 a 2 m <sup>2</sup>  Varía entre 0,8 a 1,5 Kg/m <sup>3</sup>

<b>Proyecto de grado en Maestría en Ingeniería Civil. Énfasis en Geotecnia</b>	<b>Análisis de rendimientos para varios sistemas de excavación de túneles en roca.</b>	<b>Elaborado por: Ing. Diego Triana</b>
--	--	---

**Número de barrenos**

$L_p$	2,00	m	
$\eta$	95%		Varia entre 90 y 95 %
$k$	1,08		Varía entre 1,05 a 1,1
$\rho_e$	1,5	$g/cm^3$	
$d_{\text{explosivo}}$	25	mm	
$q_l$	0,78	$Kg/m$	
$L_c$	1,59	m	
N	50		Langefors-Kihistrom, Limitación $4 \leq S \leq 100 \text{ m}^2$
N	28		Protodyakonov
N	61		Ucar
N	139		Pokrovsky

<b>Proyecto de grado en Maestría en Ingeniería Civil. Énfasis en Geotecnia</b>	<b>Análisis de rendimientos para varios sistemas de excavación de túneles en roca.</b>	<b>Elaborado por: Ing. Diego Triana</b>
<b>BARRENOS DE DESTROZA TERRENO TIPO IIIa</b>		
<b>Datos de entrada</b> Longitud barreno 1,50 m		
<b>1. Barrenos de piso o zapateras</b>		
Diámetro barreno Tipo de explosivo	38,00 mm EMULITE 150 en cartuchos de papel. Densidad de carga 1,20 Kg/litro	
<b>Carga de fondo</b> Carga lineal $Q_f$ 1,35 Kg/m Longitud carga de fondo $H_f$ 0,50 m Carga de fondo $Q_f$ 0,68 Kg		
<b>Carga de columna</b> $q_c = q_f$ 1,35 $B =$ 1,00 m $H_a =$ 0,20 m $H_c =$ 0,80 m $Q_c = Q_f$ 1,08 Kg <b>Carga total Q</b> 1,76 Kg <b>Resumen</b> B 1,00 m S 1,10 m Q 1,76 Kg		
<b>2. Barrenos hastiales</b>		
Diámetro barreno Tipo de explosivo	30,00 mm DYMANEX M en cartuchos de papel. Densidad de carga 1,25 Kg/litro	
<b>Carga de fondo</b> Carga lineal $Q_f$ 0,88 Kg/m Longitud carga de fondo $H_f$ 0,25 m Carga de fondo $Q_f$ 0,22 Kg		

Proyecto de grado en Maestría en Ingeniería Civil. Énfasis en Geotecnia	Análisis de rendimientos para varios sistemas de excavación de túneles en roca.	Elaborado por: Ing. Diego Triana																														
<p><b>Carga de columna</b></p> <table> <tr> <td><math>q_c = q_f</math></td> <td>0,35</td> <td>Kg/m</td> </tr> <tr> <td>B=</td> <td>0,70</td> <td>m</td> </tr> <tr> <td><math>H_a =</math></td> <td>0,35</td> <td>m</td> </tr> <tr> <td><math>H_c =</math></td> <td>0,90</td> <td>m</td> </tr> <tr> <td><math>Q_c = Q_f</math></td> <td>0,32</td> <td>Kg</td> </tr> <tr> <td><b>Carga total Q</b></td> <td>0,54</td> <td>Kg</td> </tr> <tr> <td colspan="3"><b>Resumen</b></td> </tr> <tr> <td></td> <td>B</td> <td>0,70 m</td> </tr> <tr> <td></td> <td>S</td> <td>0,77 m</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Q</td> <td>0,54 Kg</td> </tr> </table>			$q_c = q_f$	0,35	Kg/m	B=	0,70	m	$H_a =$	0,35	m	$H_c =$	0,90	m	$Q_c = Q_f$	0,32	Kg	<b>Carga total Q</b>	0,54	Kg	<b>Resumen</b>				B	0,70 m		S	0,77 m		Q	0,54 Kg
$q_c = q_f$	0,35	Kg/m																														
B=	0,70	m																														
$H_a =$	0,35	m																														
$H_c =$	0,90	m																														
$Q_c = Q_f$	0,32	Kg																														
<b>Carga total Q</b>	0,54	Kg																														
<b>Resumen</b>																																
	B	0,70 m																														
	S	0,77 m																														
	Q	0,54 Kg																														
<b>3. Barrenos de techo</b>																																
<table> <tr> <td>Diámetro barreno</td> <td>32,00</td> <td>mm</td> </tr> <tr> <td>Tipo de explosivo</td> <td colspan="2">EMULITE 150 en tubos de plástico</td> </tr> </table>			Diámetro barreno	32,00	mm	Tipo de explosivo	EMULITE 150 en tubos de plástico																									
Diámetro barreno	32,00	mm																														
Tipo de explosivo	EMULITE 150 en tubos de plástico																															
<p><b>Carga de fondo</b></p> <table> <tr> <td>Carga lineal <math>Q_f</math></td> <td>0,96</td> <td>Kg/m</td> </tr> <tr> <td>Longitud carga de fondo <math>H_f</math></td> <td>0,25</td> <td>m</td> </tr> <tr> <td>Carga de fondo <math>Q_f</math></td> <td>0,24</td> <td>Kg</td> </tr> </table>			Carga lineal $Q_f$	0,96	Kg/m	Longitud carga de fondo $H_f$	0,25	m	Carga de fondo $Q_f$	0,24	Kg																					
Carga lineal $Q_f$	0,96	Kg/m																														
Longitud carga de fondo $H_f$	0,25	m																														
Carga de fondo $Q_f$	0,24	Kg																														
<p><b>Carga de columna</b></p> <table> <tr> <td><math>q_c = q_f</math></td> <td>0,29</td> <td>Kg/m</td> </tr> <tr> <td>B=</td> <td>0,70</td> <td>m</td> </tr> <tr> <td><math>H_a =</math></td> <td>0,35</td> <td>m</td> </tr> <tr> <td><math>H_c =</math></td> <td>0,90</td> <td>m</td> </tr> <tr> <td><math>Q_c = Q_f</math></td> <td>0,26</td> <td>Kg</td> </tr> <tr> <td><b>Carga total Q</b></td> <td>0,50</td> <td>Kg</td> </tr> <tr> <td colspan="3"><b>Resumen</b></td> </tr> <tr> <td></td> <td>B</td> <td>0,70 m</td> </tr> <tr> <td></td> <td>S</td> <td>0,77 m</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Q</td> <td>0,50 Kg</td> </tr> </table>			$q_c = q_f$	0,29	Kg/m	B=	0,70	m	$H_a =$	0,35	m	$H_c =$	0,90	m	$Q_c = Q_f$	0,26	Kg	<b>Carga total Q</b>	0,50	Kg	<b>Resumen</b>				B	0,70 m		S	0,77 m		Q	0,50 Kg
$q_c = q_f$	0,29	Kg/m																														
B=	0,70	m																														
$H_a =$	0,35	m																														
$H_c =$	0,90	m																														
$Q_c = Q_f$	0,26	Kg																														
<b>Carga total Q</b>	0,50	Kg																														
<b>Resumen</b>																																
	B	0,70 m																														
	S	0,77 m																														
	Q	0,50 Kg																														

<b>Proyecto de grado en Maestría en Ingeniería Civil. Énfasis en Geotecnia</b>	<b>Análisis de rendimientos para varios sistemas de excavación de túneles en roca.</b>	<b>Elaborado por: Ing. Diego Triana</b>
--	--	---

#### 4. Destroza hacia arriba y horizontal

Diámetro barreno	29,00 mm	
Tipo de explosivo	EMULITE 150 en tubos de plástico	

##### **Carga de fondo**

Carga lineal $Q_f$	0,80	Kg/m
Longitud carga de fondo $H_f$	0,50	m
Carga de fondo $Q_f$	0,40	Kg

##### **Carga de columna**

$q_c = q_f$	0,40	Kg/m
B=	0,70	m
$H_a =$	0,35	m
$H_c =$	0,65	m
$Q_c = Q_f$	0,26	Kg

##### **Carga total Q**

0,66 Kg

##### **Resumen**

B	0,70	m
S	0,77	m
Q	0,66	Kg

#### 5. Destroza hacia arriba y horizontal

Diámetro barreno	41,00 mm	
Tipo de explosivo	ANFO, cargado automáticamente	

##### **Carga de fondo**

Carga lineal $Q_f$	1,03	Kg/m
Longitud carga de fondo $H_f$	0,50	m
Carga de fondo $Q_f$	0,52	Kg

##### **Carga de columna**

$q_c = q_f$	0,52	Kg/m
B=	0,80	m
$H_a =$	0,40	m
$H_c =$	0,60	m
$Q_c = Q_f$	0,31	Kg

Proyecto de grado en Maestría en Ingeniería Civil. Énfasis en Geotecnia	Análisis de rendimientos para varios sistemas de excavación de túneles en roca.	Elaborado por: Ing. Diego Triana																																																				
<b>Carga total Q</b> <b>Resumen</b>	0,82 Kg  B 0,80 m S 0,88 m Q 0,82 Kg																																																					
<b>6. Número de barrenos</b>																																																						
<b>Consumo específico de explosivo</b> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">RC</td> <td style="width: 15%; text-align: center;">150,00</td> <td style="width: 15%;">Kg/cm<sup>2</sup></td> <td style="width: 55%;"></td> </tr> <tr> <td>D<sub>barreno</sub></td> <td style="text-align: center;">41,00</td> <td>mm</td> <td></td> </tr> <tr> <td>f</td> <td style="text-align: center;">15,00</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>α</td> <td style="text-align: center;">1,65</td> <td></td> <td>Valor que varia entre 1,5 a 1,8</td> </tr> <tr> <td>S</td> <td style="text-align: center;">23,20</td> <td>m<sup>2</sup></td> <td></td> </tr> <tr> <td>CE</td> <td style="text-align: center;">1,40</td> <td>Kg/m<sup>3</sup></td> <td>Langefors-Kihistrom, Limitación 4&lt;=S&lt;=100 m<sup>2</sup></td> </tr> <tr> <td>CE</td> <td style="text-align: center;">0,78</td> <td>Kg/m<sup>3</sup></td> <td>Protodyakonov</td> </tr> <tr> <td>CE</td> <td style="text-align: center;">1,73</td> <td>Kg/m<sup>3</sup></td> <td>Ucar</td> </tr> <tr> <td>CE<sub>i</sub></td> <td style="text-align: center;">1,25</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>k</td> <td style="text-align: center;">1,7</td> <td></td> <td>Coeficiente que varia entre 1,4 a 2,0</td> </tr> <tr> <td>v</td> <td style="text-align: center;">1,35</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>e</td> <td style="text-align: center;">1,00</td> <td></td> <td>Factor que varia entre 0,8 a 1,2</td> </tr> <tr> <td>CE</td> <td style="text-align: center;">3,92</td> <td>Kg/m<sup>3</sup></td> <td></td> </tr> </table> <div style="text-align: right; margin-top: 10px;">       Pokrovsky     </div>			RC	150,00	Kg/cm <sup>2</sup>		D <sub>barreno</sub>	41,00	mm		f	15,00			α	1,65		Valor que varia entre 1,5 a 1,8	S	23,20	m <sup>2</sup>		CE	1,40	Kg/m <sup>3</sup>	Langefors-Kihistrom, Limitación 4<=S<=100 m <sup>2</sup>	CE	0,78	Kg/m <sup>3</sup>	Protodyakonov	CE	1,73	Kg/m <sup>3</sup>	Ucar	CE <sub>i</sub>	1,25			k	1,7		Coeficiente que varia entre 1,4 a 2,0	v	1,35			e	1,00		Factor que varia entre 0,8 a 1,2	CE	3,92	Kg/m <sup>3</sup>	
RC	150,00	Kg/cm <sup>2</sup>																																																				
D <sub>barreno</sub>	41,00	mm																																																				
f	15,00																																																					
α	1,65		Valor que varia entre 1,5 a 1,8																																																			
S	23,20	m <sup>2</sup>																																																				
CE	1,40	Kg/m <sup>3</sup>	Langefors-Kihistrom, Limitación 4<=S<=100 m <sup>2</sup>																																																			
CE	0,78	Kg/m <sup>3</sup>	Protodyakonov																																																			
CE	1,73	Kg/m <sup>3</sup>	Ucar																																																			
CE <sub>i</sub>	1,25																																																					
k	1,7		Coeficiente que varia entre 1,4 a 2,0																																																			
v	1,35																																																					
e	1,00		Factor que varia entre 0,8 a 1,2																																																			
CE	3,92	Kg/m <sup>3</sup>																																																				
<b>Consumo específico promedio de explosivo</b> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">CE<sub>0</sub></td> <td style="width: 15%; text-align: center;">7,5</td> <td style="width: 15%;">Kg/m<sup>3</sup></td> <td style="width: 55%;">Varía entre 7 a 8 Kg/m<sup>3</sup></td> </tr> <tr> <td>S<sub>0</sub></td> <td style="text-align: center;">1,5</td> <td>m<sup>2</sup></td> <td>Varía entre 1 a 2 m<sup>2</sup></td> </tr> <tr> <td>Q<sub>0</sub></td> <td style="text-align: center;">0,16</td> <td>Kg</td> <td></td> </tr> <tr> <td>CE<sub>1</sub></td> <td style="text-align: center;">1,15</td> <td>Kg/m<sup>3</sup></td> <td>Varía entre 0,8 a 1,5 Kg/m<sup>3</sup></td> </tr> <tr> <td>S<sub>1</sub></td> <td style="text-align: center;">21,70</td> <td>m<sup>2</sup></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Q<sub>1</sub></td> <td style="text-align: center;">0,36</td> <td>Kg</td> <td></td> </tr> <tr> <td>CE</td> <td style="text-align: center;">1,56</td> <td>Kg/m<sup>3</sup></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Q<sub>T</sub></td> <td style="text-align: center;">0,52</td> <td>Kg</td> <td></td> </tr> </table>			CE <sub>0</sub>	7,5	Kg/m <sup>3</sup>	Varía entre 7 a 8 Kg/m <sup>3</sup>	S <sub>0</sub>	1,5	m <sup>2</sup>	Varía entre 1 a 2 m <sup>2</sup>	Q <sub>0</sub>	0,16	Kg		CE <sub>1</sub>	1,15	Kg/m <sup>3</sup>	Varía entre 0,8 a 1,5 Kg/m <sup>3</sup>	S <sub>1</sub>	21,70	m <sup>2</sup>		Q <sub>1</sub>	0,36	Kg		CE	1,56	Kg/m <sup>3</sup>		Q <sub>T</sub>	0,52	Kg																					
CE <sub>0</sub>	7,5	Kg/m <sup>3</sup>	Varía entre 7 a 8 Kg/m <sup>3</sup>																																																			
S <sub>0</sub>	1,5	m <sup>2</sup>	Varía entre 1 a 2 m <sup>2</sup>																																																			
Q <sub>0</sub>	0,16	Kg																																																				
CE <sub>1</sub>	1,15	Kg/m <sup>3</sup>	Varía entre 0,8 a 1,5 Kg/m <sup>3</sup>																																																			
S <sub>1</sub>	21,70	m <sup>2</sup>																																																				
Q <sub>1</sub>	0,36	Kg																																																				
CE	1,56	Kg/m <sup>3</sup>																																																				
Q <sub>T</sub>	0,52	Kg																																																				

Proyecto de grado en Maestría en Ingeniería Civil. Énfasis en Geotecnia	Análisis de rendimientos para varios sistemas de excavación de túneles en roca.	Elaborado por: Ing. Diego Triana
<b>Número de barrenos</b>		
$L_p$	1,50 m	
$\eta$	95%	Varia entre 90 y 95 %
$k$	1,08	Varía entre 1,05 a 1,1
$\rho_e$	1,5 g/cm <sup>3</sup>	
$d_{\text{explosivo}}$	25 mm	
$q_l$	0,78 Kg/m	
$L_c$	1,09 m	
N	54	Langefors-Kihistrom, Limitación $4 \leq S \leq 100 \text{ m}^2$
N	30	Protodyakonov
N	67	Ucar
N	152	Pokrovsky

Proyecto de grado en Maestría en Ingeniería Civil. Énfasis en Geotecnia	Análisis de rendimientos para varios sistemas de excavación de túneles en roca.	Elaborado por: Ing. Diego Triana																														
<b>PERFORACIÓN O BARRENADO TERRENO TIPO I</b>																																
<b>Velocidad de penetración VP</b>  <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div>POT</div> <div style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">24</div> <div>KW</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div><math>D_{\text{barreno}}</math></div> <div style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">45</div> <div>mm</div> </div>																																
<b>1. Formulación empírica</b>																																
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div>VP</div> <div>3,61</div> <div>m/mim</div> </div>																																
<b>2. Índice de perforabilidad DRI</b>																																
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div><math>S_{20}</math></div> <div style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">65</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div><math>S_J</math></div> <div style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">75</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div>DRI</div> <div>75</div> </div>																																
<b>3. Método de perforación</b>																																
<div style="display: flex; justify-content: center; margin-bottom: 5px;"> <div style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">Martillo en cabeza hidráulico</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div>VP</div> <div>1,54</div> <div>m/min</div> </div>																																
<b>4. Tipo de martillo</b>																																
<div style="display: flex; justify-content: center; margin-bottom: 5px;"> <div style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">HL1060T 102 mm</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div>VP</div> <div>2,17</div> <div>m/min</div> </div>																																
<b>5. Trabajo de destrucción</b>																																
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div><math>W_z</math></div> <div>15</div> <div>KJ/m<sup>3</sup></div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div>Velocidad de penetración</div> <div>3,87</div> <div>m/min</div> </div>																																
<b>6. Espaciamiento de las discontinuidades</b>																																
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div>Espaciamiento</div> <div>200,0</div> <div>cm</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div>Velocidad de penetración</div> <div>2,06</div> <div>m/min</div> </div>																																
<b>7. Tiempo por ciclo</b>																																
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th style="text-align: center;">Cuele</th> <th style="text-align: center;">Contorno</th> <th style="text-align: center;">Destroza</th> <th style="text-align: center;">Total</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: right;"><math>N_{\text{total}}</math></td> <td style="text-align: center; border: 1px solid gray;">8</td> <td style="text-align: center;">23</td> <td style="text-align: center;">64</td> <td style="text-align: center;">95</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">ml</td> <td style="text-align: center;">24</td> <td style="text-align: center;">69</td> <td style="text-align: center;">192</td> <td style="text-align: center;">285</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">VP promedio</td> <td style="text-align: center;">2,65</td> <td style="text-align: center;">m/min</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">Tiempo</td> <td style="text-align: center;">108</td> <td style="text-align: center;">min</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">Tiempo</td> <td style="text-align: center;">1,80</td> <td style="text-align: center;">h</td> </tr> </tbody> </table>				Cuele	Contorno	Destroza	Total	$N_{\text{total}}$	8	23	64	95	ml	24	69	192	285			VP promedio	2,65	m/min			Tiempo	108	min			Tiempo	1,80	h
	Cuele	Contorno	Destroza	Total																												
$N_{\text{total}}$	8	23	64	95																												
ml	24	69	192	285																												
		VP promedio	2,65	m/min																												
		Tiempo	108	min																												
		Tiempo	1,80	h																												

Proyecto de grado en Maestría en Ingeniería Civil. Énfasis en Geotecnia	Análisis de rendimientos para varios sistemas de excavación de túneles en roca.	Elaborado por: Ing. Diego Triana																														
<b>PERFORACIÓN O BARRENADO TERRENO TIPO</b>		<b>II</b>																														
<b>Velocidad de penetración VP</b> <table style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>POT</td> <td style="background-color: #cccccc;">24</td> <td>KW</td> </tr> <tr> <td>D<sub>barreno</sub></td> <td style="background-color: #cccccc;">45</td> <td>mm</td> </tr> </table>			POT	24	KW	D <sub>barreno</sub>	45	mm																								
POT	24	KW																														
D <sub>barreno</sub>	45	mm																														
<b>1. Formulación empírica</b>																																
VP                      3,61                      m/mim																																
<b>2. Índice de perforabilidad DRI</b>																																
<table> <tr> <td>S<sub>20</sub></td> <td style="background-color: #cccccc;">60</td> </tr> <tr> <td>S<sub>J</sub></td> <td style="background-color: #cccccc;">70</td> </tr> <tr> <td>DRI</td> <td>70</td> </tr> </table>			S <sub>20</sub>	60	S <sub>J</sub>	70	DRI	70																								
S <sub>20</sub>	60																															
S <sub>J</sub>	70																															
DRI	70																															
<b>3. Método de perforación</b>																																
<table> <tr> <td colspan="3" style="background-color: #cccccc; color: red;">Martillo en cabeza hidráulico</td> </tr> <tr> <td>VP</td> <td>1,45</td> <td>m/min</td> </tr> </table>			Martillo en cabeza hidráulico			VP	1,45	m/min																								
Martillo en cabeza hidráulico																																
VP	1,45	m/min																														
<b>4. Tipo de martillo</b>																																
<table> <tr> <td colspan="3" style="background-color: #cccccc; color: red;">HL1060T 102 mm</td> </tr> <tr> <td>VP</td> <td>2,05</td> <td>m/min</td> </tr> </table>			HL1060T 102 mm			VP	2,05	m/min																								
HL1060T 102 mm																																
VP	2,05	m/min																														
<b>5. Trabajo de destrucción</b>																																
<table> <tr> <td>W<sub>z</sub></td> <td style="color: red;">20</td> <td>KJ/m<sup>3</sup></td> </tr> <tr> <td>Velocidad de penetración</td> <td>3,69</td> <td>m/min</td> </tr> </table>			W <sub>z</sub>	20	KJ/m <sup>3</sup>	Velocidad de penetración	3,69	m/min																								
W <sub>z</sub>	20	KJ/m <sup>3</sup>																														
Velocidad de penetración	3,69	m/min																														
<b>6. Espaciamiento de las discontinuidades</b>																																
<table> <tr> <td>Espaciamiento</td> <td style="color: red;">200,0</td> <td>cm</td> </tr> <tr> <td>Velocidad de penetración</td> <td>2,06</td> <td>m/min</td> </tr> </table>			Espaciamiento	200,0	cm	Velocidad de penetración	2,06	m/min																								
Espaciamiento	200,0	cm																														
Velocidad de penetración	2,06	m/min																														
<b>7. Tiempo por ciclo</b>																																
<table> <tr> <td></td> <td>Cuele</td> <td>Contorno</td> <td>Destroza</td> <td>Total</td> </tr> <tr> <td>N<sub>total</sub></td> <td style="background-color: #cccccc;">8</td> <td>23</td> <td>69</td> <td>101</td> </tr> <tr> <td>ml</td> <td>16</td> <td>46</td> <td>139</td> <td>201</td> </tr> <tr> <td></td> <td colspan="2">VP promedio</td> <td>2,57</td> <td>m/min</td> </tr> <tr> <td></td> <td colspan="2">Tiempo</td> <td>78</td> <td>min</td> </tr> <tr> <td></td> <td colspan="2">Tiempo</td> <td>1,30</td> <td>h</td> </tr> </table>				Cuele	Contorno	Destroza	Total	N <sub>total</sub>	8	23	69	101	ml	16	46	139	201		VP promedio		2,57	m/min		Tiempo		78	min		Tiempo		1,30	h
	Cuele	Contorno	Destroza	Total																												
N <sub>total</sub>	8	23	69	101																												
ml	16	46	139	201																												
	VP promedio		2,57	m/min																												
	Tiempo		78	min																												
	Tiempo		1,30	h																												

Proyecto de grado en Maestría en Ingeniería Civil. Énfasis en Geotecnia	Análisis de rendimientos para varios sistemas de excavación de túneles en roca.	Elaborado por: Ing. Diego Triana																														
<b>PERFORACIÓN O BARRENADO TERRENO TIPO</b>		<b>Illa</b>																														
<b>Velocidad de penetración VP</b> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">POT</div> <div style="border: 1px solid gray; padding: 2px 10px;">24</div> <div style="text-align: center;">KW</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">D<sub>barreno</sub></div> <div style="border: 1px solid gray; padding: 2px 10px;">45</div> <div style="text-align: center;">mm</div> </div>																																
<b>1. Formulación empírica</b>																																
VP                      3,61                      m/mim																																
<b>2. Índice de perforabilidad DRI</b>																																
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">S<sub>20</sub></div> <div style="border: 1px solid gray; padding: 2px 10px;">55</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">S<sub>J</sub></div> <div style="border: 1px solid gray; padding: 2px 10px;">65</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">DRI</div> <div style="padding: 2px 10px;">65</div> </div>																																
<b>3. Método de perforación</b>																																
<div style="border: 1px solid gray; padding: 2px 10px; display: inline-block; margin-bottom: 5px;">Martillo en cabeza hidráulico</div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">VP</div> <div style="padding: 2px 10px;">1,37</div> <div style="text-align: center;">m/min</div> </div>																																
<b>4. Tipo de martillo</b>																																
<div style="border: 1px solid gray; padding: 2px 10px; display: inline-block; margin-bottom: 5px;">HL1060T 102 mm</div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">VP</div> <div style="padding: 2px 10px;">1,93</div> <div style="text-align: center;">m/min</div> </div>																																
<b>5. Trabajo de destrucción</b>																																
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">W<sub>z</sub></div> <div style="border: 1px solid gray; padding: 2px 10px;">25</div> <div style="text-align: center;">KJ/m<sup>3</sup></div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">Velocidad de penetración</div> <div style="padding: 2px 10px;">3,56</div> <div style="text-align: center;">m/min</div> </div>																																
<b>6. Espaciamiento de las discontinuidades</b>																																
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">Espaciamiento</div> <div style="border: 1px solid gray; padding: 2px 10px;">200,0</div> <div style="text-align: center;">cm</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">Velocidad de penetración</div> <div style="padding: 2px 10px;">2,06</div> <div style="text-align: center;">m/min</div> </div>																																
<b>7. Tiempo por ciclo</b>																																
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;"></td> <td style="width: 15%; text-align: center;">Cuele</td> <td style="width: 15%; text-align: center;">Contorno</td> <td style="width: 15%; text-align: center;">Destroza</td> <td style="width: 15%; text-align: center;">Total</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">N<sub>total</sub></td> <td style="border: 1px solid gray; padding: 2px 10px; text-align: center;">8</td> <td style="text-align: center;">23</td> <td style="text-align: center;">76</td> <td style="text-align: center;">107</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">ml</td> <td style="text-align: center;">16</td> <td style="text-align: center;">35</td> <td style="text-align: center;">114</td> <td style="text-align: center;">165</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">VP promedio</td> <td style="text-align: center;">2,50</td> <td style="text-align: center;">m/min</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">Tiempo</td> <td style="text-align: center;">66</td> <td style="text-align: center;">min</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">Tiempo</td> <td style="text-align: center;">1,10</td> <td style="text-align: center;">h</td> </tr> </table>				Cuele	Contorno	Destroza	Total	N <sub>total</sub>	8	23	76	107	ml	16	35	114	165			VP promedio	2,50	m/min			Tiempo	66	min			Tiempo	1,10	h
	Cuele	Contorno	Destroza	Total																												
N <sub>total</sub>	8	23	76	107																												
ml	16	35	114	165																												
		VP promedio	2,50	m/min																												
		Tiempo	66	min																												
		Tiempo	1,10	h																												

<p align="center"><b>Proyecto de grado en Maestría en Ingeniería Civil. Énfasis en Geotecnia</b></p>	<p align="center"><b>Análisis de rendimientos para varios sistemas de excavación de túneles en roca.</b></p>	<p align="center"><b>Elaborado por: Ing. Diego Triana</b></p>																																				
<p><b>CARGUE DE EXPLOSIVOS</b></p>																																						
<p><b>TERRENO TIPO I</b></p> <table border="0" data-bbox="207 457 735 611"> <tr> <td>ml</td> <td>285</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Rendimiento propuesto</td> <td>4,0</td> <td>m/min</td> </tr> <tr> <td>Tiempo</td> <td>71</td> <td>min</td> </tr> <tr> <td>Tiempo</td> <td>1,19</td> <td>h</td> </tr> </table> <p><b>TERRENO TIPO II</b></p> <table border="0" data-bbox="207 730 735 884"> <tr> <td>ml</td> <td>201</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Rendimiento propuesto</td> <td>4,0</td> <td>m/min</td> </tr> <tr> <td>Tiempo</td> <td>50</td> <td>min</td> </tr> <tr> <td>Tiempo</td> <td>0,84</td> <td>h</td> </tr> </table> <p><b>TERRENO TIPO IIIa</b></p> <table border="0" data-bbox="207 1003 735 1157"> <tr> <td>ml</td> <td>165</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Rendimiento propuesto</td> <td>4,0</td> <td>m/min</td> </tr> <tr> <td>Tiempo</td> <td>41</td> <td>min</td> </tr> <tr> <td>Tiempo</td> <td>0,69</td> <td>h</td> </tr> </table>			ml	285		Rendimiento propuesto	4,0	m/min	Tiempo	71	min	Tiempo	1,19	h	ml	201		Rendimiento propuesto	4,0	m/min	Tiempo	50	min	Tiempo	0,84	h	ml	165		Rendimiento propuesto	4,0	m/min	Tiempo	41	min	Tiempo	0,69	h
ml	285																																					
Rendimiento propuesto	4,0	m/min																																				
Tiempo	71	min																																				
Tiempo	1,19	h																																				
ml	201																																					
Rendimiento propuesto	4,0	m/min																																				
Tiempo	50	min																																				
Tiempo	0,84	h																																				
ml	165																																					
Rendimiento propuesto	4,0	m/min																																				
Tiempo	41	min																																				
Tiempo	0,69	h																																				
<p><b>VENTILACIÓN</b></p>																																						
<p>Sección túnel (s)</p>	<p>23,2</p>	<p>m<sup>2</sup></p>																																				
<p><b>Ventilación soplante</b></p>																																						
<p><b>TERRENO TIPO I</b></p> <p>Purga del frente</p> <table border="0" data-bbox="180 1539 716 1808"> <tr> <td><math>\epsilon</math></td> <td>0,01</td> <td></td> </tr> <tr> <td>d</td> <td>25</td> <td>m</td> </tr> <tr> <td>Q</td> <td>10</td> <td>m<sup>3</sup>/s</td> </tr> <tr> <td>t<sub>s</sub></td> <td>267</td> <td>s</td> </tr> <tr> <td>t<sub>s</sub></td> <td>0,59</td> <td>h</td> </tr> <tr> <td>N° explosiones</td> <td>1</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Tiempo total</td> <td>0,59</td> <td>h</td> </tr> </table>			$\epsilon$	0,01		d	25	m	Q	10	m <sup>3</sup> /s	t <sub>s</sub>	267	s	t <sub>s</sub>	0,59	h	N° explosiones	1		Tiempo total	0,59	h															
$\epsilon$	0,01																																					
d	25	m																																				
Q	10	m <sup>3</sup> /s																																				
t <sub>s</sub>	267	s																																				
t <sub>s</sub>	0,59	h																																				
N° explosiones	1																																					
Tiempo total	0,59	h																																				

Proyecto de grado en Maestría en  
Ingeniería Civil. Énfasis en  
Geotecnia

Análisis de rendimientos para  
varios sistemas de excavación de  
túneles en roca.

Elaborado por:  
Ing. Diego Triana

### TERRENO TIPO II

Purga del frente

$\epsilon$	0,01	
d	25	m
Q	10	m <sup>3</sup> /s
$t_s$	267	s
$t_s$	0,62	h
N° explosiones	1	
Tiempo total	0,62	h

### TERRENO TIPO IIIa

Purga del frente

$\epsilon$	0,01	
d	25	m
Q	10	m <sup>3</sup> /s
$t_s$	267	s
$t_s$	0,66	h
N° explosiones	1	
Tiempo total	0,66	h

Proyecto de grado en Maestría en Ingeniería Civil. Énfasis en Geotecnia	Análisis de rendimientos para varios sistemas de excavación de túneles en roca.	Elaborado por: Ing. Diego Triana
---	---	-------------------------------------

**RETIRO DE REZAGA TERRENO TIPO I**

**1. Volumen de material volado**

$L_{\text{barreno}}$	3,00	m
Sección del túnel	23,2	$m^2$
$\rho_{\text{in-situ}}$	2,55	$\text{Ton}/m^3$
$\rho_{\text{suelto}}$	1,75	$\text{Ton}/m^3$
V	0,69	
Volumen <sub>in-situ</sub>	177,5	$m^3$
Tipo de material	Rocas blandas	
PE	33	%
Definir PE	33	%
Volumen <sub>suelto</sub>	236,05	$m^3$

**2. Equipo de transporte Analizar con numeral 9**

Transporte sobre vía (Tren y vagones)		
Analizar con numeral 9	12,0	$m^3$
Analizar con numeral 9	21000,0	Kg
Analizar con numeral 9	36388,0	Kg
Analizar con numeral 9	Pista dura y lisa	
Analizar con numeral 9	6,0	%
Analizar con numeral 9	2183,3	
Analizar con numeral 9	2,0	
Analizar con numeral 9	2,0	%
Analizar con numeral 9	727,8	Kg
Analizar con numeral 9	13000,0	Kg
Analizar con numeral 9	10089,0	Kg
Analizar con numeral 9		

Analizar con numeral 9	Neumaticos	
Analizar con numeral 9	30000,0	Kg
Analizar con numeral 9	Suelo de cantera sin fragmentar	
Analizar con numeral 9	0,75	
Analizar con numeral 9		
Analizar con numeral 9	22500,0	Kg
		> 13000,0
Analizar con numeral 9		
Analizar con numeral 9	Motor diesel de 2 tiempo con aspiración natural	
Analizar con numeral 9	350,0	KW
Analizar con numeral 9	2100,0	m
Analizar con numeral 9	0,12	
Analizar con numeral 9	308,0	KW

Proyecto de grado en Maestría en Ingeniería Civil. Énfasis en Geotecnia	Análisis de rendimientos para varios sistemas de excavación de túneles en roca.	Elaborado por: Ing. Diego Triana
---	---	-------------------------------------

### 3. Equipo de carga

#### Palas conway

Capacidad (C<sub>c</sub>) 2,10 m<sup>3</sup>  
Estado del material a cargar **Facilmente excavable**  
Factor de eficiencia E 095-1.0  
Definir factor de eficiencia E **0,975**

Descripción de material **Bien volada**

Factor de llenado 0.7-0.9

Definir factor de llenado **0,80**

Nivel de excavabilidad **Excavabilidad media**

T<sub>c</sub> 0,50 min

% altura optima **100**

Factor de corrección H 1,00 %

Ángulo de giro **90** °

Factor de giro A 1,00

### 4. Producción máxima equipo de carga

P<sub>max</sub> 196,56 m<sup>3</sup>/h

Producción bruta equipo de carga

P<sub>b</sub> 134,89 m<sup>3</sup>/h

Tiempo de carga 3,81 min

Producción horaria 236,06 Ton/h

### 5. Producción máxima equipo de transporte

Analizar con numeral 9 0,06 min

Analizar con numeral 9 **Favorable**

Analizar con numeral 9 FALSO min

Analizar con numeral 9 **1,00** min

Analizar con numeral 9 FALSO min

Analizar con numeral 9 **Buena**

Analizar con numeral 9 0,8 min

<b>Proyecto de grado en Maestría en Ingeniería Civil. Énfasis en Geotecnia</b>	<b>Análisis de rendimientos para varios sistemas de excavación de túneles en roca.</b>	<b>Elaborado por: Ing. Diego Triana</b>
--	--	---

Tramo	Estado	Distancia	Velocidad		Tiempo	
		(m)	(Km/h)	m/min	(min)	
1	Ida	Cargado	130	6,5	108,3	1,20
	Vuelta	Vacío	130	10	166,7	0,78
2	Ida	Cargado				
	Vuelta	Vacío				
3	Ida	Cargado				
	Vuelta	Vacío				
4	Ida	Cargado				
	Vuelta	Vacío				
5	Ida	Cargado				
	Vuelta	Vacío				
6	Ida	Cargado				
	Vuelta	Vacío				
			Promedio	Promedio	Suma	
			8,25	137,50	1,98	

Analizar con numeral 9	3,84	min
Analizar con numeral 9	182,64	m <sup>3</sup> /h
Analizar con numeral 9	1	
Analizar con numeral 9	21,0	Ton
Analizar con numeral 9	50,0	min
Analizar con numeral 9	14,0	
Analizar con numeral 9	294,0	Ton/h
Analizar con numeral 9	1,1	h

#### 6. Cálculo de estaciones de remanipulación (Nichos)

Analizar con numeral 9	0,4	m
Analizar con numeral 9	413,1	Ton
Analizar con numeral 9	12,00	m <sup>3</sup>
Analizar con numeral 9	60	min
Analizar con numeral 9	11,20	min
Analizar con numeral 9	5	min

Analizar con numeral 9	130	m
Analizar con numeral 9	26,47	min
Analizar con numeral 9	42,67	min
Analizar con numeral 9	17,33	min
Analizar con numeral 9	85,09	m
Analizar con numeral 9	215,09	m
Analizar con numeral 9	-1	

Proyecto de grado en Maestría en Ingeniería Civil. Énfasis en Geotecnia	Análisis de rendimientos para varios sistemas de excavación de túneles en roca.	Elaborado por: Ing. Diego Triana
---	---	-------------------------------------

**7. Cintas transportadoras**

Tamaños máximos de bloque recomendados (mm)	Material con 80% de finos	
Ancho de la banda	1000	mm
Tamaño máximo de bloque recomendado	375	mm
Material	Grava y arena seca	
Inclinación máxima de la cinta	18 a 20	°
Defini inclinación máxima de la cinta	18	°
Tipo de material	Materiales finos que fluyen fácilmente en seco	
Ángulo de carga	5 a 10	°
Defini ángulo de carga	5	°

Velocidad de la banda	3,0-3,5	m/s	
Definir velocidad de la banda	3,0	m/s	
Longitud cinta	100	m	
$P_v$	2,7	KW	
Capacidad	236,1	Ton/h	
$P_h$	2,6	KW	
Elevación	12,5	m	
$P_e$	8,5	KW	
$P_T$	13,8	KW	
f	0,95		
$M_p$	14,5	KW	
$P_{\text{motor comercial}}$	37	KW	> 14,5
Peso a transportar	413,1	Ton	
Tiempo	1,75	h	

**8. Transportadores blindados (Cintas con racletas)**

$R_0$	1500	Kg
v	2,0	m/s
K	1,15	varía ente 1.1 y 1.2
$\eta$	0,96	
P	35,23	KW

Proyecto de grado en Maestría en Ingeniería Civil. Énfasis en Geotecnia	Análisis de rendimientos para varios sistemas de excavación de túneles en roca.	Elaborado por: Ing. Diego Triana
---	---	-------------------------------------

**9. Transporte sobre vía (Tren y vagones)**

R	0,08	KN/Ton
g	9,81	m/s <sup>2</sup>
Tipo de vagón	Vagones para roca	
μ	0,15	
Capacidad vagón	1,2	m <sup>3</sup>
Capacidad vagón	2,1	Ton

ρ	12	%
Peso a transportar	413,1	Ton
M <sub>T</sub>	18,0	Ton
M <sub>L</sub>	184,6	Ton
F <sub>z</sub>	18,6	
ζ	89	%
V <sub>max</sub>	13,2	Km/h
Potencia locomotora	76,6	KW

Tiempo de carga	0,01	min
Condiciones de operación	Favorable	
Tiempo de descarga y maniobra	1,00	min
Definir tiempo de decarga y maniobra	1,00	min
Tiempo espera del equipo de carga	0,15	min
Condición de trabajo	Mala	
Tiempo ciclo de transporte, según condiciones de trabajo	1,4	min

Tramo	Estado	Distancia	Velocidad		Tiempo	
		(m)	(Km/h)	m/min	(min)	
1	Ida	Cargado	125	13,2	220,0	0,57
	Vuelta	Vacío	125	26,4	440,0	0,28
2	Ida	Cargado				
	Vuelta	Vacío				
3	Ida	Cargado				
	Vuelta	Vacío				
4	Ida	Cargado				
	Vuelta	Vacío				
5	Ida	Cargado				
	Vuelta	Vacío				
6	Ida	Cargado				
	Vuelta	Vacío				
			Promedio	Promedio	Suma	
			19,80	330,00	0,85	

Proyecto de grado en Maestría en Ingeniería Civil. Énfasis en Geotecnia	Análisis de rendimientos para varios sistemas de excavación de túneles en roca.	Elaborado por: Ing. Diego Triana									
Producción máxima equipo de carga											
	<table> <tr> <td>n</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>P<sub>max</sub></td> <td>134,40</td> </tr> </table>	n	2	P <sub>max</sub>	134,40	m <sup>3</sup> /h					
n	2										
P <sub>max</sub>	134,40										
Producción máxima equipo de carga											
	<table> <tr> <td>t<sub>1</sub></td> <td>0,50</td> </tr> <tr> <td>t<sub>2</sub></td> <td>0,10</td> </tr> <tr> <td>P<sub>b</sub></td> <td>131,86</td> </tr> </table>	t <sub>1</sub>	0,50	t <sub>2</sub>	0,10	P <sub>b</sub>	131,86	<table> <tr> <td>min</td> </tr> <tr> <td>min</td> </tr> <tr> <td>m<sup>3</sup>/h</td> </tr> </table>	min	min	m <sup>3</sup> /h
t <sub>1</sub>	0,50										
t <sub>2</sub>	0,10										
P <sub>b</sub>	131,86										
min											
min											
m <sup>3</sup> /h											
Producción máxima equipo de transporte											
	<table> <tr> <td>Tiempo ciclo de transporte</td> <td>4,01</td> </tr> <tr> <td>P<sub>max</sub></td> <td>17,51</td> </tr> </table>	Tiempo ciclo de transporte	4,01	P <sub>max</sub>	17,51	<table> <tr> <td>min</td> </tr> <tr> <td>m<sup>3</sup>/h</td> </tr> </table>	min	m <sup>3</sup> /h			
Tiempo ciclo de transporte	4,01										
P <sub>max</sub>	17,51										
min											
m <sup>3</sup> /h											
	N° de vagones 8										
	N° locomotoras 2 <b>Según propuesta Chivor</b>										
	Peso a transportar 2,1	Ton									
	Cuantos minutos considera como 1 hora de trabajo 50,0	min									
	Viajes 13										
	Producción horaria 27,3	Ton/h									
	Tiempo 3,78	h									

Proyecto de grado en Maestría en Ingeniería Civil. Énfasis en Geotecnia	Análisis de rendimientos para varios sistemas de excavación de túneles en roca.	Elaborado por: Ing. Diego Triana
---	---	-------------------------------------

**RETIRO DE REZAGA TERRENO TIPO II**

**1. Volumen de material volado**

$L_{\text{barreno}}$	2,00	m
Sección del túnel	23,2	m <sup>2</sup>
$\rho_{\text{in-situ}}$	2,00	Ton/m <sup>3</sup>
$\rho_{\text{suelto}}$	1,75	Ton/m <sup>3</sup>
V	0,88	
Volumen <sub>in-situ</sub>	92,8	m <sup>3</sup>
Tipo de material	Rocas blandas	
PE	33	%
Definir PE	33	%
Volumen <sub>suelto</sub>	123,42	m <sup>3</sup>

**2. Equipo de transporte**

Palas cargadoras LHD		
Capacidad	12,0	m <sup>3</sup>
Capacidad	21000,0	Kg
Peso del equipo cargado	36388,0	Kg
Tipo de pista	Pista dura y lisa	
% de inclinación de la pista	6,0	%
Esfuerzo por inclinación de la pista	2183,3	
Resistencia a la rodadura	2,0	
Definir resistencia a la rodadura	2,0	%
Esfuerzo de rodadura	727,8	Kg
Esfuerzo a tracción del equipo	13000,0	Kg
Esfuerzo a tracción disponible	10089,0	Kg
	0	

Tipo de rodamiento	Neumaticos	
Peso sobre el eje motriz	30000,0	Kg
Tipo de material de la pista	Suelo de cantera sin fragmentar	
Coefficiente de tracción	0,75	
de rodamiento patine	22500,0	Kg
	0	
Rendimientos de los motores por altitud		
Tipo de motor	Motor diesel de 2 tiempo con aspiración natural	
Potencia	350,0	KW
msnm proyecto	2100,0	m
Perdida de rendimiento	0,12	
Potencia efectiva	308,0	KW

Proyecto de grado en Maestría en Ingeniería Civil. Énfasis en Geotecnia	Análisis de rendimientos para varios sistemas de excavación de túneles en roca.	Elaborado por: Ing. Diego Triana
---	---	-------------------------------------

### 3. Equipo de carga

#### Palas conway

Capacidad (C <sub>c</sub> )	2,10	m <sup>3</sup>
Estado del material a cargar	Facilmente excavable	
Factor de eficiencia E	095-1.0	
Definir factor de eficiencia E	0,975	

#### Descripción de material Bien volada

Factor de llenado 0.7-0.9

Definir factor de llenado 0,80

Nivel de excavabilidad Excavabilidad media

T<sub>c</sub> 0,50 min

% altura optima 100

Factor de corrección H 1,00 %

Ángulo de giro 90 °

Factor de giro A 1,00

### 4. Producción máxima equipo de carga

	P <sub>max</sub>	196,56	m <sup>3</sup> /h
Producción bruta equipo de carga			
	P <sub>b</sub>	171,99	m <sup>3</sup> /h
	Tiempo de carga	2,99	min
	Producción horaria	300,98	Ton/h

### 5. Producción máxima equipo de transporte

	Tiempo de carga	0,05	min
	Condiciones de operación	Favorable	
	Tiempo de descarga y maniobra	1,00	min
	Definir tiempo de decarga y maniobra	1,00	min
	Tiempo espera del equipo de carga	0,15	min
	Condición de trabajo	Buena	
	Tiempo ciclo de transporte, según condiciones de trabajo	0,8	min

<b>Proyecto de grado en Maestría en Ingeniería Civil. Énfasis en Geotecnia</b>	<b>Análisis de rendimientos para varios sistemas de excavación de túneles en roca.</b>	<b>Elaborado por: Ing. Diego Triana</b>
--	--	---

Tramo	Estado	Distancia	Velocidad		Tiempo	
		(m)	(Km/h)	m/min	(min)	
1	Ida	Cargado	130	6,5	108,3	1,20
	Vuelta	Vacío	130	10	166,7	0,78
2	Ida	Cargado				
	Vuelta	Vacío				
3	Ida	Cargado				
	Vuelta	Vacío				
4	Ida	Cargado				
	Vuelta	Vacío				
5	Ida	Cargado				
	Vuelta	Vacío				
6	Ida	Cargado				
	Vuelta	Vacío				
			Promedio	Promedio	Suma	
			8,25	137,50	1,98	

Tiempo ciclo de transporte	3,98	min
$P_{max}$	176,39	m <sup>3</sup> /h
N° de volquetes necesarios	1	
Peso a transportar	21,0	Ton
Cuantos minutos considera como 1 hora de trabajo	50,0	min
Viajes	13,0	
Producción horaria	273,0	Ton/h
Tiempo	1,1	h

### 6. Cálculo de estaciones de remanipulación (Nichos)

Longitud túnel	0,4	m
Peso a desescombrar	216,0	Ton
Tamaño optimo	12,00	m <sup>3</sup>
Tiempo asignado de desescombro	60	min
Tiempo fijo	10,40	min
Tiempo para limpieza del frente	5	min

Longitud entre el frente del túnel y punto de descarga	130	m
Tiempo variable	24,58	min
Tiempo Total	39,98	min
Tiempo restante del ciclo	20,02	min
Distancia entre frente del túnel y estación de remanipulación	105,87	m
Distancia entre estaciones	235,87	m
N° estaciones	-1	

Proyecto de grado en Maestría en Ingeniería Civil. Énfasis en Geotecnia	Análisis de rendimientos para varios sistemas de excavación de túneles en roca.	Elaborado por: Ing. Diego Triana
---	---	-------------------------------------

### 7. Cintas transportadoras

Tamaños máximos de bloque recomendados (mm)	Material con 80% de finos	
Ancho de la banda	1000	mm
Tamaño máximo de bloque recomendado	375	mm
Material	Grava y arena seca	
Inclinación máxima de la cinta	18 a 20	°
Defini inclinación máxima de la cinta	18	°
Tipo de material	Materiales finos que fluyen fácilmente en seco	
Ángulo de carga	5 a 10	°
Defini ángulo de carga	5	°

Velocidad de la banda	3,0-3,5	m/s	
Definir velocidad de la banda	3,0	m/s	
Longitud cinta	100	m	
$P_v$	2,7	KW	
Capacidad	301,0	Ton/h	
$P_h$	3,2	KW	
Elevación	12,5	m	
$P_e$	10,9	KW	
$P_T$	16,8	KW	
f	0,95		
$M_p$	17,7	KW	
$P_{\text{motor comercial}}$	37	KW	> 17,7
Peso a transportar	216,0	Ton	
Tiempo	0,72	h	

### 8. Transportadores blindados (Cintas con racletas)

$R_0$	1500	Kg
v	2,0	m/s
K	1,15	varía ente 1.1 y 1.2
$\eta$	0,96	
P	35,23	KW

Proyecto de grado en Maestría en Ingeniería Civil. Énfasis en Geotecnia	Análisis de rendimientos para varios sistemas de excavación de túneles en roca.	Elaborado por: Ing. Diego Triana
---	---	-------------------------------------

**9. Transporte sobre vía (Tren y vagones)**

R	0,08	KN/Ton
g	9,81	m/s <sup>2</sup>
Tipo de vagón	Vagones para roca	
μ	0,15	
Capacidad vagón	1,2	m <sup>3</sup>
Capacidad vagón	2,1	Ton

ρ	12	%
Peso a transportar	216,0	Ton
M <sub>T</sub>	18,0	Ton
M <sub>L</sub>	100,2	Ton
F <sub>z</sub>	10,8	
ζ	89	%
V <sub>max</sub>	13,2	Km/h
Potencia locomotora	44,7	KW

Tiempo de carga	0,01	min
Condiciones de operación	Favorable	
Tiempo de descarga y maniobra	1,00	min
Definir tiempo de decarga y maniobra	1,00	min
Tiempo espera del equipo de carga	0,15	min
Condición de trabajo	Mala	
Tiempo ciclo de transporte, según condiciones de trabajo	1,4	min

Tramo	Estado	Distancia	Velocidad		Tiempo	
		(m)	(Km/h)	m/min	(min)	
1	Ida	Cargado	125	13,2	220,0	0,57
	Vuelta	Vacío	125	26,4	440,0	0,28
2	Ida	Cargado				
	Vuelta	Vacío				
3	Ida	Cargado				
	Vuelta	Vacío				
4	Ida	Cargado				
	Vuelta	Vacío				
5	Ida	Cargado				
	Vuelta	Vacío				
6	Ida	Cargado				
	Vuelta	Vacío				
			Promedio	Promedio	Suma	
			19,80	330,00	0,85	

Proyecto de grado en Maestría en Ingeniería Civil. Énfasis en Geotecnia	Análisis de rendimientos para varios sistemas de excavación de túneles en roca.	Elaborado por: Ing. Diego Triana
Producción máxima equipo de carga		
	n            2 P <sub>max</sub> 134,40	m <sup>3</sup> /h
Producción máxima equipo de carga		
	t <sub>1</sub> 0,50 t <sub>2</sub> 0,10 P <sub>b</sub> 131,86	min min m <sup>3</sup> /h
Producción máxima equipo de transporte		
	Tiempo ciclo de transporte    4,01 P <sub>max</sub> 17,51	min m <sup>3</sup> /h
	N° de vagones                        8	
	N° locomotoras                    2        Según propuesta Chivor	
	Peso a transportar                2,1        Ton	
	Cuantos minutos considera como 1 hora de trabajo    50,0        min	
	Viajes                                    13	
	Producción horaria                27,3        Ton/h	
	Tiempo                                    1,98        h	

Proyecto de grado en Maestría en Ingeniería Civil. Énfasis en Geotecnia	Análisis de rendimientos para varios sistemas de excavación de túneles en roca.	Elaborado por: Ing. Diego Triana
---	---	-------------------------------------

**RETIRO DE REZAGA TERRENO TIPO IIIa**

**1. Volumen de material volado**

$L_{\text{barreno}}$	1,50	m
Sección del túnel	23,2	$m^2$
$\rho_{\text{in-situ}}$	2,00	$\text{Ton}/m^3$
$\rho_{\text{suelto}}$	1,75	$\text{Ton}/m^3$
V	0,88	
Volumen <sub>in-situ</sub>	69,6	$m^3$
Tipo de material	Rocas blandas	
PE	33	%
Definir PE	33	%
Volumen <sub>suelto</sub>	92,57	$m^3$

**2. Equipo de transporte**

Volqueta		
Capacidad	12,0	$m^3$
Capacidad	21000,0	Kg
Peso del equipo cargado	36388,0	Kg
Tipo de pista	Pista dura y lisa	
% de inclinación de la pista	6,0	%
Esfuerzo por inclinación de la pista	2183,3	
Resistencia a la rodadura	2,0	
Definir resistencia a la rodadura	2,0	%
Esfuerzo de rodadura	727,8	Kg
Esfuerzo a tracción del equipo	13000,0	Kg
Esfuerzo a tracción disponible	10089,0	Kg
	0	

Tipo de rodamiento	Neumaticos	
Peso sobre el eje motriz	30000,0	Kg
Tipo de material de la pista	Suelo de cantera sin fragmentar	
Coefficiente de tracción	0,75	
de rodamiento patine	22500,0	Kg
	0	
Rendimientos de los motores por altitud		
Tipo de motor	Motor diesel de 2 tiempo con aspiración natural	
Potencia	350,0	KW
msnm proyecto	2100,0	m
Perdida de rendimiento	0,12	
Potencia efectiva	308,0	KW

Proyecto de grado en Maestría en Ingeniería Civil. Énfasis en Geotecnia	Análisis de rendimientos para varios sistemas de excavación de túneles en roca.	Elaborado por: Ing. Diego Triana
---	---	-------------------------------------

### 3. Equipo de carga

<b>Palas conway</b>		
Capacidad (C <sub>c</sub> )	2,10	m <sup>3</sup>
Estado del material a cargar	Facilmente excavable	
Factor de eficiencia E	095-1.0	
Definir factor de eficiencia E	0,975	
Descripción de material	Bien volada	
Factor de llenado	0.7-0.9	
Definir factor de llenado	0,80	
Nivel de excavabilidad	Excavabilidad media	
T <sub>c</sub>	0,50	min
% altura optima	100	
Factor de corrección H	1,00	%
Ángulo de giro	90	°
Factor de giro A	1,00	

### 4. Producción máxima equipo de carga

Producción bruta equipo de carga	P <sub>max</sub>	196,56	m <sup>3</sup> /h
	P <sub>b</sub>	171,99	m <sup>3</sup> /h
	Tiempo de carga	2,99	min
	Producción horaria	300,98	Ton/h

### 5. Producción máxima equipo de transporte

	Tiempo de carga	0,05	min
	Condiciones de operación	Favorable	
	Tiempo de descarga y maniobra	1,00	min
	Definir tiempo de decarga y maniobra	1,00	
	Tiempo espera del equipo de carga	0,15	min
	Condición de trabajo	Buena	
	Tiempo ciclo de transporte, según condiciones de trabajo	0,8	min

<b>Proyecto de grado en Maestría en Ingeniería Civil. Énfasis en Geotecnia</b>	<b>Análisis de rendimientos para varios sistemas de excavación de túneles en roca.</b>	<b>Elaborado por: Ing. Diego Triana</b>
--	--	---

Tramo	Estado	Distancia	Velocidad		Tiempo	
		(m)	(Km/h)	m/min	(min)	
1	Ida	Cargado	130	6,5	108,3	1,20
	Vuelta	Vacío	130	10	166,7	0,78
2	Ida	Cargado				
	Vuelta	Vacío				
3	Ida	Cargado				
	Vuelta	Vacío				
4	Ida	Cargado				
	Vuelta	Vacío				
5	Ida	Cargado				
	Vuelta	Vacío				
6	Ida	Cargado				
	Vuelta	Vacío				
			Promedio	Promedio	Suma	
			8,25	137,50	1,98	

Tiempo ciclo de transporte	3,98	min
$P_{max}$	176,39	m <sup>3</sup> /h
N° de volquetes necesarios	1	
Peso a transportar	21,0	Ton
Cuantos minutos considera como 1 hora de trabajo	50,0	min
Viajes	13,0	
Producción horaria	273,0	Ton/h
Tiempo	1,1	h

#### 6. Cálculo de estaciones de remanipulación (Nichos)

Longitud túnel	0,4	m
Peso a desescombrar	162,0	Ton
Tamaño optimo	12,00	m <sup>3</sup>
Tiempo asignado de desescombro	60	min
Tiempo fijo	10,40	min
Tiempo para limpieza del frente	5	min

Longitud entre el frente del túnel y punto de descarga	130	m
Tiempo variable	24,58	min
Tiempo Total	39,98	min
Tiempo restante del ciclo	20,02	min
Distancia entre frente del túnel y estación de remanipulación	105,87	m
Distancia entre estaciones	235,87	m
N° estaciones	-1	

Proyecto de grado en Maestría en Ingeniería Civil. Énfasis en Geotecnia	Análisis de rendimientos para varios sistemas de excavación de túneles en roca.	Elaborado por: Ing. Diego Triana
---	---	-------------------------------------

### 7. Cintas transportadoras

Tamaños máximos de bloque recomendados (mm)	Material con 80% de finos	
Ancho de la banda	1000	mm
Tamaño máximo de bloque recomendado	375	mm
Material	Grava y arena seca	
Inclinación máxima de la cinta	18 a 20	°
Defini inclinación máxima de la cinta	18	°
Tipo de material	Materiales finos que fluyen fácilmente en seco	
Ángulo de carga	5 a 10	°
Defini ángulo de carga	5	°

Velocidad de la banda	3,0-3,5	m/s	
Definir velocidad de la banda	3,0	m/s	
Longitud cinta	100	m	
$P_v$	2,7	KW	
Capacidad	301,0	Ton/h	
$P_h$	3,2	KW	
Elevación	12,5	m	
$P_e$	10,9	KW	
$P_T$	16,8	KW	
f	0,95		
$M_p$	17,7	KW	
$P_{\text{motor comercial}}$	37	KW	> 17,7
Peso a transportar	162,0	Ton	
Tiempo	0,54	h	

### 8. Transportadores blindados (Cintas con racletas)

$R_0$	1500	Kg
v	2,0	m/s
K	1,15	varía ente 1.1 y 1.2
$\eta$	0,96	
P	35,23	KW

Proyecto de grado en Maestría en Ingeniería Civil. Énfasis en Geotecnia	Análisis de rendimientos para varios sistemas de excavación de túneles en roca.	Elaborado por: Ing. Diego Triana
---	---	-------------------------------------

**9. Transporte sobre vía (Tren y vagones)**

R	0,08	KN/Ton
g	9,81	m/s <sup>2</sup>
Tipo de vagón	Vagones para roca	
μ	0,15	
Capacidad vagón	1,2	m <sup>3</sup>
Capacidad vagón	2,1	Ton

ρ	12	%
Peso a transportar	162,0	Ton
M <sub>T</sub>	18,0	Ton
M <sub>L</sub>	77,1	Ton
F <sub>z</sub>	8,7	
ζ	89	%
V <sub>max</sub>	13,2	Km/h
Potencia locomotora	35,9	KW

Tiempo de carga	0,01	min
Condiciones de operación	Favorable	
Tiempo de descarga y maniobra	1,00	min
Definir tiempo de decarga y maniobra	1,00	min
Tiempo espera del equipo de carga	0,15	min
Condición de trabajo	Mala	
Tiempo ciclo de transporte, según condiciones de trabajo	1,4	min

Tramo	Estado	Distancia	Velocidad		Tiempo	
		(m)	(Km/h)	m/min	(min)	
1	Ida	Cargado	125	13,2	220,0	0,57
	Vuelta	Vacío	125	26,4	440,0	0,28
2	Ida	Cargado				
	Vuelta	Vacío				
3	Ida	Cargado				
	Vuelta	Vacío				
4	Ida	Cargado				
	Vuelta	Vacío				
5	Ida	Cargado				
	Vuelta	Vacío				
6	Ida	Cargado				
	Vuelta	Vacío				
			Promedio	Promedio	Suma	
			19,80	330,00	0,85	

Proyecto de grado en Maestría en Ingeniería Civil. Énfasis en Geotecnia	Análisis de rendimientos para varios sistemas de excavación de túneles en roca.	Elaborado por: Ing. Diego Triana									
Producción máxima equipo de carga											
	<table> <tr> <td>n</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>P<sub>max</sub></td> <td>134,40</td> </tr> </table>	n	2	P <sub>max</sub>	134,40	m <sup>3</sup> /h					
n	2										
P <sub>max</sub>	134,40										
Producción máxima equipo de carga											
	<table> <tr> <td>t<sub>1</sub></td> <td>0,50</td> <td>min</td> </tr> <tr> <td>t<sub>2</sub></td> <td>0,10</td> <td>min</td> </tr> <tr> <td>P<sub>b</sub></td> <td>131,86</td> <td>m<sup>3</sup>/h</td> </tr> </table>	t <sub>1</sub>	0,50	min	t <sub>2</sub>	0,10	min	P <sub>b</sub>	131,86	m <sup>3</sup> /h	
t <sub>1</sub>	0,50	min									
t <sub>2</sub>	0,10	min									
P <sub>b</sub>	131,86	m <sup>3</sup> /h									
Producción máxima equipo de transporte											
	<table> <tr> <td>Tiempo ciclo de transporte</td> <td>4,01</td> <td>min</td> </tr> <tr> <td>P<sub>max</sub></td> <td>17,51</td> <td>m<sup>3</sup>/h</td> </tr> </table>	Tiempo ciclo de transporte	4,01	min	P <sub>max</sub>	17,51	m <sup>3</sup> /h				
Tiempo ciclo de transporte	4,01	min									
P <sub>max</sub>	17,51	m <sup>3</sup> /h									
	N° de vagones	8									
	N° locomotoras	2 Según propuesta Chivor									
	Peso a transportar	2,1 Ton									
	Cuantos minutos considera como 1 hora de trabajo	50,0 min									
	Viajes	13									
	Producción horaria	27,3 Ton/h									
	Tiempo	1,48 h									

<b>Proyecto de grado en Maestría en Ingeniería Civil. Énfasis en Geotecnia</b>	<b>Análisis de rendimientos para varios sistemas de excavación de túneles en roca.</b>	<b>Elaborado por: Ing. Diego Triana</b>
<b>SOPORTE TIPO DE TERRENO I</b>		
<b>Longitud del barreno</b>	<b>3,00 m</b>	<b>Verificar</b>
<b>Trabajos de soporte</b>	Inyección de consolidación Pernos en bóveda Pernos en paredes Concreto lanzado Cerchas metálicas fijas Enfilajes Cerchas metálicas deformables Pernos en solera curva	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
<b>Inyección de consolidación NO APLICA TIPO DE SOPORTE</b>		
	Diametro inyección <b>0,051</b> m Área inyección <b>0,00204</b> m <sup>2</sup> Longitud inyección (L <sub>barreno</sub> ) 3,00 m Módulo de elasticidad del macizo 80000 KN/m <sup>2</sup> Sección túnel 23,2 m <sup>2</sup> Separación <b>5,00</b> m Módulo de la inyección <b>18114220</b> KN/m <sup>2</sup> Área mejorada 0,0613 m <sup>2</sup> Nº inyecciones 5 Módulo del macizo mejorado 127639 KN/m <sup>2</sup> ml perforación 15,0 m VP promedio 2,65 m/min  Tiempo de perforación 5,67 min Rendimiento propuesto de inyección y fraguado <b>0,60</b> m/min Tiempo inyección y fraguado 25,00 min Tiempo total h	

Proyecto de grado en Maestría en Ingeniería Civil. Énfasis en Geotecnia	Análisis de rendimientos para varios sistemas de excavación de túneles en roca.	Elaborado por: Ing. Diego Triana
<b>Pernos en bóveda NO APLICA TIPO DE SOPORTE</b>		
	F	2,25 Varía entre 1,5 y 3
	s	1,00 m
	c	1,00 m
	h	8,00 m
	$\rho$	2,55 Ton/m <sup>3</sup>
	W	45,90 Ton/m <sup>2</sup>
N° de pernos		
	B	60,0 Ton
	L	3,0 m
	Área	3,5 m <sup>2</sup>
	N	7
	ml perforación	21,0 m
	VP promedio	2,65 m/min
	Tiempo de perforación	7,9 min
	Rendimiento propuesto instalación y graguado	0,60 m/min
	Tiempo instalación y fraguado	35,00 min
	Tiempo total	h

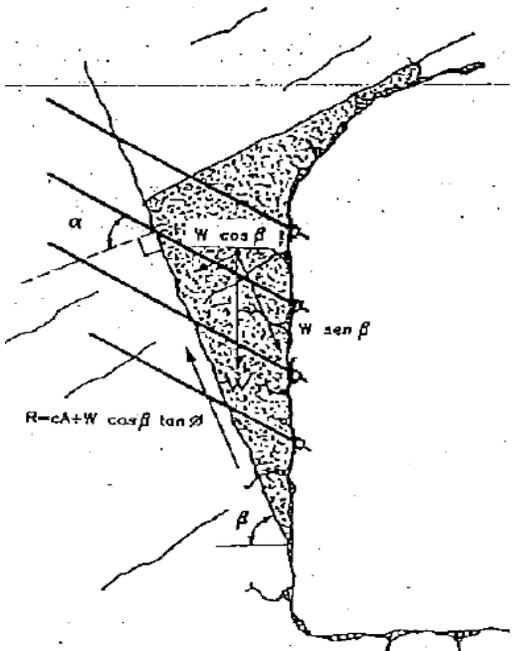
Proyecto de grado en Maestría en  
Ingeniería Civil. Énfasis en  
Geotecnia

Análisis de rendimientos para  
varios sistemas de excavación de  
túneles en roca.

Elaborado por:  
Ing. Diego Triana

**Pernos instalados en paredes**

**NO APLICA TIPO DE SOPORTE**

Condiciones del suelo	Residual		
	$h_{cobertura}$	450,0	m
	$\rho$	2,24	Ton/m <sup>3</sup>
	$\sigma$	1008	Ton/m <sup>2</sup>
	c	5	Ton/m <sup>2</sup>
	A	3	m
	$\alpha$	20	°
	$\beta$	70	°
	$\phi$	24	°
	$\phi'$	18	°
	Área	2,5	m <sup>2</sup>
	N	8	
	L	3,0	m
	D	0,025	m
	$\sigma_A$	42000	Ton/m <sup>2</sup>
	$F_A$	20,62	Ton
	$F_T$	77,17	Ton
	W	43,13	Ton/m <sup>2</sup>
	$\tau$	328	Ton/m <sup>2</sup>
	VP promedio	2,65	m/min
	ml perforación	24,4	m
	Tiempo de perforación	9,2	min
	Rendimiento propuesto instalación y gragado	0,60	m/min
	Tiempo instalación y fraguado	40,61	min
	Tiempo total		h

**Pernos en solera curva**

**APLICA TIPO DE SOPORTE**

	ml perforación	2,4	m
	VP promedio	2,50	m/min
	Tiempo de perforación	1,0	min
	Rendimiento propuesto instalación y gragado	0,60	m/min
	Tiempo instalación y fraguado	4,0	min
	Tiempo total	0,08	h

Proyecto de grado en Maestría en Ingeniería Civil. Énfasis en Geotecnia	Análisis de rendimientos para varios sistemas de excavación de túneles en roca.	Elaborado por: Ing. Diego Triana																																																												
<b>Concreto lanzado</b> <span style="float: right;"><b>APLICA TIPO DE SOPORTE</b></span>																																																														
	<table> <tr><td>Perimetro</td><td>7,65</td><td>m</td></tr> <tr><td>Espesor concreto lanzado</td><td>0,51</td><td>m</td></tr> <tr><td>Área</td><td>22,95</td><td>m<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>m<sup>3</sup> concreto</td><td>11,70</td><td>m<sup>3</sup></td></tr> <tr><td>Rendimiento propuesto</td><td>2,75</td><td>m<sup>3</sup>/h</td></tr> <tr><td>Tiempo</td><td>4,26</td><td>h</td></tr> </table>	Perimetro	7,65	m	Espesor concreto lanzado	0,51	m	Área	22,95	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> concreto	11,70	m <sup>3</sup>	Rendimiento propuesto	2,75	m <sup>3</sup> /h	Tiempo	4,26	h																																											
Perimetro	7,65	m																																																												
Espesor concreto lanzado	0,51	m																																																												
Área	22,95	m <sup>2</sup>																																																												
m <sup>3</sup> concreto	11,70	m <sup>3</sup>																																																												
Rendimiento propuesto	2,75	m <sup>3</sup> /h																																																												
Tiempo	4,26	h																																																												
<b>Soporte metálicos fijos</b> <span style="float: right;"><b>NO APLICA TIPO DE SOPORTE</b></span>																																																														
<b>Metodo de Hoek &amp; Brown</b>																																																														
<table> <tr><th colspan="3">Datos del macizo</th></tr> <tr><td><math>h_{cobertura\ max}</math></td><td>1100,0</td><td>m</td></tr> <tr><td><math>\rho</math></td><td>2,55</td><td>Ton/m<sup>3</sup></td></tr> <tr><td><math>\sigma_x</math></td><td>2805</td><td>Ton/m<sup>2</sup></td></tr> <tr><td><math>c</math></td><td>2,5</td><td>Ton/m<sup>2</sup></td></tr> <tr><td><math>\phi</math></td><td>37</td><td>°</td></tr> <tr><td><math>K_0</math></td><td>2,5</td><td></td></tr> <tr><td><math>K</math></td><td>1,33</td><td></td></tr> </table>	Datos del macizo			$h_{cobertura\ max}$	1100,0	m	$\rho$	2,55	Ton/m <sup>3</sup>	$\sigma_x$	2805	Ton/m <sup>2</sup>	$c$	2,5	Ton/m <sup>2</sup>	$\phi$	37	°	$K_0$	2,5		$K$	1,33		<table> <tr><th colspan="3">Datos del túnel</th></tr> <tr><td>R</td><td>3,50</td><td>m</td></tr> <tr><td>b, r</td><td>5,1</td><td>m</td></tr> <tr><td>a</td><td>0,35</td><td>m</td></tr> <tr><td>b</td><td>7,00</td><td>m</td></tr> <tr><td><math>\sigma_c</math></td><td>3,4</td><td>Ton/m<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>q</td><td>736,31</td><td>Ton/m</td></tr> <tr><td><math>\sigma_1</math></td><td>7047,9</td><td>Ton/m<sup>2</sup></td></tr> <tr><td><math>\sigma_r</math></td><td>7061,8</td><td>Ton/m<sup>3</sup></td></tr> <tr><td><math>\sigma_e</math></td><td>7080,1</td><td>Ton/m<sup>4</sup></td></tr> <tr><td>R*</td><td>2,69</td><td>m</td></tr> <tr><td>S</td><td>1,00</td><td>m</td></tr> </table>	Datos del túnel			R	3,50	m	b, r	5,1	m	a	0,35	m	b	7,00	m	$\sigma_c$	3,4	Ton/m <sup>2</sup>	q	736,31	Ton/m	$\sigma_1$	7047,9	Ton/m <sup>2</sup>	$\sigma_r$	7061,8	Ton/m <sup>3</sup>	$\sigma_e$	7080,1	Ton/m <sup>4</sup>	R*	2,69	m	S	1,00	m	
Datos del macizo																																																														
$h_{cobertura\ max}$	1100,0	m																																																												
$\rho$	2,55	Ton/m <sup>3</sup>																																																												
$\sigma_x$	2805	Ton/m <sup>2</sup>																																																												
$c$	2,5	Ton/m <sup>2</sup>																																																												
$\phi$	37	°																																																												
$K_0$	2,5																																																													
$K$	1,33																																																													
Datos del túnel																																																														
R	3,50	m																																																												
b, r	5,1	m																																																												
a	0,35	m																																																												
b	7,00	m																																																												
$\sigma_c$	3,4	Ton/m <sup>2</sup>																																																												
q	736,31	Ton/m																																																												
$\sigma_1$	7047,9	Ton/m <sup>2</sup>																																																												
$\sigma_r$	7061,8	Ton/m <sup>3</sup>																																																												
$\sigma_e$	7080,1	Ton/m <sup>4</sup>																																																												
R*	2,69	m																																																												
S	1,00	m																																																												
<p>Selección del tipo de soporte</p> <table> <tr><td><math>\sigma_e</math></td><td>42000</td><td>Ton/m<sup>2</sup></td></tr> <tr><td><math>W_{xx}</math></td><td>0,0076</td><td>m<sup>3</sup></td></tr> <tr><td><math>W_{xx}</math></td><td>76,38</td><td>cm<sup>3</sup></td></tr> <tr><td>S</td><td>2,50</td><td>m</td></tr> <tr><td>Tipo de soporte</td><td>TH58-29</td><td></td></tr> <tr><td>Peso del soporte</td><td>29</td><td>Kg/m</td></tr> <tr><td>Rendimiento instalación</td><td>3,50</td><td>Kg/min</td></tr> <tr><td>Tiempo instalación</td><td>190,16</td><td>min</td></tr> <tr><td>Tiempo instalación</td><td></td><td>h</td></tr> </table>	$\sigma_e$	42000	Ton/m <sup>2</sup>	$W_{xx}$	0,0076	m <sup>3</sup>	$W_{xx}$	76,38	cm <sup>3</sup>	S	2,50	m	Tipo de soporte	TH58-29		Peso del soporte	29	Kg/m	Rendimiento instalación	3,50	Kg/min	Tiempo instalación	190,16	min	Tiempo instalación		h																																			
$\sigma_e$	42000	Ton/m <sup>2</sup>																																																												
$W_{xx}$	0,0076	m <sup>3</sup>																																																												
$W_{xx}$	76,38	cm <sup>3</sup>																																																												
S	2,50	m																																																												
Tipo de soporte	TH58-29																																																													
Peso del soporte	29	Kg/m																																																												
Rendimiento instalación	3,50	Kg/min																																																												
Tiempo instalación	190,16	min																																																												
Tiempo instalación		h																																																												

<b>Proyecto de grado en Maestría en Ingeniería Civil. Énfasis en Geotecnia</b>	<b>Análisis de rendimientos para varios sistemas de excavación de túneles en roca.</b>	<b>Elaborado por: Ing. Diego Triana</b>
<b>Cerchas metálicas deformables NO APLICA TIPO DE SOPORTE</b>		
<b>Metodo de arcos cendentes</b>		
<b>Datos del macizo</b>		<b>Selección del tipo de soporte</b>
$f(\phi)$	4 °	$\sigma_e$ <b>420</b> MPa
$P_i$	2174,5 Ton/m <sup>2</sup>	Tipo de soporte <b>TH58-21</b>
		$S$ <b>0,90</b> m
		$D$ 398 mm
		$I_s$ 127 cm <sup>4</sup>
		$\theta$ 0,05
		$t_b$ <b>0,1</b> m
		$A_s$ 0,27 m <sup>2</sup>
	$PS_{max}$	1726,2 Ton/m <sup>2</sup>
	Peso del soporte	21 Kg/m
	Rendimiento instalación	<b>3,50</b> Kg/min
	Tiempo instalación	153,0 min
	Tiempo instalación	h

Proyecto de grado en Maestría en Ingeniería Civil. Énfasis en Geotecnia	Análisis de rendimientos para varios sistemas de excavación de túneles en roca.	Elaborado por: Ing. Diego Triana
<b>Enfilajes NO APLICA TIPO DE SOPORTE</b>		
	Perímetro túnel 2,65 m <sup>2</sup> H <sub>f</sub> 12,0 m α <sub>f</sub> 60 ° L <sub>f</sub> 171,61 m E <sub>e</sub> 18000000 KN/m <sup>2</sup> D <sub>e</sub> 0,20 m I <sub>e</sub> 7,854E-05 m <sup>4</sup> E <sub>m</sub> 120000 KN/m <sup>2</sup> L <sub>e</sub> 0,43 m	
	Tipo de cercha <b>Deformable</b> L <sub>a</sub> 0,9 m L <sub>d</sub> 173,03 m Definir L <sub>d</sub> 10 m S <sub>e</sub> 0,5 m N° enfilajes 2,0 ml perforación 20,0 m VP promedio 2,65 m/min Tiempo de perforación 7,55 min Rendimiento propuesto de inyección 1,80 m/min Tiempo inyección 11,11 min Tiempo total h	
<b>Resumen</b>	Tiempo total de soporte 4,34 h	

<b>Proyecto de grado en Maestría en Ingeniería Civil. Énfasis en Geotecnia</b>	<b>Análisis de rendimientos para varios sistemas de excavación de túneles en roca.</b>	<b>Elaborado por: Ing. Diego Triana</b>
<b>SOPORTE TIPO DE TERRENO</b>		
<b>II</b>		
<b>Longitud del barreno</b>	<b>2,00 m</b>	<b>Verificar</b>
<b>Trabajos de soporte</b>	Inyección de consolidación Pernos en bóveda Pernos en paredes Concreto lanzado Cerchas metálicas fijas Enfilajes Cerchas metálicas deformables Pernos en solera curva	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
<b>Inyección de consolidación</b>		
<b>APLICA TIPO DE SOPORTE</b>		
	Diametro inyección <b>0,051</b> m Área inyección <b>0,00204</b> m <sup>2</sup> Longitud inyección (L <sub>barreno</sub> ) 2,00 m Módulo de elasticidad del macizo 80000 KN/m <sup>2</sup> Sección túnel 23,2 m <sup>2</sup> Separación <b>2,50</b> m Módulo de la inyección <b>18114220</b> KN/m <sup>2</sup> Área mejorada 0,1103 m <sup>2</sup> Nº inyecciones 9 Módulo del macizo mejorado 165750 KN/m <sup>2</sup> ml perforación 18,0 m VP promedio 2,65 m/min  Tiempo de perforación 6,80 min Rendimiento propuesto de inyección y fraguado <b>0,60</b> m/min Tiempo inyección y fraguado 30,00 min Tiempo total 0,6 h	

Proyecto de grado en Maestría en Ingeniería Civil. Énfasis en Geotecnia	Análisis de rendimientos para varios sistemas de excavación de túneles en roca.	Elaborado por: Ing. Diego Triana																																																																					
<b>Pernos en bóveda NO APLICA TIPO DE SOPORTE</b>																																																																							
	<table> <tr> <td>F</td> <td>2,25</td> <td>Varía entre 1,5 y 3</td> </tr> <tr> <td>s</td> <td>1,00</td> <td>m</td> </tr> <tr> <td>c</td> <td>1,00</td> <td>m</td> </tr> <tr> <td>h</td> <td>8,00</td> <td>m</td> </tr> <tr> <td><math>\rho</math></td> <td>2,55</td> <td>Ton/m<sup>3</sup></td> </tr> <tr> <td>W</td> <td>45,90</td> <td>Ton/m<sup>2</sup></td> </tr> <tr> <td colspan="3">N° de pernos</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>60,0</td> <td>Ton</td> </tr> <tr> <td>L</td> <td>3,0</td> <td>m</td> </tr> <tr> <td>Área</td> <td>3,5</td> <td>m<sup>2</sup></td> </tr> <tr> <td>N</td> <td>7</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="3">ml perforación</td> </tr> <tr> <td></td> <td>21,0</td> <td>m</td> </tr> <tr> <td colspan="3">VP promedio</td> </tr> <tr> <td></td> <td>2,57</td> <td>m/min</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Tiempo de perforación</td> </tr> <tr> <td></td> <td>8,2</td> <td>min</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Rendimiento propuesto instalación y graguado</td> </tr> <tr> <td></td> <td>0,60</td> <td>m/min</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Tiempo instalación y fraguado</td> </tr> <tr> <td></td> <td>35,00</td> <td>min</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Tiempo total</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>h</td> </tr> </table>	F	2,25	Varía entre 1,5 y 3	s	1,00	m	c	1,00	m	h	8,00	m	$\rho$	2,55	Ton/m <sup>3</sup>	W	45,90	Ton/m <sup>2</sup>	N° de pernos			B	60,0	Ton	L	3,0	m	Área	3,5	m <sup>2</sup>	N	7		ml perforación				21,0	m	VP promedio				2,57	m/min	Tiempo de perforación				8,2	min	Rendimiento propuesto instalación y graguado				0,60	m/min	Tiempo instalación y fraguado				35,00	min	Tiempo total					h	
F	2,25	Varía entre 1,5 y 3																																																																					
s	1,00	m																																																																					
c	1,00	m																																																																					
h	8,00	m																																																																					
$\rho$	2,55	Ton/m <sup>3</sup>																																																																					
W	45,90	Ton/m <sup>2</sup>																																																																					
N° de pernos																																																																							
B	60,0	Ton																																																																					
L	3,0	m																																																																					
Área	3,5	m <sup>2</sup>																																																																					
N	7																																																																						
ml perforación																																																																							
	21,0	m																																																																					
VP promedio																																																																							
	2,57	m/min																																																																					
Tiempo de perforación																																																																							
	8,2	min																																																																					
Rendimiento propuesto instalación y graguado																																																																							
	0,60	m/min																																																																					
Tiempo instalación y fraguado																																																																							
	35,00	min																																																																					
Tiempo total																																																																							
		h																																																																					

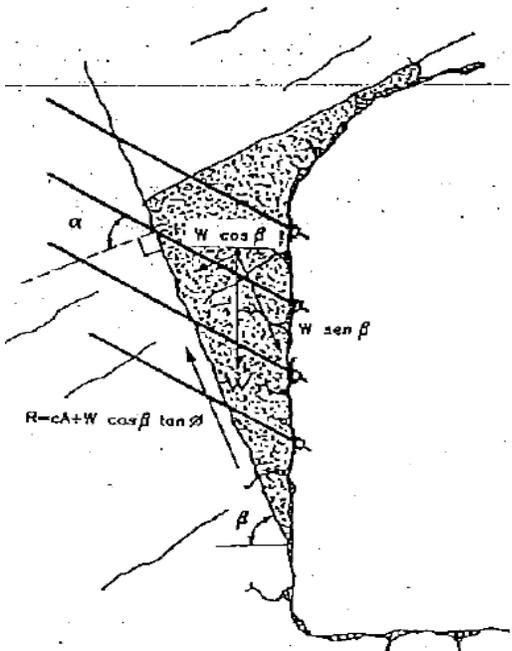
Proyecto de grado en Maestría en  
Ingeniería Civil. Énfasis en  
Geotecnia

Análisis de rendimientos para  
varios sistemas de excavación de  
túneles en roca.

Elaborado por:  
Ing. Diego Triana

**Pernos instalados en paredes**

**NO APLICA TIPO DE SOPORTE**

Condiciones del suelo	Residual	
	$h_{cobertura}$	450,0 m
	$\rho$	2,24 Ton/m <sup>3</sup>
	$\sigma$	1008 Ton/m <sup>2</sup>
	c	5 Ton/m <sup>2</sup>
	A	3 m
	$\alpha$	20 °
	$\beta$	70 °
	$\phi$	24 °
	$\phi'$	18 °
	Área	2,5 m <sup>2</sup>
	N	8
	L	3,0 m
	D	0,025 m
	$\sigma_A$	42000 Ton/m <sup>2</sup>
	$F_A$	20,62 Ton
	$F_T$	77,17 Ton
	W	43,13 Ton/m <sup>2</sup>
	$\tau$	328 Ton/m <sup>2</sup>
	VP promedio	2,57 m/min
	ml perforación	24,4 m
	Tiempo de perforación	9,5 min
	Rendimiento propuesto instalación y gragado	0,60 m/min
	Tiempo instalación y fraguado	40,61 min
	Tiempo total	h

**Pernos en solera curva**

**APLICA TIPO DE SOPORTE**

	ml perforación	2,4 m
	VP promedio	2,50 m/min
	Tiempo de perforación	1,0 min
	Rendimiento propuesto instalación y gragado	0,60 m/min
	Tiempo instalación y fraguado	4,0 min
	Tiempo total	0,08 h

Proyecto de grado en Maestría en Ingeniería Civil. Énfasis en Geotecnia	Análisis de rendimientos para varios sistemas de excavación de túneles en roca.	Elaborado por: Ing. Diego Triana																																																												
<b>Concreto lanzado</b> <span style="float: right;"><b>APLICA TIPO DE SOPORTE</b></span>																																																														
	<table> <tr><td>Perimetro</td><td>7,65</td><td>m</td></tr> <tr><td>Espesor concreto lanzado</td><td>0,51</td><td>m</td></tr> <tr><td>Área</td><td>15,30</td><td>m<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>m<sup>3</sup> concreto</td><td>7,80</td><td>m<sup>3</sup></td></tr> <tr><td>Rendimiento propuesto</td><td>2,75</td><td>m<sup>3</sup>/h</td></tr> <tr><td>Tiempo</td><td>2,84</td><td>h</td></tr> </table>	Perimetro	7,65	m	Espesor concreto lanzado	0,51	m	Área	15,30	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> concreto	7,80	m <sup>3</sup>	Rendimiento propuesto	2,75	m <sup>3</sup> /h	Tiempo	2,84	h																																											
Perimetro	7,65	m																																																												
Espesor concreto lanzado	0,51	m																																																												
Área	15,30	m <sup>2</sup>																																																												
m <sup>3</sup> concreto	7,80	m <sup>3</sup>																																																												
Rendimiento propuesto	2,75	m <sup>3</sup> /h																																																												
Tiempo	2,84	h																																																												
<b>Soporte metálicos fijos</b> <span style="float: right;"><b>NO APLICA TIPO DE SOPORTE</b></span>																																																														
<b>Metodo de Hoek &amp; Brown</b>																																																														
<table> <tr><th colspan="3">Datos del macizo</th></tr> <tr><td><math>h_{cobertura\ max}</math></td><td>1100,0</td><td>m</td></tr> <tr><td><math>\rho</math></td><td>2,55</td><td>Ton/m<sup>3</sup></td></tr> <tr><td><math>\sigma_x</math></td><td>2805</td><td>Ton/m<sup>2</sup></td></tr> <tr><td><math>c</math></td><td>2,5</td><td>Ton/m<sup>2</sup></td></tr> <tr><td><math>\phi</math></td><td>37</td><td>°</td></tr> <tr><td><math>K_0</math></td><td>2,5</td><td></td></tr> <tr><td><math>K</math></td><td>1,33</td><td></td></tr> </table>	Datos del macizo			$h_{cobertura\ max}$	1100,0	m	$\rho$	2,55	Ton/m <sup>3</sup>	$\sigma_x$	2805	Ton/m <sup>2</sup>	$c$	2,5	Ton/m <sup>2</sup>	$\phi$	37	°	$K_0$	2,5		$K$	1,33		<table> <tr><th colspan="3">Datos del túnel</th></tr> <tr><td><math>R</math></td><td>3,50</td><td>m</td></tr> <tr><td><math>b, r</math></td><td>5,1</td><td>m</td></tr> <tr><td><math>a</math></td><td>0,35</td><td>m</td></tr> <tr><td><math>b</math></td><td>7,00</td><td>m</td></tr> <tr><td><math>\sigma_c</math></td><td>3,4</td><td>Ton/m<sup>2</sup></td></tr> <tr><td><math>q</math></td><td>736,31</td><td>Ton/m</td></tr> <tr><td><math>\sigma_1</math></td><td>7047,9</td><td>Ton/m<sup>2</sup></td></tr> <tr><td><math>\sigma_r</math></td><td>7061,8</td><td>Ton/m<sup>3</sup></td></tr> <tr><td><math>\sigma_e</math></td><td>7080,1</td><td>Ton/m<sup>4</sup></td></tr> <tr><td><math>R^*</math></td><td>2,69</td><td>m</td></tr> <tr><td><math>S</math></td><td>1,00</td><td>m</td></tr> </table>	Datos del túnel			$R$	3,50	m	$b, r$	5,1	m	$a$	0,35	m	$b$	7,00	m	$\sigma_c$	3,4	Ton/m <sup>2</sup>	$q$	736,31	Ton/m	$\sigma_1$	7047,9	Ton/m <sup>2</sup>	$\sigma_r$	7061,8	Ton/m <sup>3</sup>	$\sigma_e$	7080,1	Ton/m <sup>4</sup>	$R^*$	2,69	m	$S$	1,00	m	
Datos del macizo																																																														
$h_{cobertura\ max}$	1100,0	m																																																												
$\rho$	2,55	Ton/m <sup>3</sup>																																																												
$\sigma_x$	2805	Ton/m <sup>2</sup>																																																												
$c$	2,5	Ton/m <sup>2</sup>																																																												
$\phi$	37	°																																																												
$K_0$	2,5																																																													
$K$	1,33																																																													
Datos del túnel																																																														
$R$	3,50	m																																																												
$b, r$	5,1	m																																																												
$a$	0,35	m																																																												
$b$	7,00	m																																																												
$\sigma_c$	3,4	Ton/m <sup>2</sup>																																																												
$q$	736,31	Ton/m																																																												
$\sigma_1$	7047,9	Ton/m <sup>2</sup>																																																												
$\sigma_r$	7061,8	Ton/m <sup>3</sup>																																																												
$\sigma_e$	7080,1	Ton/m <sup>4</sup>																																																												
$R^*$	2,69	m																																																												
$S$	1,00	m																																																												
<p>Selección del tipo de soporte</p> <table> <tr><td><math>\sigma_e</math></td><td>42000</td><td>Ton/m<sup>2</sup></td></tr> <tr><td><math>W_{xx}</math></td><td>0,0076</td><td>m<sup>3</sup></td></tr> <tr><td><math>W_{xx}</math></td><td>76,38</td><td>cm<sup>3</sup></td></tr> <tr><td><math>S</math></td><td>2,50</td><td>m</td></tr> <tr><td>Tipo de soporte</td><td>TH58-29</td><td></td></tr> <tr><td>Peso del soporte</td><td>29</td><td>Kg/m</td></tr> <tr><td>Rendimiento instalación</td><td>3,50</td><td>Kg/min</td></tr> <tr><td>Tiempo instalación</td><td>126,77</td><td>min</td></tr> <tr><td>Tiempo instalación</td><td></td><td>h</td></tr> </table>	$\sigma_e$	42000	Ton/m <sup>2</sup>	$W_{xx}$	0,0076	m <sup>3</sup>	$W_{xx}$	76,38	cm <sup>3</sup>	$S$	2,50	m	Tipo de soporte	TH58-29		Peso del soporte	29	Kg/m	Rendimiento instalación	3,50	Kg/min	Tiempo instalación	126,77	min	Tiempo instalación		h																																			
$\sigma_e$	42000	Ton/m <sup>2</sup>																																																												
$W_{xx}$	0,0076	m <sup>3</sup>																																																												
$W_{xx}$	76,38	cm <sup>3</sup>																																																												
$S$	2,50	m																																																												
Tipo de soporte	TH58-29																																																													
Peso del soporte	29	Kg/m																																																												
Rendimiento instalación	3,50	Kg/min																																																												
Tiempo instalación	126,77	min																																																												
Tiempo instalación		h																																																												

<b>Proyecto de grado en Maestría en Ingeniería Civil. Énfasis en Geotecnia</b>	<b>Análisis de rendimientos para varios sistemas de excavación de túneles en roca.</b>	<b>Elaborado por: Ing. Diego Triana</b>
<b>Cerchas metálicas deformables NO APLICA TIPO DE SOPORTE</b>		
<b>Metodo de arcos cendentes</b>		
<b>Datos del macizo</b>		<b>Selección del tipo de soporte</b>
$f(\phi)$	4 °	$\sigma_e$ <b>420</b> MPa
$P_i$	2174,5 Ton/m <sup>2</sup>	Tipo de soporte <b>TH58-21</b>
		$S$ <b>0,90</b> m
		$D$ 398 mm
		$I_s$ 127 cm <sup>4</sup>
		$\theta$ 0,05
		$t_b$ <b>0,1</b> m
		$A_s$ 0,27 m <sup>2</sup>
	$PS_{max}$	1726,2 Ton/m <sup>2</sup>
	Peso del soporte	21 Kg/m
	Rendimiento instalación	<b>3,50</b> Kg/min
	Tiempo instalación	102,0 min
	Tiempo instalación	h

Proyecto de grado en Maestría en Ingeniería Civil. Énfasis en Geotecnia	Análisis de rendimientos para varios sistemas de excavación de túneles en roca.	Elaborado por: Ing. Diego Triana																																	
<b>Enfilajes NO APLICA TIPO DE SOPORTE</b>																																			
	<table> <tr><td>Perímetro túnel</td><td>7,65</td><td>m<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>H<sub>f</sub></td><td>12,0</td><td>m</td></tr> <tr><td>α<sub>f</sub></td><td>60</td><td>°</td></tr> <tr><td>L<sub>f</sub></td><td>171,61</td><td>m</td></tr> <tr><td>E<sub>e</sub></td><td>18000000</td><td>KN/m<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>D<sub>e</sub></td><td>0,20</td><td>m</td></tr> <tr><td>I<sub>e</sub></td><td>7,854E-05</td><td>m<sup>4</sup></td></tr> <tr><td>E<sub>m</sub></td><td>120000</td><td>KN/m<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>L<sub>e</sub></td><td>0,43</td><td>m</td></tr> </table>	Perímetro túnel	7,65	m <sup>2</sup>	H <sub>f</sub>	12,0	m	α <sub>f</sub>	60	°	L <sub>f</sub>	171,61	m	E <sub>e</sub>	18000000	KN/m <sup>2</sup>	D <sub>e</sub>	0,20	m	I <sub>e</sub>	7,854E-05	m <sup>4</sup>	E <sub>m</sub>	120000	KN/m <sup>2</sup>	L <sub>e</sub>	0,43	m							
Perímetro túnel	7,65	m <sup>2</sup>																																	
H <sub>f</sub>	12,0	m																																	
α <sub>f</sub>	60	°																																	
L <sub>f</sub>	171,61	m																																	
E <sub>e</sub>	18000000	KN/m <sup>2</sup>																																	
D <sub>e</sub>	0,20	m																																	
I <sub>e</sub>	7,854E-05	m <sup>4</sup>																																	
E <sub>m</sub>	120000	KN/m <sup>2</sup>																																	
L <sub>e</sub>	0,43	m																																	
	<p>Tipo de cercha <b>Deformable</b></p> <table> <tr><td>L<sub>a</sub></td><td>0,9</td><td>m</td></tr> <tr><td>L<sub>d</sub></td><td>173,03</td><td>m</td></tr> <tr><td>Definir L<sub>d</sub></td><td>10</td><td>m</td></tr> <tr><td>S<sub>e</sub></td><td>0,5</td><td>m</td></tr> <tr><td>N° enfilajes</td><td>4,0</td><td></td></tr> <tr><td>ml perforación</td><td>40,0</td><td>m</td></tr> <tr><td>VP promedio</td><td>2,57</td><td>m/min</td></tr> <tr><td>Tiempo de perforación</td><td>15,55</td><td>min</td></tr> <tr><td>Rendimiento propuesto de inyección</td><td>1,80</td><td>m/min</td></tr> <tr><td>Tiempo inyección</td><td>22,22</td><td>min</td></tr> <tr><td>Tiempo total</td><td></td><td>h</td></tr> </table>	L <sub>a</sub>	0,9	m	L <sub>d</sub>	173,03	m	Definir L <sub>d</sub>	10	m	S <sub>e</sub>	0,5	m	N° enfilajes	4,0		ml perforación	40,0	m	VP promedio	2,57	m/min	Tiempo de perforación	15,55	min	Rendimiento propuesto de inyección	1,80	m/min	Tiempo inyección	22,22	min	Tiempo total		h	
L <sub>a</sub>	0,9	m																																	
L <sub>d</sub>	173,03	m																																	
Definir L <sub>d</sub>	10	m																																	
S <sub>e</sub>	0,5	m																																	
N° enfilajes	4,0																																		
ml perforación	40,0	m																																	
VP promedio	2,57	m/min																																	
Tiempo de perforación	15,55	min																																	
Rendimiento propuesto de inyección	1,80	m/min																																	
Tiempo inyección	22,22	min																																	
Tiempo total		h																																	
<b>Resumen</b>	<table> <tr><td>Tiempo total de soporte</td><td>3,53</td><td>h</td></tr> </table>	Tiempo total de soporte	3,53	h																															
Tiempo total de soporte	3,53	h																																	

<b>Proyecto de grado en Maestría en Ingeniería Civil. Énfasis en Geotecnia</b>	<b>Análisis de rendimientos para varios sistemas de excavación de túneles en roca.</b>	<b>Elaborado por: Ing. Diego Triana</b>
<b>SOPORTE TIPO DE TERRENO</b>		<b>IIIa</b>
<b>Longitud del barreno</b>	<b>1,50 m</b>	<b>Verificar</b>
<b>Trabajos de soporte</b>	Inyección de consolidación Pernos en bóveda Pernos en paredes Concreto lanzado Cerchas metálicas fijas Enfilajes Cerchas metálicas deformables Pernos en solera curva	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
<b>Inyección de consolidación</b>		<b>APLICA TIPO DE SOPORTE</b>
	Diametro inyección <b>0,051</b> m Área inyección <b>0,00204</b> m <sup>2</sup> Longitud inyección (L <sub>barreno</sub> ) 1,50 m Módulo de elasticidad del macizo 80000 KN/m <sup>2</sup> Sección túnel 23,2 m <sup>2</sup> Separación <b>2,50</b> m Módulo de la inyección <b>18114220</b> KN/m <sup>2</sup> Área mejorada 0,1103 m <sup>2</sup> Nº inyecciones 9 Módulo del macizo mejorado 165750 KN/m <sup>2</sup> ml perforación 13,5 m VP promedio 2,65 m/min  Tiempo de perforación 5,10 min Rendimiento propuesto de inyección y fraguado <b>0,60</b> m/min Tiempo inyección y fraguado 22,50 min Tiempo total 0,5 h	

Proyecto de grado en Maestría en Ingeniería Civil. Énfasis en Geotecnia	Análisis de rendimientos para varios sistemas de excavación de túneles en roca.	Elaborado por: Ing. Diego Triana																																																																					
<b>Pernos en bóveda NO APLICA TIPO DE SOPORTE</b>																																																																							
	<table> <tr> <td>F</td> <td>2,25</td> <td>Varía entre 1,5 y 3</td> </tr> <tr> <td>s</td> <td>1,00</td> <td>m</td> </tr> <tr> <td>c</td> <td>1,00</td> <td>m</td> </tr> <tr> <td>h</td> <td>8,00</td> <td>m</td> </tr> <tr> <td><math>\rho</math></td> <td>2,55</td> <td>Ton/m<sup>3</sup></td> </tr> <tr> <td>W</td> <td>45,90</td> <td>Ton/m<sup>2</sup></td> </tr> <tr> <td colspan="3">N° de pernos</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>60,0</td> <td>Ton</td> </tr> <tr> <td>L</td> <td>3,0</td> <td>m</td> </tr> <tr> <td>Área</td> <td>3,5</td> <td>m<sup>2</sup></td> </tr> <tr> <td>N</td> <td>7</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="3">ml perforación</td> </tr> <tr> <td></td> <td>21,0</td> <td>m</td> </tr> <tr> <td colspan="3">VP promedio</td> </tr> <tr> <td></td> <td>2,57</td> <td>m/min</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Tiempo de perforación</td> </tr> <tr> <td></td> <td>8,2</td> <td>min</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Rendimiento propuesto instalación y graguado</td> </tr> <tr> <td></td> <td>0,60</td> <td>m/min</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Tiempo instalación y fraguado</td> </tr> <tr> <td></td> <td>35,00</td> <td>min</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Tiempo total</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>h</td> </tr> </table>	F	2,25	Varía entre 1,5 y 3	s	1,00	m	c	1,00	m	h	8,00	m	$\rho$	2,55	Ton/m <sup>3</sup>	W	45,90	Ton/m <sup>2</sup>	N° de pernos			B	60,0	Ton	L	3,0	m	Área	3,5	m <sup>2</sup>	N	7		ml perforación				21,0	m	VP promedio				2,57	m/min	Tiempo de perforación				8,2	min	Rendimiento propuesto instalación y graguado				0,60	m/min	Tiempo instalación y fraguado				35,00	min	Tiempo total					h	
F	2,25	Varía entre 1,5 y 3																																																																					
s	1,00	m																																																																					
c	1,00	m																																																																					
h	8,00	m																																																																					
$\rho$	2,55	Ton/m <sup>3</sup>																																																																					
W	45,90	Ton/m <sup>2</sup>																																																																					
N° de pernos																																																																							
B	60,0	Ton																																																																					
L	3,0	m																																																																					
Área	3,5	m <sup>2</sup>																																																																					
N	7																																																																						
ml perforación																																																																							
	21,0	m																																																																					
VP promedio																																																																							
	2,57	m/min																																																																					
Tiempo de perforación																																																																							
	8,2	min																																																																					
Rendimiento propuesto instalación y graguado																																																																							
	0,60	m/min																																																																					
Tiempo instalación y fraguado																																																																							
	35,00	min																																																																					
Tiempo total																																																																							
		h																																																																					

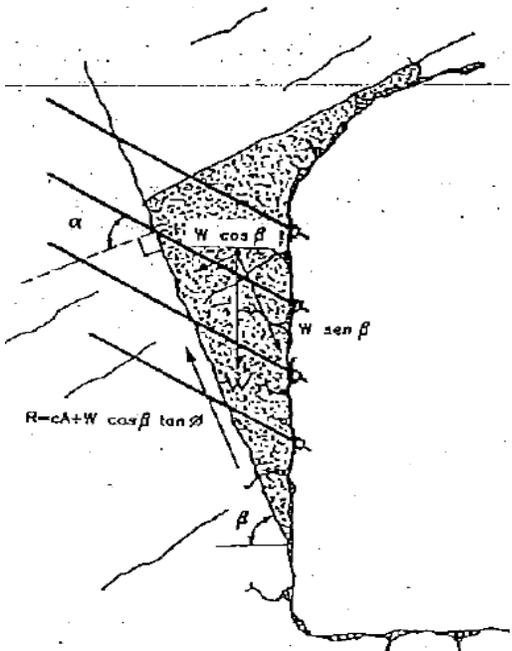
Proyecto de grado en Maestría en  
Ingeniería Civil. Énfasis en  
Geotecnia

Análisis de rendimientos para  
varios sistemas de excavación de  
túneles en roca.

Elaborado por:  
Ing. Diego Triana

**Pernos instalados en paredes**

**NO APLICA TIPO DE SOPORTE**

Condiciones del suelo	Residual	
	$h_{cobertura}$	450,0 m
	$\rho$	2,24 Ton/m <sup>3</sup>
	$\sigma$	1008 Ton/m <sup>2</sup>
	c	5 Ton/m <sup>2</sup>
	A	3 m
	$\alpha$	20 °
	$\beta$	70 °
	$\phi$	24 °
	$\phi'$	18 °
	Área	2,5 m <sup>2</sup>
	N	8
	L	3,0 m
	D	0,025 m
	$\sigma_A$	42000 Ton/m <sup>2</sup>
	$F_A$	20,62 Ton
	$F_T$	77,17 Ton
	W	43,13 Ton/m <sup>2</sup>
	$\tau$	328 Ton/m <sup>2</sup>
	VP promedio	2,57 m/min
	ml perforación	24,4 m
	Tiempo de perforación	9,5 min
	Rendimiento propuesto instalación y graguado	0,60 m/min
	Tiempo instalación y fraguado	40,61 min
	Tiempo total	h

**Pernos en solera curva**

**APLICA TIPO DE SOPORTE**

	ml perforación	2,4 m
	VP promedio	2,50 m/min
	Tiempo de perforación	1,0 min
	Rendimiento propuesto instalación y graguado	0,60 m/min
	Tiempo instalación y fraguado	4,0 min
	Tiempo total	0,08 h

Proyecto de grado en Maestría en Ingeniería Civil. Énfasis en Geotecnia	Análisis de rendimientos para varios sistemas de excavación de túneles en roca.	Elaborado por: Ing. Diego Triana																																																												
<b>Concreto lanzado</b> <span style="float: right;"><b>APLICA TIPO DE SOPORTE</b></span>																																																														
	<table> <tr><td>Perimetro</td><td>7,65</td><td>m</td></tr> <tr><td>Espesor concreto lanzado</td><td>0,51</td><td>m</td></tr> <tr><td>Área</td><td>11,48</td><td>m<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>m<sup>3</sup> concreto</td><td>5,85</td><td>m<sup>3</sup></td></tr> <tr><td>Rendimiento propuesto</td><td>2,75</td><td>m<sup>3</sup>/h</td></tr> <tr><td>Tiempo</td><td>2,13</td><td>h</td></tr> </table>	Perimetro	7,65	m	Espesor concreto lanzado	0,51	m	Área	11,48	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> concreto	5,85	m <sup>3</sup>	Rendimiento propuesto	2,75	m <sup>3</sup> /h	Tiempo	2,13	h																																											
Perimetro	7,65	m																																																												
Espesor concreto lanzado	0,51	m																																																												
Área	11,48	m <sup>2</sup>																																																												
m <sup>3</sup> concreto	5,85	m <sup>3</sup>																																																												
Rendimiento propuesto	2,75	m <sup>3</sup> /h																																																												
Tiempo	2,13	h																																																												
<b>Soporte metálicos fijos</b> <span style="float: right;"><b>APLICA TIPO DE SOPORTE</b></span>																																																														
<b>Metodo de Hoek &amp; Brown</b>																																																														
<table> <tr><th colspan="3">Datos del macizo</th></tr> <tr><td><math>h_{cobertura\ max}</math></td><td>1100,0</td><td>m</td></tr> <tr><td><math>\rho</math></td><td>2,55</td><td>Ton/m<sup>3</sup></td></tr> <tr><td><math>\sigma_x</math></td><td>2805</td><td>Ton/m<sup>2</sup></td></tr> <tr><td><math>c</math></td><td>2,5</td><td>Ton/m<sup>2</sup></td></tr> <tr><td><math>\phi</math></td><td>37</td><td>°</td></tr> <tr><td><math>K_0</math></td><td>2,5</td><td></td></tr> <tr><td><math>K</math></td><td>1,33</td><td></td></tr> </table>	Datos del macizo			$h_{cobertura\ max}$	1100,0	m	$\rho$	2,55	Ton/m <sup>3</sup>	$\sigma_x$	2805	Ton/m <sup>2</sup>	$c$	2,5	Ton/m <sup>2</sup>	$\phi$	37	°	$K_0$	2,5		$K$	1,33		<table> <tr><th colspan="3">Datos del túnel</th></tr> <tr><td>R</td><td>3,50</td><td>m</td></tr> <tr><td>b, r</td><td>5,1</td><td>m</td></tr> <tr><td>a</td><td>0,35</td><td>m</td></tr> <tr><td>b</td><td>7,00</td><td>m</td></tr> <tr><td><math>\sigma_c</math></td><td>3,4</td><td>Ton/m<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>q</td><td>736,31</td><td>Ton/m</td></tr> <tr><td><math>\sigma_1</math></td><td>7047,9</td><td>Ton/m<sup>2</sup></td></tr> <tr><td><math>\sigma_r</math></td><td>7061,8</td><td>Ton/m<sup>3</sup></td></tr> <tr><td><math>\sigma_e</math></td><td>7080,1</td><td>Ton/m<sup>4</sup></td></tr> <tr><td>R*</td><td>2,69</td><td>m</td></tr> <tr><td>S</td><td>1,00</td><td>m</td></tr> </table>	Datos del túnel			R	3,50	m	b, r	5,1	m	a	0,35	m	b	7,00	m	$\sigma_c$	3,4	Ton/m <sup>2</sup>	q	736,31	Ton/m	$\sigma_1$	7047,9	Ton/m <sup>2</sup>	$\sigma_r$	7061,8	Ton/m <sup>3</sup>	$\sigma_e$	7080,1	Ton/m <sup>4</sup>	R*	2,69	m	S	1,00	m	
Datos del macizo																																																														
$h_{cobertura\ max}$	1100,0	m																																																												
$\rho$	2,55	Ton/m <sup>3</sup>																																																												
$\sigma_x$	2805	Ton/m <sup>2</sup>																																																												
$c$	2,5	Ton/m <sup>2</sup>																																																												
$\phi$	37	°																																																												
$K_0$	2,5																																																													
$K$	1,33																																																													
Datos del túnel																																																														
R	3,50	m																																																												
b, r	5,1	m																																																												
a	0,35	m																																																												
b	7,00	m																																																												
$\sigma_c$	3,4	Ton/m <sup>2</sup>																																																												
q	736,31	Ton/m																																																												
$\sigma_1$	7047,9	Ton/m <sup>2</sup>																																																												
$\sigma_r$	7061,8	Ton/m <sup>3</sup>																																																												
$\sigma_e$	7080,1	Ton/m <sup>4</sup>																																																												
R*	2,69	m																																																												
S	1,00	m																																																												
<p>Selección del tipo de soporte</p> <table> <tr><td><math>\sigma_e</math></td><td>42000</td><td>Ton/m<sup>2</sup></td></tr> <tr><td><math>W_{xx}</math></td><td>0,0076</td><td>m<sup>3</sup></td></tr> <tr><td><math>W_{xx}</math></td><td>76,38</td><td>cm<sup>3</sup></td></tr> <tr><td>S</td><td>2,50</td><td>m</td></tr> <tr><td>Tipo de soporte</td><td>TH58-29</td><td></td></tr> <tr><td>Peso del soporte</td><td>29</td><td>Kg/m</td></tr> <tr><td>Rendimiento instalación</td><td>3,50</td><td>Kg/min</td></tr> <tr><td>Tiempo instalación</td><td>95,08</td><td>min</td></tr> <tr><td>Tiempo instalación</td><td>1,58</td><td>h</td></tr> </table>	$\sigma_e$	42000	Ton/m <sup>2</sup>	$W_{xx}$	0,0076	m <sup>3</sup>	$W_{xx}$	76,38	cm <sup>3</sup>	S	2,50	m	Tipo de soporte	TH58-29		Peso del soporte	29	Kg/m	Rendimiento instalación	3,50	Kg/min	Tiempo instalación	95,08	min	Tiempo instalación	1,58	h																																			
$\sigma_e$	42000	Ton/m <sup>2</sup>																																																												
$W_{xx}$	0,0076	m <sup>3</sup>																																																												
$W_{xx}$	76,38	cm <sup>3</sup>																																																												
S	2,50	m																																																												
Tipo de soporte	TH58-29																																																													
Peso del soporte	29	Kg/m																																																												
Rendimiento instalación	3,50	Kg/min																																																												
Tiempo instalación	95,08	min																																																												
Tiempo instalación	1,58	h																																																												

<b>Proyecto de grado en Maestría en Ingeniería Civil. Énfasis en Geotecnia</b>	<b>Análisis de rendimientos para varios sistemas de excavación de túneles en roca.</b>	<b>Elaborado por: Ing. Diego Triana</b>
<b>Cerchas metálicas deformables NO APLICA TIPO DE SOPORTE</b>		
<b>Metodo de arcos cendentes</b>		
<b>Datos del macizo</b>		<b>Selección del tipo de soporte</b>
$f(\phi)$	4 °	$\sigma_e$ <b>420</b> MPa
$P_i$	2174,5 Ton/m <sup>2</sup>	Tipo de soporte <b>TH58-21</b>
		$S$ <b>0,90</b> m
		$D$ 398 mm
		$I_s$ 127 cm <sup>4</sup>
		$\theta$ 0,05
		$t_b$ <b>0,1</b> m
		$A_s$ 0,27 m <sup>2</sup>
	$PS_{max}$	1726,2 Ton/m <sup>2</sup>
	Peso del soporte	21 Kg/m
	Rendimiento instalación	<b>3,50</b> Kg/min
	Tiempo instalación	76,5 min
	Tiempo instalación	h

Proyecto de grado en Maestría en Ingeniería Civil. Énfasis en Geotecnia	Análisis de rendimientos para varios sistemas de excavación de túneles en roca.	Elaborado por: Ing. Diego Triana
<b>Enfilajes NO APLICA TIPO DE SOPORTE</b>		
	Perímetro túnel 7,65 m <sup>2</sup> H <sub>f</sub> 12,0 m α <sub>f</sub> 60 ° L <sub>f</sub> 171,61 m E <sub>e</sub> 18000000 KN/m <sup>2</sup> D <sub>e</sub> 0,20 m I <sub>e</sub> 7,854E-05 m <sup>4</sup> E <sub>m</sub> 120000 KN/m <sup>2</sup> L <sub>e</sub> 0,43 m	
	Tipo de cercha <b>Deformable</b> L <sub>a</sub> 0,9 m L <sub>d</sub> 173,03 m Definir L <sub>d</sub> 10 m S <sub>e</sub> 0,5 m N° enfilajes 4,0 ml perforación 40,0 m VP promedio 2,57 m/min Tiempo de perforación 15,55 min Rendimiento propuesto de inyección 1,80 m/min Tiempo inyección 22,22 min Tiempo total h	
<b>Resumen</b>	Tiempo total de soporte 4,26 h	