



Oficina y Fábrica Principal  
Head Office and Plant  
Antigua Panamericana Sur km. 38,5  
Pampas de Huarangal  
Lurin, Lima 16 / Perú  
T (01)3157000  
F (01)3157015

Centro Tecnológico de Voladura EXSA (CTVE)  
EXSA's Blasting Technological Center (CTVE)  
Av. Nicolás Arriola 767 - 771  
La Victoria, Lima 13 / Perú  
T (01)3157000 Anex. 3281  
F (01)3157015  
ctve@exsa.com.pe

Oficina Lima / Lima Office  
Av. Nicolás Arriola 767 - 771  
La Victoria, Lima 13 / Perú  
T (01)3157000  
F (01)3157015

Oficina Trujillo / Trujillo Office  
Av. Santa 815 - El Molino  
T (044)25 9444  
F (044)25 7175

Oficina Arequipa / Arequipa Office  
Calle Misti 104 - Yanahuara  
T (054)25 6163  
F (054)25 3396

Correo / Mail: Casilla Postal 4244  
Lima 100 / Perú

Correo Electrónico / E-mail  
exsamail@exsa.com.pe

Página Web / Web Site  
www.exsa.com.pe



Calidad total... en expansión!



## Guía del Explosivista

www.exsa.com.pe



## UNIDADES Y MEDIDAS

Longitudes	por	Longitudes	por
mm a pulg	0,03937	Pulg. a mm	25,40
cm a pulg	0,39370	Pulg. a cm	2,54
cm a pies	0,09281	Pies a cm	30,48
m a pies	3,28084	pies a m	0,3048
m a Yardas	1,09361	yarda a m	0,9144
km a millas	0,62137	Milla a km	1,6093
Superficie		Superficie	
mm <sup>2</sup> a pulg <sup>2</sup>	0,00155	Pulg <sup>2</sup> a mm <sup>2</sup>	645,1600
cm <sup>2</sup> a pulg <sup>2</sup>	0,15500	Pulg <sup>2</sup> a cm <sup>2</sup>	6,4516
m <sup>2</sup> a pie <sup>2</sup>	10,76390	pie <sup>2</sup> a m <sup>2</sup>	0,9290
m <sup>2</sup> a yard <sup>2</sup>	1,14599	yard <sup>2</sup> a m <sup>2</sup>	0,8361
km <sup>2</sup> a milla <sup>2</sup>	0,38610	Milla <sup>2</sup> a km <sup>2</sup>	2,5899
Volumen		Volumen	
m <sup>3</sup> a pie <sup>3</sup>	35,3146	Pie <sup>3</sup> a m <sup>3</sup>	0,0283
m <sup>3</sup> a Yard <sup>3</sup>	1,3079	Yard <sup>3</sup> a m <sup>3</sup>	0,7646
lt a gl	0,2642	Gl a lt	3,7854
Peso		Peso	
g a granos	15,4323	granos a g	0,0648
g a lb	0,0022	lb a g	453,5920
g a onz	0,0353	onz a g	28,3495
kg a lb	2,2046	lb a kg	0,4536
kg a Onz	35,2739	Onz a kg	0,028
Velocidad		Velocidad	
m/s a pies/s	3,2804	pies/s a m/s	0,3048
Temperatura		Temperatura	
C° = (F° - 32°) x 5/9		F° = (C° x 9/5) + 32°	
Presión		Presión	
KPa a psi	0,145	psi a Kpa	6,895
Factor de carga		Factor de carga	
k/TM a lb/t	2,0	lb/t a k/TM	0,5
k/m <sup>3</sup> a lb/yd <sup>3</sup>	1,6855	lb/yd <sup>3</sup> a k/m <sup>3</sup>	0,5933
Factor de carga de Taladro		Factor de carga de Taladro	
Kg/m a lb/pie	0,672	lb/pie a kg/m	1,4881
Energía		Energía	
Kcal a MJ	0,004184	MJ a Kcal	240
Joule a ft-lb	0,7376	ft-lb a joule	1,3557
Cal a joule	4,184	joule a cal	0,24

**“Ser cliente de Exsa S.A.  
Significa mucho más que adquirir explosivos”**

### SEGURIDAD, CALIDAD Y EL MEDIO AMBIENTE:

**EXSA S.A.** es una empresa líder en el mercado de explosivos, que mantiene sistemas de seguridad, calidad y gestión ambiental desarrollados bajo el esquema de la mejora continua y dentro del marco de la legislación y normatividad aplicable.

“Nuestro servicio post-venta, marca la diferencia entre los productos **EXSA** y los otros existentes en el mercado”

### INDICE

PAG.

PRODUCTOS EXPLOSIVOS EXSA

I

CARGA EXPLOSIVA POR METRO LINEAL

II

PESOS Y MEDIDAS DE LOS EXPLOSIVOS ENCARTUCHADOS

III

DETONADOR NO ELÉCTRICO EXANEL

IV

YARDAS CÚBICAS DE ROCA REMOVIDA POR PIE DE TALADRO PERFORADO

V

METROS CÚBICOS DE ROCA REMOVIDA POR METRO PERFORADO

VI

CARACTERÍSTICAS DE LAS ROCAS Y FACTORES PARA EL RENDIMIENTO DE LA VOLADURA

VII

CONCEPTOS Y FÓRMULAS PARA VOLADURA

VIII

## DINAMITAS



Son explosivos a base de mezclas balanceadas de sustancias oxidantes y combustibles, sensibilizados con el nitroglicol, que de acuerdo a su porcentaje en su composición se fabrican en una gama de productos para ser usadas como alternativas en la voladura de rocas que se encuentren en diferentes condiciones estructurales y ambientes de trabajo, desde las muy severas que requieran de mayor cuidado y precisión

Tipo	Densidad G/cc	VOD m/s	RBS Anfo=100	Resistencia al agua	Clase de Humos
Gelatina Esp. 90	1,42	6.000	193	Excelente	1
Gelatina Esp. 75	1,38	5.500	183	Excelente	1
Semexsa 80	1,18	4.500	152	Muy buena	1
Semexsa 65	1,12	4.200	141	Buena	1
Semexsa 45	1.08	3.800	134	Buena	1
Exadit 65	1,05	3.600	127	Buena	1
Exadit 45	1,00	3.400	105	Buena	1

### Suministro

En cartuchos de papel parafinado, en cajas de cartón de 25 kg neto.

## EMULSIONES SENSIBLES AL DETONADOR N. 8



Las emulsiones son explosivos a base de una mezcla de sustancias oxidantes y combustibles en solución sensibilizados por medio de las microesferas de vidrio resistentes a altas presiones atmosféricas. Por su alta resistencia al agua son utilizados como alternativa en taladros totalmente inundados. Se presentan con dos tipos de envoltura:

- Con papel para ser usado en taladros verticales sobrecabeza por su buen confinamiento y retención dentro del taladro
- Con plástico para taladros horizontales

Tipo	Densidad G/cc	VOD m/s	RBS Anfo=100	Resistencia al agua	Clase de Humos
Semexsa E-80 (*)	1,18	4.800	181	Excelente	1
Semexsa E-65 (*)	1,12	5.000	129	Excelente	1
Exsagel E-80 (**)	1,14	5.300	172	Excelente	1
Exsagel E-60 (**)	1,12	5.100	144	Excelente	1
Emulex 80 (**)	1,14	5.100	172	Excelente	1
Emulex 65 (**)	1,12	5.000	144	Excelente	1
Emulex 45 (**)	1,00	4.500	94	Excelente	1

### Suministro

(\*) En cartuchos de papel parafinado, en cajas de cartón de 25 kg neto.

(\*\*) Cartuchos de plástico, en cajas de cartón de 25 kg neto.

## AGENTES DE VOLADURA EMULSIONADOS SLURREX AP



Son mezclas balanceadas de emulsión matriz y Anfo, su alto nivel de energía hace que se aplique en las voladuras de tajos abiertos y canteras, como carga de fondo y/o carga de columna en taladros con abundante agua, también son usados en taladros en condiciones no usuales de altas y bajas temperaturas.

Tipo	Densidad G/cc	VOD m/s (*)	RBS Anfo=100	Resistencia al agua	Clase de Humos
Slurrex - AP 80	1,26	5.600	124	Excelente	2
Slurrex - AP 60	1,28	5.400	136	Excelente	2

(\*) Confinado > Ø 5".

### Suministro

Slurrex AP 80, en mangas plásticas de diámetro 65 mm ó más

Slurrex AP 60, en mangas plásticas de diámetro 100 mm ó más

Los productos de diámetros menores embalados en cajas de cartón de 25 kg neto

Los de diámetros mayores, con forro exterior de polipropileno con 12,5 ó 25 kg neto, según el diámetro

## AGENTES DE VOLADURA GRANULADOS EXAMON V • EXAMON P



Es un producto de exacta dosificación y perfecta mezcla balanceada entre el nitrato de amonio grado Anfo y el combustible diesel, su alto rendimiento energético y su bajo costo, hace que su empleo presente ventajas económicas siempre que se utilice en zonas con buena ventilación y cuente con la respectiva autorización del Ministerio de Energía y Minas

Tipo	Densidad G/cc	VOD m/s (*)	RBS Anfo=100	Resistencia al agua	Clase de Humos
Examon - V	0,85	4.000	133	Nula	2
Examon - P	0,84	3.900	116	Nula	2

(\*) Confinado > Ø 3".

### Suministro

Envasado en sacos de polipropileno con bolsas de polietileno de alta densidad, con un contenido de 25 kg netos

## PRODUCTOS ESPECIALES EXPLOSIVO SÍSMICO GEODIT



Explosivo sísmico a base de dinamita gelatinosa especialmente formulada y se presenta, envasada en cartuchos de cartón, la constancia que caracteriza su detonación, garantiza la calidad de los registros sísmicos

La excelente resistencia al agua del Geodit Plus, especialmente en pozos sometidos a alta presión hidrostática, garantiza una óptima eficiencia.

Tipo	Densidad G/cc	VOD m/s	Resistencia a la presión hidrostática	Resistencia al agua
Geodit Plus	1,42	6.300	96 horas a 10 kg/cm <sup>2</sup>	Excelente

### Suministro

En cartuchos de papel parafinado, en cajas de cartón de 25 kg neto.

## EXPLOSIVO PARA VOLADURA CONTROLADA EXSATRON/EXSACORTE



Explosivos especialmente fabricados para voladura de contorno y precorte en canteras y taludes de carreteras, se proporciona en cartuchos de cartón en diámetros de 17,5 mm (11/16") y de plástico en diámetros de 22 mm (7/8")

Tipo	Densidad G/cc	VOD m/s	RBS Anfo=100	Resistencia al agua	Clase de Humos
Exsatron (*)	1,18	4.500	152	Muy buena	1
Exsacorte (**)	1,08	3.900	134	Muy buena	1

### Suministro

En cartuchos de papel parafinado, en cajas de cartón de 25 kg neto.

## PRODUCTOS ESPECIALES EXPLOSIVO PARA VOLADURA SECUNDARIA PLASTEX E



Explosivo a granel tipo emulsión de consistencia plástica y su carácter inocuo le confieren una flexibilidad en su manipulación, lo que representa una ventaja para su aplicación en voladura secundaria por plasteo

Tipo	Densidad	VOD m/s(*)	RBS Anfo=100	Resistencia al agua	Clase de Humos
Plastex - E	1,12	5.000	129	Excelente	1

### Suministro

Explosivo a granel en cajas de 25 kg neto.

## EMULSION OXIDANTE SLURREX MA



Emulsión oxidante inerte no detonable para efectos de transporte, hasta su sensibilización en el lugar de su aplicación para formar un agente de voladura como Anfo pesado al ser mezclado en diferentes proporciones o en casos muy especiales como emulsión explosiva de alto nivel de energía al añadirle un sensibilizador.

Tipo	Densidad	VOD m/s	RBS Anfo=100	Resistencia al agua
Slurrex - MA	1,31	No aplica	120	Excelente

### Suministro

En camiones cisternas especiales o en bolsas plásticas de 25 kg neto

## CARGA EXPLOSIVA POR METRO LINEAL

Diámetro de carga  
explosiva

Densidad de los Explosivos EXSA (gr/cm<sup>3</sup>)

mm	Pulg.	0.78	0.84	0.90	0.95	1.00	1.05	1.08	1.12	1.18	1.27	1.30	1.35	1.38	1.42
22	0.875	0.30	0.32	0.34	0.36	0.38	0.40	0.41	0.43	0.45	0.48	0.49	0.51	0.52	0.54
25	1	0.38	0.41	0.44	0.47	0.49	0.52	0.53	0.55	0.58	0.62	0.64	0.66	0.68	0.70
28	1.1/8	0.48	0.52	0.55	0.58	0.62	0.65	0.67	0.69	0.73	0.78	0.80	0.83	0.85	0.87
38	1.1/2	0.88	0.95	1.02	1.08	1.13	1.19	1.22	1.27	1.34	1.44	1.47	1.53	1.57	1.61
44	1.3/4	1.19	1.28	1.37	1.44	1.52	1.60	1.64	1.70	1.79	1.93	1.98	2.05	2.10	2.16
51	2	1.59	1.72	1.84	1.94	2.04	2.14	2.21	2.29	2.41	2.59	2.66	2.76	2.82	2.90
64	2.1/2	2.51	2.70	2.90	3.06	3.22	3.38	3.47	3.60	3.80	4.09	4.18	4.34	4.44	4.57
76	3	3.54	3.81	4.08	4.31	4.54	4.76	4.90	5.08	5.35	5.76	5.90	6.12	6.26	6.44
89	3.1/2	4.85	5.23	5.60	5.91	6.22	6.53	6.72	6.97	7.34	7.90	8.09	8.40	8.59	8.83
102	4	6.37	6.86	7.35	7.76	8.17	8.58	8.83	9.15	9.64	10.38	10.62	11.03	11.28	11.60
114	4.1/2	7.96	8.57	9.19	9.70	10.21	10.72	11.02	11.43	12.04	12.96	13.27	13.78	14.09	14.49
127	5	9.88	10.64	11.40	12.03	12.67	13.30	13.68	14.19	14.95	16.09	16.47	17.10	17.48	17.99
140	5.1/2	12.01	12.93	13.85	14.62	15.39	16.16	16.63	17.24	18.16	19.55	20.01	20.78	21.24	21.86
152	6	14.15	15.24	16.33	17.24	18.15	19.05	19.60	20.32	21.41	23.05	23.59	24.50	25.04	25.77
165	6.1/2	16.68	17.96	19.24	20.31	21.38	22.45	23.09	23.95	25.23	27.16	27.80	28.87	29.51	30.36
171	6.3/4	17.91	19.29	20.67	21.82	22.97	24.11	24.80	25.72	27.10	29.17	29.86	31.00	31.69	32.61
178	7	19.41	20.90	22.40	23.64	24.88	26.13	26.88	27.87	29.36	31.60	32.35	33.59	34.34	35.34
191	7.1/2	22.35	24.07	25.79	27.22	28.65	30.08	30.94	32.09	33.81	36.39	37.25	38.68	39.54	40.69
200	7.7/8	24.50	26.39	28.27	29.85	31.42	32.99	33.93	35.19	37.07	39.90	40.84	42.41	43.35	44.61
203	8	25.25	27.19	29.13	30.75	32.37	33.98	34.95	36.25	38.19	41.10	42.08	43.69	44.66	45.96
229	9	32.13	34.60	37.07	39.13	41.19	43.25	44.48	46.13	48.60	52.31	53.54	55.60	56.84	58.49
251	9.7/8	38.60	41.56	44.53	47.01	49.48	51.96	53.44	55.42	58.39	62.84	64.33	66.80	68.28	70.26
270	10. 5/8	44.66	48.09	51.53	54.39	57.26	60.12	61.84	64.13	67.56	72.71	74.43	77.30	79.01	81.30
279	11	47.69	51.35	55.02	58.08	61.14	64.19	66.03	68.47	72.14	77.64	79.48	82.53	84.37	86.81
311	12.1/4	59.25	63.81	68.37	72.17	75.96	79.76	82.04	85.08	89.64	96.48	98.75	102.55	104.83	107.87
381	15	88.93	95.77	102.61	108.31	114.01	119.71	123.13	127.69	134.53	144.79	148.21	153.91	157.33	161.89

**PESOS Y MEDIDAS DE LOS EXPLOSIVOS**  
**ENCARTUCHADOS**  
**Dinamitas**

Producto	Dimensiones en pulgadas	Peso por unidad gr	No. de cartuchos por caja
<b>Gelatina Esp. 90</b>	7/8 x 7	95	264
	7/8 x 8	108	232
	1 x 8	147	170
	1.1/8 x 8	179	140
	1,2 x 8	202	124
	1.1/2 x 8	313	80
	1.1/2 x 12	446	56
	1.1/2 x 16	625	40
	2 x 8	543	46
	2 x 16	1.136	22
	2 x 16 BN	1.136	22
	2.1/2 x 16 BN	1.667	15
<b>Gelatina Esp. 75</b>	7/8 x 7	88	284
	7/8 x 8	101	248
	1 x 8	133	188
	1.1/8 x 8	174	144
	1,2 x 8	208	120
	1.1/4 x 8	216	116
	1.1/4 x 16	481	52
	1.½ x 8	298	84
	1.1/2 x 12	481	52
	1.1/2 x 16	595	42
	2 x 8	521	48
	2 x 16	1.042	24
	2 x 8 BN	521	48
	2 x 16 BN	1.087	23
	2.1/2 x 8	781	32
	2.1/2 x 16 BN	1.667	15
<b>Semexsa 80</b>	7/8 x 6	74	340
	7/8 x 7	86	292
	7/8 x 8	101	248
	1 x 6	98	256
	1 x 7	110	228
	1 x 8	125	200
	1.1/8 x 7	133	188

Producto	Dimensiones en pulgadas	Peso por unidad gr	No. de cartuchos por caja
<b>Semexsa 65</b>	1.1/8 x 8	152	164
	1.1/4 x 8	195	128
	1.1/2 x 12	391	64
	2 x 8	446	56
	2 x 16	893	28
	2 x 16 BM	962	26
	2.1/2 x 8	658	38
	2.1/2 x 16 BM	1.389	18
	7/8 x 7	81	308
	7/8 x 8	93	268
<b>Semexsa 45</b>	1 x 7	101	248
	1 x 8	118	212
	1.1/8 x 7	123	204
	1.1/8 x 8	139	180
	1.1/4 x 8	184	136
	1.1/2 x 8	260	96
	1.1/2 x 12	368	68
	1.1/2 x 16	500	50
	2 x 8	417	60
	2 x 16	893	28
<b>Exadit 65</b>	2 x 16 BN	833	30
	7/8 x 7	79	316
	1 x 7	99	252
	1.1/8 x 7	118	212
	1.1/8 x 12	205	122
<b>Exadit 45</b>	1.1/4 x 8	174	144
	7/8 x 7	78	320
	7/8 x 28	368	68
	1 x 7	98	256
	1.1/8 x 7	116	216
	1.1/4 x 8	169	148
	7/8 x 7	76	328

**PESOS Y MEDIDAS DE LOS EXPLOSIVOS  
ENCARTUCHADOS**  
Emulsiones

Producto	Dimensiones en pulgadas	Peso por unidad gr	No. de cartuchos por caja
<b>Semexsa-E 80</b>	1 x 7	102	244
	1 x 8	118	212
<b>Semexsa-E 65</b>	7/8 x 7	79	316
	7/8 x 8	89	280
	1 x 7	102	244
	1 x 8	118	212
	1.1/8 x 7	123	204
	1.1/8 x 8	145	172
	1.1/8 x 8 Exp.	152	164
	1,2 x 8	164	152
	1,2 x 12	250	100
	1.1/2 x 8	260	96
	1.1/2 x 12	391	64
	1.1/2 x 16	521	48
<b>Exagel-E 80</b>	7/8 x 12	463	54
	1 x 7	117	214
	1 x 8	114	220
	1 x 12	198	126
	1.1/16 x 16	266	94
	1.1/8 x 8	174	144
	1.1/8 x 12	245	102
	1.1/2 x 8	313	80
	1.1/2 x 12	463	54
<b>Exagel-E 65</b>	7/8 x 7	83	300
	7/8 x 12	147	170
	1 x 7	102	244
	1 x 8	112	224
	1 x 12	195	128
	1 x 16	231	108
	1.1/16 x 16	260	96
	1.1/8 x 6	130	192
	1.1/8 x 8	169	148
	1.1/8 x 12	250	100

Producto	Dimensiones en pulgadas	Peso por unidad gr	No. de cartuchos por caja
<b>Emulex 80</b>	1.1/8 x 16	321	78
	1.1/4 x 8	187	134
	1.1/4 x 12	313	80
	1.1/4 x 16	417	60
	1.3/8 x 7	227	110
	1.3/8 x 8	260	96
	1.3/8 x 12	391	64
	1.1/2 x 8	284	88
	1.1/2 x 12	431	58
	1.1/2 x 16	568	44
	2 x 8	521	48
	2 x 12	781	32
	2 x 16	1.042	24
	2.1/2 x 16	1.563	16
	2.3/4 x 12	1.563	16
	3 x 8	1.042	24
	3 x 16	2.083	12
	3.1/2 x 16	3.125	8
	5.1/2 x 16	6.250	4
<b>Emulex 65</b>	1 x 7	106	236
	1 x 8	121	206
	1.1/8 x 12	245	102
	1.1/8 x 16	291	86
	1.1/2 x 12	463	54
<b>Emulex 45</b>	1 x 7	98	256
	1 x 8	114	220
	1.1/8 x 12	240	104
	1.1/8 x 16	284	88
	1.1/2 x 12	446	56
	¿?	¿?	¿?



## DETONADOR NO ELÉCTRICO EXANEL

Serie Única Exsanel	
Nº	Retardo MS
1	25
2	50
3	75
4	100
5	125
6	150
7	175
8	200
10	250
12	300
14	350
16	400
18	450
20	500
24	600
28	700
32	800
36	900
40	1000
48	1200
56	1400
72	1800
92	2400
120	3000
140	3800
180	4600
220	5500
240	6400
288	7400
340	8500
400	9600

Tajeos, Realce, Breasting Exsanel	
Nº	Retardo MS
1	25
2	50
3	75
4	100
5	125
6	150
7	175
8	200
10	250
12	300
14	350
16	400
18	450
20	500
24	600
28	700
32	800
36	900
40	1000
48	1200

Túnel, Frentes Exsanel	
Nº	Retardo MS
1	25
8	200
16	400
24	600
40	1000
56	1400
72	1800
92	2400
120	3000
140	3800
180	4600
220	5500
240	6400
288	7400
340	8500
400	9600

Túnel, Frentes Exsanel	
Longitud de manguera	Cantidad de piezas
Exsanel 2,1 m	300
Exsanel 2,4 m	200
Exsanel 3,0 m	200
Exsanel 4,2 m	200
Exsanel 4,8 m	200
Exsanel 6,5 m	100
Exsanel 10,2 m	100
Exsanel 18,0 m	50
Exsanel 21,6 m	50

# YARDAS CÚBICAS DE ROCA REMOVIDA POR PIE DE TALADRO PERFORADO

Burden (pies)

20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	32	34	36	38	40
2.96	3.11	3.26	3.41	3.55	3.70	3.85	4.00	4.15	4.29	4.44	4.74	5.03	5.33	5.63	5.92
3.70	3.89	4.07	4.26	4.44	4.63	4.81	5.00	5.18	5.37	5.55	5.92	6.29	6.66	7.03	7.40
4.44	4.66	4.89	5.11	5.33	5.55	5.77	6.00	6.22	6.44	6.66	7.11	7.55	7.99	8.44	8.88
5.18	5.44	5.70	5.96	6.22	6.48	6.74	7.00	7.25	7.51	7.77	8.29	8.81	9.33	9.85	10.36
5.92	6.22	6.51	6.81	7.11	7.40	7.70	7.99	8.29	8.59	8.88	9.48	10.07	10.66	11.25	11.84
6.66	7.00	7.33	7.66	7.99	8.33	8.66	8.99	9.33	9.66	9.99	10.66	11.33	11.99	12.66	13.32
7.40	7.77	8.14	8.51	8.88	9.25	9.62	9.99	10.36	10.73	11.10	11.84	12.58	13.32	14.07	14.81
8.14	8.55	8.96	9.36	9.77	10.18	10.59	10.99	11.40	11.81	12.21	13.03	13.84	14.66	15.47	16.29
8.88	9.33	9.77	10.22	10.66	11.10	11.55	11.99	12.44	12.88	13.32	14.21	15.10	15.99	16.88	17.77
9.62	10.10	10.59	11.07	11.55	12.03	12.51	12.99	13.47	13.95	14.44	15.40	16.36	17.32	18.28	19.25
10.36	10.88	11.40	11.92	12.44	12.95	13.47	13.99	14.51	15.03	15.55	16.58	17.62	18.65	19.69	20.73
11.10	11.66	12.21	12.77	13.32	13.88	14.44	14.99	15.55	16.10	16.66	17.77	18.88	19.99	21.10	22.21
11.84	12.44	13.03	13.62	14.21	14.81	15.40	15.99	16.58	17.17	17.77	18.95	20.14	21.32	22.50	23.69
12.58	13.21	13.84	14.47	15.10	15.73	16.36	16.99	17.62	18.25	18.88	20.14	21.39	22.65	23.91	25.17
13.32	13.99	14.66	15.32	15.99	16.66	17.32	17.99	18.65	19.32	19.99	21.32	22.65	23.98	25.32	26.65
14.07	14.77	15.47	16.17	16.88	17.58	18.28	18.99	19.69	20.39	21.10	22.50	23.91	25.32	26.72	28.13
14.81	15.55	16.29	17.03	17.77	18.51	19.25	19.99	20.73	21.47	22.21	23.69	25.17	26.65	28.13	29.61
15.55	16.32	17.10	17.88	18.65	19.43	20.21	20.99	21.76	22.54	23.32	24.87	26.43	27.98	29.54	31.09
16.29	17.10	17.91	18.73	19.54	20.36	21.17	21.99	22.80	23.61	24.43	26.06	27.69	29.31	30.94	32.57
17.03	17.88	18.73	19.58	20.43	21.28	22.13	22.99	23.84	24.69	25.54	27.24	28.94	30.65	32.35	34.05
17.77	18.65	19.54	20.43	21.32	22.21	23.10	23.98	24.87	25.76	26.65	28.43	30.20	31.98	33.76	35.53
18.51	19.43	20.36	21.28	22.21	23.13	24.06	24.98	25.91	26.83	27.76	29.61	31.46	33.31	35.16	37.01
19.25	20.21	21.17	22.13	23.10	24.06	25.02	25.98	26.95	27.91	28.87	30.80	32.72	34.64	36.57	38.49
19.99	20.99	21.99	22.99	23.98	24.98	25.98	26.98	27.98	28.98	29.98	31.98	33.98	35.98	37.98	39.97
20.73	21.76	22.80	23.84	24.87	25.91	26.95	27.98	29.02	30.06	31.09	33.16	35.24	37.31	39.38	41.46
21.47	22.54	23.61	24.69	25.76	26.83	27.91	28.98	30.06	31.13	32.20	34.35	36.50	38.64	40.79	42.94
22.21	23.32	24.43	25.54	26.65	27.76	28.87	29.98	31.09	32.20	33.31	35.53	37.75	39.97	42.20	44.42
22.95	24.10	25.24	26.39	27.54	28.69	29.83	30.98	32.13	33.28	34.42	36.72	39.01	41.31	43.60	45.90
23.69	24.87	26.06	27.24	28.43	29.61	30.80	31.98	33.16	34.35	35.53	37.90	40.27	42.64	45.01	47.38
24.43	25.65	26.87	28.09	29.31	30.54	31.76	32.98	34.20	35.42	36.64	39.09	41.53	43.97	46.42	48.86
25.17	26.43	27.69	28.94	30.20	31.46	32.72	33.98	35.24	36.50	37.75	40.27	42.79	45.30	47.82	50.34
25.91	27.20	28.50	29.80	31.09	32.39	33.68	34.98	36.27	37.57	38.86	41.46	44.05	46.64	49.23	51.82
26.65	27.98	29.31	30.65	31.98	33.31	34.64	35.98	37.31	38.64	39.97	42.64	45.30	47.97	50.63	53.30
27.39	28.76	30.13	31.50	32.87	34.24	35.61	36.98	38.35	39.72	41.09	43.82	46.56	49.30	52.04	54.78
28.13	29.54	30.94	32.35	33.76	35.16	36.57	37.98	39.38	40.79	42.20	45.01	47.82	50.63	53.45	56.26
28.87	30.31	31.76	33.20	34.64	36.09	37.53	38.98	40.42	41.86	43.31	46.19	49.08	51.97	54.85	57.74
29.61	31.09	32.57	34.05	35.53	37.01	38.49	39.97	41.46	42.94	44.42	47.38	50.34	53.30	56.26	59.22

Espaciamiento en pies

YARDAS CÚBICAS DE ROCA REMOVIDA POR PIE DE TALADRO PERFORADO

## METROS CÚBICOS DE ROCA REMOVIDA POR METRO PERFORADO

Espaciamiento en metros

	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5		5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0
0.5	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25		2.50	2.75	3.00	3.25	3.50	3.75	4.00	4.25	4.50
1.0	0.50	0.50	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50		5.00	5.50	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00	8.50	9.00
1.5	0.75	0.50	2.25	3.00	3.75	4.50	5.25	6.00	6.75		7.50	8.25	9.00	9.75	10.50	11.25	12.00	12.75	13.50
2.0	1.00	0.50	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00		10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00
2.5	1.25	0.50	3.75	5.00	6.25	7.50	8.75	10.00	11.25		12.50	13.75	15.00	16.25	17.50	18.75	20.00	21.25	22.50
3.0	1.50	0.50	4.50	6.00	7.50	9.00	10.50	12.00	13.50		15.00	16.50	18.00	19.50	21.00	22.50	24.00	25.50	27.00
3.5	1.75	0.50	5.25	7.00	8.75	10.50	12.25	14.00	15.75		17.50	19.25	21.00	22.75	24.50	26.25	28.00	29.75	31.50
4.0	2.00	0.50	6.00	8.00	10.00	12.00	14.00	16.00	18.00		20.00	22.00	24.00	26.00	28.00	30.00	32.00	34.00	36.00
4.5	2.25	0.50	6.75	9.00	11.25	13.50	15.75	18.00	20.25		22.50	24.75	27.00	29.25	31.50	33.75	36.00	38.25	40.50
5.0	2.50	0.50	7.50	10.00	12.50	15.00	17.50	20.00	22.50		25.00	27.50	30.00	32.50	35.00	37.50	40.00	42.50	45.00
5.5	2.75	0.50	8.25	11.00	13.75	16.50	19.25	22.00	24.75		27.50	30.25	33.00	35.75	38.50	41.25	44.00	46.75	49.50
6.0	3.00	0.50	9.00	12.00	15.00	18.00	21.00	24.00	27.00		30.00	33.00	36.00	39.00	42.00	45.00	48.00	51.00	54.00
6.5	3.25	0.50	9.75	13.00	16.25	19.50	22.75	26.00	29.25		32.50	35.75	39.00	42.25	45.50	48.75	52.00	55.25	58.50
7.0	3.50	0.50	10.50	14.00	17.50	21.00	24.50	28.00	31.50		35.00	38.50	42.00	45.50	49.00	52.50	56.00	59.50	63.00
7.5	3.75	0.50	11.25	15.00	18.75	22.50	26.25	30.00	33.75		37.50	41.25	45.00	48.75	52.50	56.25	60.00	63.75	67.50
8.0	4.00	0.50	12.00	16.00	20.00	24.00	28.00	32.00	36.00		40.00	44.00	48.00	52.00	56.00	60.00	64.00	68.00	72.00
8.5	4.25	0.50	12.75	17.00	21.25	25.50	29.75	34.00	38.25		42.50	46.75	51.00	55.25	59.50	63.75	68.00	72.25	76.50
9.0	4.50	0.50	13.50	18.00	22.50	27.00	31.50	36.00	40.50		45.00	49.50	54.00	58.50	63.00	67.50	72.00	76.50	81.00
9.5	4.75	0.50	14.25	19.00	23.75	28.50	33.25	38.00	42.75		47.50	52.25	57.00	61.75	66.50	71.25	76.00	80.75	85.50
10.0	5.00	0.50	15.00	20.00	25.00	30.00	35.00	40.00	45.00		50.00	55.00	60.00	65.00	70.00	75.00	80.00	85.00	90.00
10.5	5.25	0.50	15.75	21.00	26.25	31.50	36.75	42.00	47.25		52.50	57.75	63.00	68.25	73.50	78.75	84.00	89.25	94.50
11.0	5.50	0.50	16.50	22.00	27.50	33.00	38.50	44.00	49.50		55.00	60.50	66.00	71.50	77.00	82.50	88.00	93.50	99.00
11.5	5.75	0.50	17.25	23.00	28.75	34.50	40.25	46.00	51.75		57.50	63.25	69.00	74.75	80.50	86.25	92.00	97.75	103.50
12.0	6.00	0.50	18.00	24.00	30.00	36.00	42.00	48.00	54.00		60.00	66.00	72.00	78.00	84.00	90.00	96.00	102.00	108.00

Burden en metros

## CARACTERÍSTICAS DE LAS ROCAS MÁS COMUNES

Rocas más comunes	Densidad Aparente	Velocidad Sísmica	Impedancia (10xkgxm-2xs-1)
	Kg/m3	m/s	
<b>Granito</b>	2.700	5.000	13,50
<b>Sienita</b>	2.800	4.200	11,76
<b>Gabros</b>	2.600	4.200	10,92
<b>Peridonita</b>	3.200	5.000	16,00
<b>Porfidos</b>	2.800	5.200	14,56
<b>Basalto</b>	2.900	5.400	15,66
<b>Diabasas</b>	3.100	5.000	15,50
<b>Arenisca</b>	2.340	2.750	6,44
<b>Cuarcita</b>	2.650	4.500	11,93
<b>Caliza</b>	2.750	5.000	13,75
<b>Dolomita</b>	2.650	4.000	10,60
<b>Margas</b>	1.750	2.950	5,16
<b>Tufo</b>	1.400	2.100	2,94
<b>Yeso</b>	2.300	2.500	5,75
<b>Sal Gema</b>	2.200	3.500	7,70
<b>Travertino</b>	2.100	2.800	5,88
<b>Anfibolita</b>	3.000	4.500	13,50
<b>Gneis</b>	2.700	5.000	13,50
<b>Serpentina</b>	2.650	4.200	11,13
<b>Esquistos</b>	2.600	3.100	8,06
<b>Pizarra</b>	2.750	3.520	9,68
<b>Conglomerados</b>	2.550	3.750	9,56

## FACTORES PARA EL RENDIMIENTO ÓPTIMO DE LA VOLADURA

### 1.- Distribución de la energía

Para producir una fragmentación optima, la energía de los explosivos debe distribuirse uniformemente dentro de la masa rocosa

### 2.- Confinamiento de la energía

La energía debe ser confinada durante un tiempo suficiente después de la detonación para poder fracturar y desplazar el material rocoso

### 3.- Nivel de energía explosiva

El nivel de la energía debe ser suficiente para vencer la fuerza estructural de la roca y poder desplazarla

## CONCEPTOS Y FÓRMULAS PARA VOLADURA

### Presión de Detonación

Es un indicador significativo de la capacidad de fragmentación que posee un explosivo y es la presión que existe detrás del frente de detonación, en el recorrido se la onda de choque.

Es función de la densidad y del cuadrado de la velocidad

$$P_d = \frac{\delta \times (VOD)^2 \times 10^{-5}}{4}$$

$\delta$  = Densidad

VOD = Velocidad de detonación

### Densidad de carga lineal

#### Sistema Imperial

$$\text{Lbs/pie} = 0,34 \times \emptyset^2 \times$$

Donde:

$\emptyset$  = Diámetro en pulgadas

$\delta$  = Densidad del explosivo

En g/cc

Ejemplo

$\emptyset = 4"$

$\delta = 0.84 \text{ g/cc}$

Lbs/pie =  $0,34 \times 16 \times 0,84$

Lbs/pie = 4,57

#### Sistema Métrico Decimal

$$\text{kg/m} = (0,7854 \times \emptyset^2 \times \delta) / 1000$$

Donde:

$\emptyset$  = Diámetro en mm

$\delta$  = Densidad del explosivo

en g/cc

Ejemplo

$\emptyset = 101,6 \text{ mm}$

$\delta = 0.84 \text{ g/cc}$

kg/m =  $(0,7854 \times 10322,56 \times 0,84) / 1000$

kg/m = 6,81

### Transferencia de energía

La transferencia de energía es función de las características del explosivo que proporciona y de la roca que recepciona y esta en función de sus Impedancias acústicas.

La Impedancia del explosivo  $I_e$  se define como el producto de su densidad ( $\rho_e$ ) y el VOD.

La Impedancia de la roca  $I_r$ , es definida por el producto de su densidad ( $\rho_r$ ) y la velocidad de propagación del sonido ( $C$ ).

La energía transferida es influenciada por un factor 1 (Factor de Impedancia) representada por la ecuación siguiente:

$$\eta_1 = 1 - \frac{(I_e - I_r)^2}{(I_e + I_r)^2}$$

( $\eta_1 \rightarrow 1$ ), Considerando mayor la diferencia, el factor bajará.

La energía transferida a la roca en una situación no ideal tiene lugar, con un factor de acoplamiento  $\eta_2$  la cual es función de los diámetros del taladro y del explosivo " $\emptyset_t / \emptyset_c$ ", expresado en la siguiente relación:

$$\eta_2 = \frac{1}{e^{\emptyset_t / \emptyset_c} - (e - 1)}$$

Donde "e" es el límite de la variable  $(1 + 1/n)^n$ , cuando "n" tiende a  $\infty$  ( $e = 2.72$  puede ser asumido como una muy buena aproximación).

El factor tiende al máximo ( $\eta_2 \rightarrow 1$ ) cuando  $\emptyset_c \rightarrow \emptyset_t$ , y rápidamente decrece, cuando la relación de acoplamiento  $\emptyset_t / \emptyset_c$  se incrementa.

La energía  $\mathcal{E}^*$  transferida a la roca por el explosivo es sólo una parte de su energía  $\mathcal{E}$ , la cual está definida por la ecuación:

$$\mathcal{E}^* = \eta_1 \times \eta_2 \times \mathcal{E}$$

## FÓRMULAS PARA VOLADURA

### Tajo Abierto

#### a) Dimensiones de la voladura:

$$\begin{aligned}\text{Volumen total} &= L \times A \times H \text{ (m}^3\text{)} \\ \text{Masa Total} &= L \times A \times H \times \rho \times 1.000 \text{ (t)}\end{aligned}$$

Donde:

L = Largo, en m  
A = Ancho, en m  
H = Altura, en m  
 $\rho$  = Densidad, en kg/m<sup>3</sup>

#### b) Diámetro del taladro:

Para definir, en la practica se considera dos aspectos:

- Disponibilidad del equipo de perforación
- Altura de banco y la amplitud de la voladura

Fórmula practica, ( $\emptyset$ ) en pulgadas cuando la altura (H) del banco es metros (Hoek and Bray)

$$\begin{aligned}\text{Roca dura} &\quad \emptyset = 0.98 H \\ \text{Roca blanda} &\quad \emptyset = 0.59 H\end{aligned}$$

#### c) Longitud de taladro:

$$\begin{aligned}L_t &= H + 0.3 B \\ L_t &= \text{Longitud del taladro} \\ H &= \text{Altura del Banco, en m} \\ B &= \text{Burden, en m}\end{aligned}$$

#### d) Sobre perforación:

$$J = (0.2 \text{ a } 0.3) \times B \text{ (metros)}$$

#### e) Burden máximo:

$$\begin{aligned}B &= 0.032 \emptyset, \text{ Para rocas con densidad promedio menor de } 3.3 \text{ g/cm}^3 \\ B &= 0.026 \emptyset, \text{ Para rocas con densidad promedio mayor de } 3.3 \text{ g/cm}^3 \\ (\emptyset &= \text{Diámetro de la carga explosiva en mm})\end{aligned}$$

#### F) Espaciamiento

$$\begin{aligned}\text{Malla cuadrada, } E &= B \\ \text{Malla rectangular o alterna } E &= 1.4 B\end{aligned}$$

#### g) Longitud del Taco

$$T = (0.7 \text{ a } 1.3) \times B \text{ (en metros)}$$

#### h) Altura de carga de fondo si se requiere, en m

$$C_f = (0.5 \text{ a } 1) \times B$$

#### i) Altura de carga de columna, en m

$$C_c = L_t - (C_f + T)$$

## Efecto del tiempo de retardo en la fragmentación (J. Konya)

Tabla 1: Tiempos de retardo entre taladros

Tipo de roca	$T_b$ (ms/m)
Arenas, Margas, Carbón	6,5
Algunas Calizas, Esquistos	5,5
Calizas compactas, Mármol, Cuarcita, algunos granitos, basaltos y gneis	4,5
Feldespatos porfídicos, Gneis compactos y Mica, Magnetita	3,5

$$T_b = T_b \times S$$

Donde:

$T_b$  = Retardo de taladro a taladro (ms)  
 $T_b$  = Constante de retardo, taladro a taladro (ms/m)  
S = Espaciamiento (m)

**Tabla 2: Tiempos de retardo entre hileras**

$T_H$ (ms/m)	Resultado
6,5	Violencia, sobre presión de aire excesiva, Sobre rotura hacia atrás
8,0	Pila de material, alta cercana a la cara libre, sobre presión y rotura moderados
11,5	Pila de material, mediana, sobre presión y rotura controlado
16,5	Pila de material disperso, sobre rotura mínima hacia atrás

$$t_H = T_H \times B$$

Donde:

$t_H$  = Retardo entre hileras (ms)

$T_H$  = Factor de tiempo entre hileras (ms/m)

$B$  = Burden (m)

**Notas:**

- El tiempo de retardo no debe ser menor a 8,5 ms/m de burden entre hileras
- Los retardos cortos causan pilas altas y pegadas a la cara libre
- Los retardos cortos causan excesiva rotura hacia atrás
- Los retardos cortos causan más violencia, sobre presión de aire y vibración del terreno
- Los retardos cortos tienen más probabilidad para causar fuerte proyección de rocas volantes
- Los retardos largos reducen los niveles de vibración
- Los retardos largos minimizan la rotura hacia atrás

### Voladura controlada en voladura en Cielo Abierto

Factor de carga por pie perforado que no cause daño a la roca, pero que produzca bastante presión que pueda crear la acción de corte, se estima en:

$$q = \emptyset^2 / 28$$

Precorte  $E = 10 \times \emptyset$

Recorte  $E = 16 \times \emptyset$

$B = 1,3 E$

Donde:

$q$  = carga del explosivo por pie de taladro (lbs./pie)

$\emptyset$  = Diámetro de los taladros vacíos, en pulgadas

$E$  = Espaciamiento en pulgadas

$B$  = Burden (voladura de recorte)

**Condición:** La velocidad pico de partícula debe mantenerse por debajo de los 700 ó 1.000 mm/s:

$$v = C_e / (R \times b)$$

Donde:

$v$  = Velocidad pico de partícula

$C_e$  = Carga explosiva por taladro, en kg.

$R$  = Distancia radial desde el punto de detonación, en m.

$b$  = Constante que depende de las propiedades estructurales y elásticas de la roca

### Diámetro del explosivo

$$\emptyset_e = \{(R \cdot UCS) / 110 \cdot \emptyset \cdot VOD^{0.75} \cdot [H/l]^{1/2} \cdot \emptyset$$

Donde:

$\emptyset_e$  = Diámetro del explosivo

$R$  = 1 a 2 veces la resistencia a la compresión

$UCS$  = Resistencia a la compresión no confinado, en Mpa

$\emptyset$  = Densidad del explosivo

$VOD$  = Velocidad de detonación, en m/s

$l$  = Longitud de columna explosiva

$H$  = Altura del banco

$\emptyset$  = Diámetro del taladro

$n$  = Índice de acoplamiento: Taladro seco = 1,25  
Taladro con agua = 0,9