

# OPTIMIZACIÓN DE LAS EXPLOTACIONES DE ÁRIDOS A CIELO ABIERTO



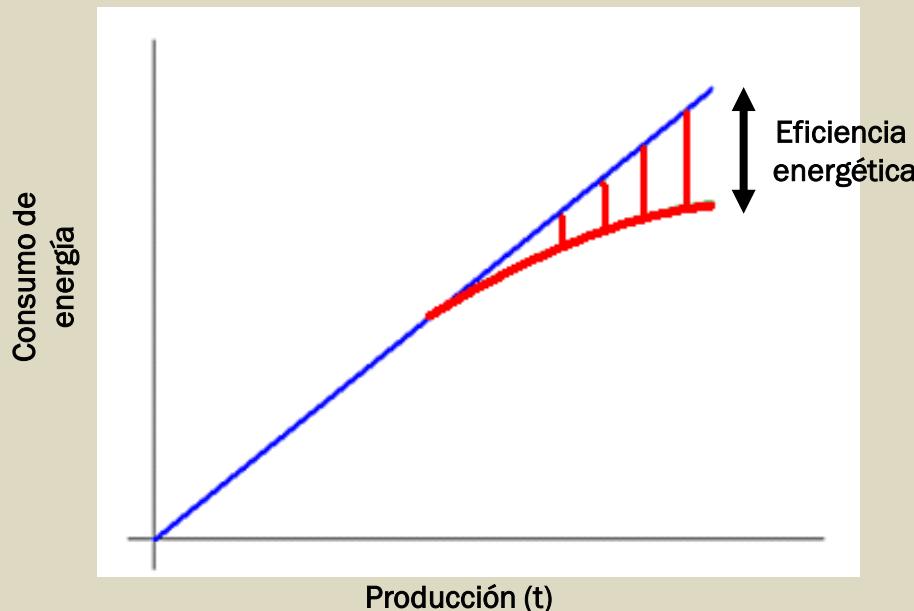
Carlos López Jimeno  
Dr. Ingeniero de Minas. Catedrático  
E.T.S. Ing. Minas y Energía - U.P.M.

*Madrid, 18 de Enero de 2017*

# LA EFICIENCIA ENERGÉTICA: CONCEPTO

Todas las definiciones de EE recogen dos variables relacionadas entre sí: los **bienes y servicios** producidos o consumidos y la **energía necesaria** para dicha producción o consumo.

La mejora de la EE implica la reducción del consumo de energía necesario para la generación de unos determinados productos y servicios, o bien, el incremento o la mejora de los productos y servicios generados manteniendo un nivel dado de energía.



"La mejora de la Eficiencia Energética es un término genérico que este libro verde define como, en primer lugar, el mejor aprovechamiento de la energía y, en segundo lugar, el ahorro de energía mediante cambios en el comportamiento de los usuarios"

Comisión Europea - Libro verde- 2005



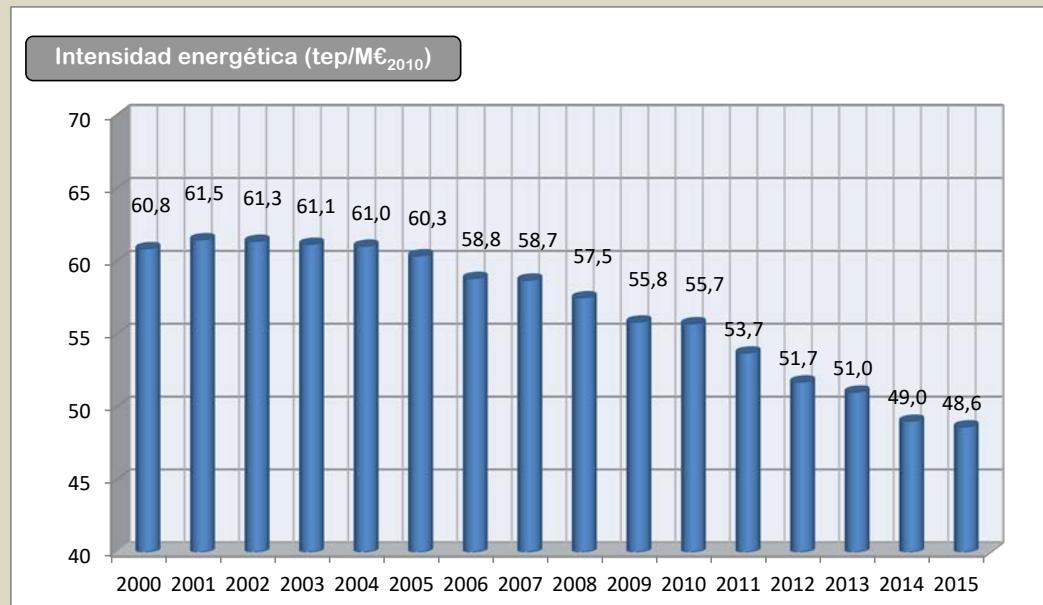
"Cuando se reduce la energía necesaria para prestar un servicio o cuando se mejora dicho servicio producido con el mismo input de energía"

Energy Information Administration  
Glosario de la EIA

La EE también es un instrumento de primer orden para preservar la calidad medioambiental y contribuir al desarrollo sostenible

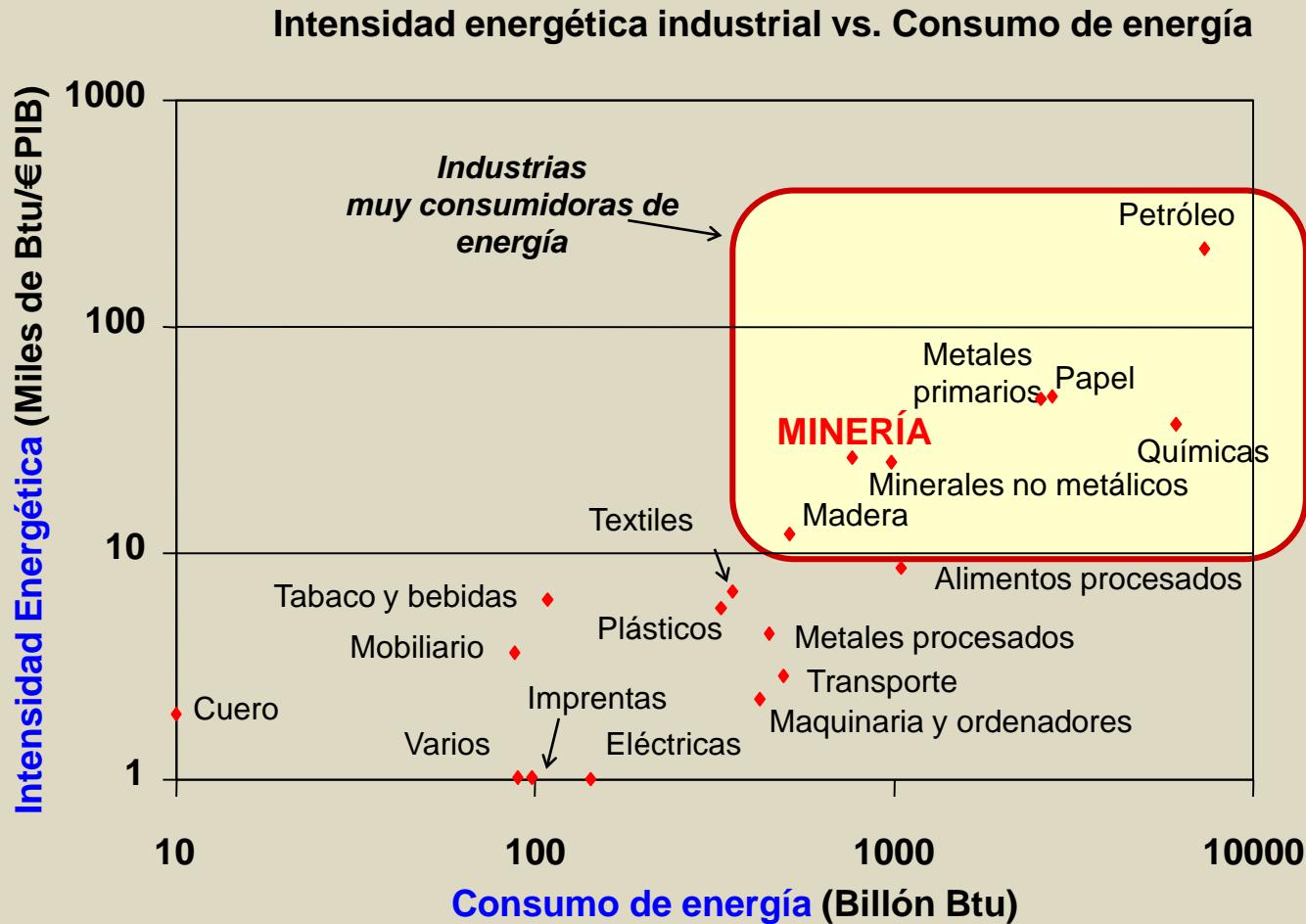
# LA EFICIENCIA ENERGÉTICA: CONCEPTO

AHORRO ≠  
EFICIENCIA  
ENERGÉTICA



(Fuente: Comunidad de Madrid)

# LA MINERÍA COMO SECTOR CONSUMIDOR DE ENERGÍA



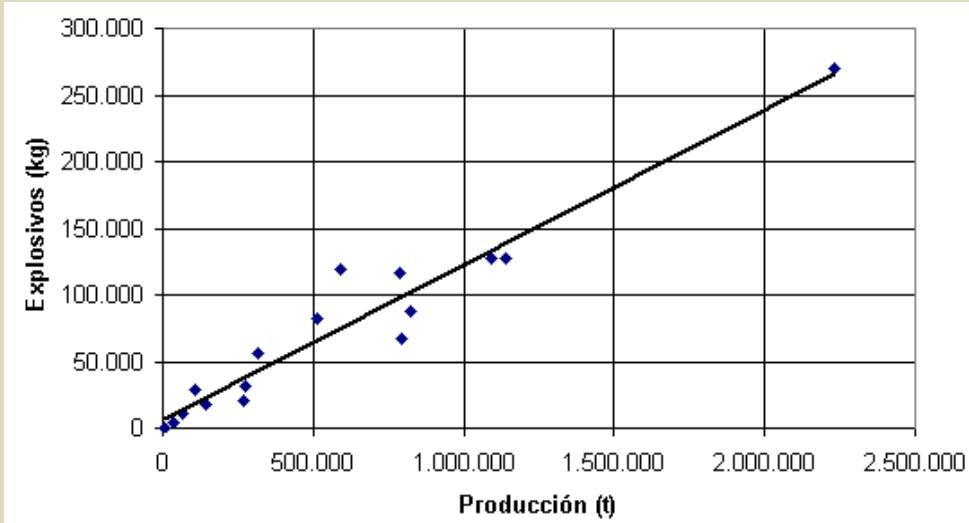
Fuentes: EIA 2001, 1998 *Manufacturing Energy Consumption Survey*; U.S. DOE 2002, *Energy and Environmental Profile of the U.S. Mining Industry*

# CONSUMOS MEDIOS DE ENERGÍA EN CANTERAS

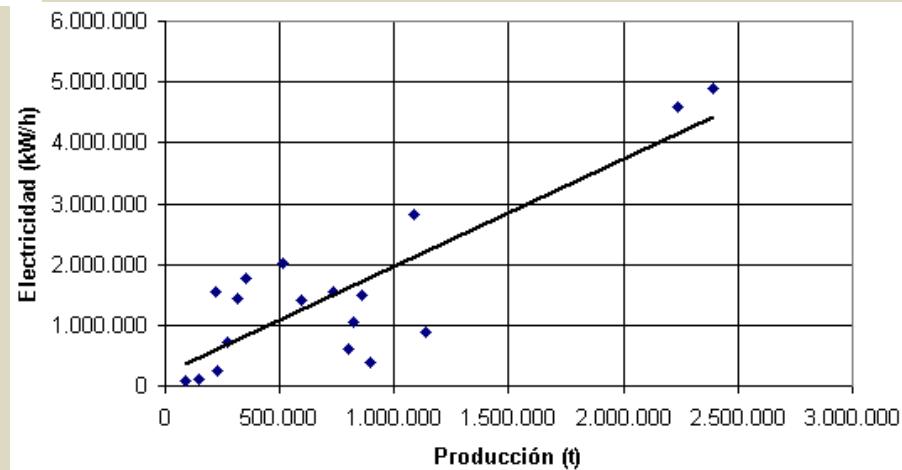
Consumo de explosivo.....117 g/t

Consumo de gasóleo.....0,28 l/t

Consumo de energía eléctrica.....1,76 kWh/t



(Fuente: Comunidad de Madrid)



# ÍNDICE DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN CANTERAS IE2C

$$\text{IE2C} = K_1 \cdot \text{CEx} + K_2 \cdot \text{CGO} + K_3 \cdot \text{CEE}$$

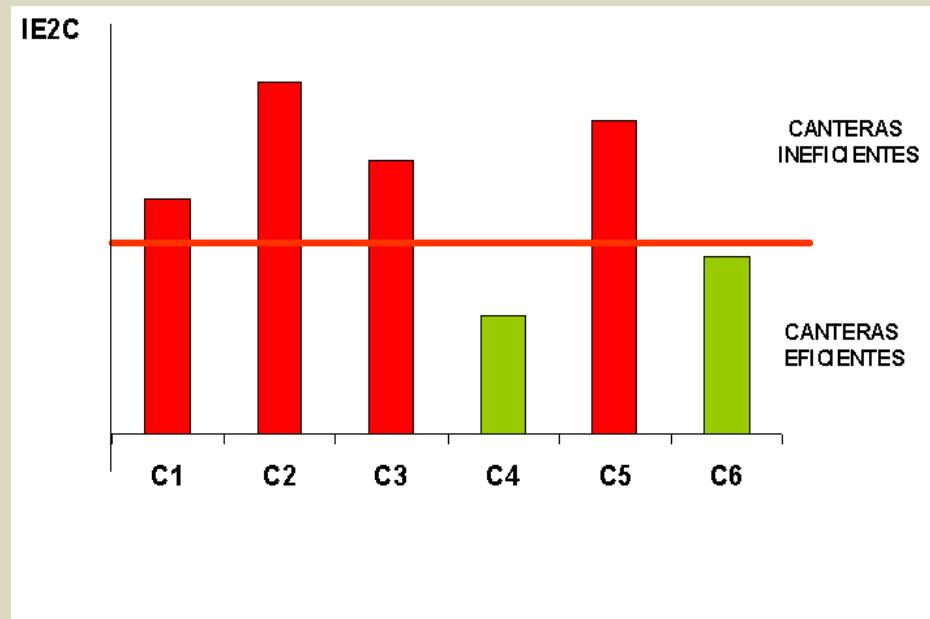
donde:

CEx = Consumo de explosivo (g/t)

CGO = Consumo de gasóleo (l/t)

CEE = Consumo de energía eléctrica  
(kWh/t)

$K_1, K_2, K_3$  = Factores de conversión.

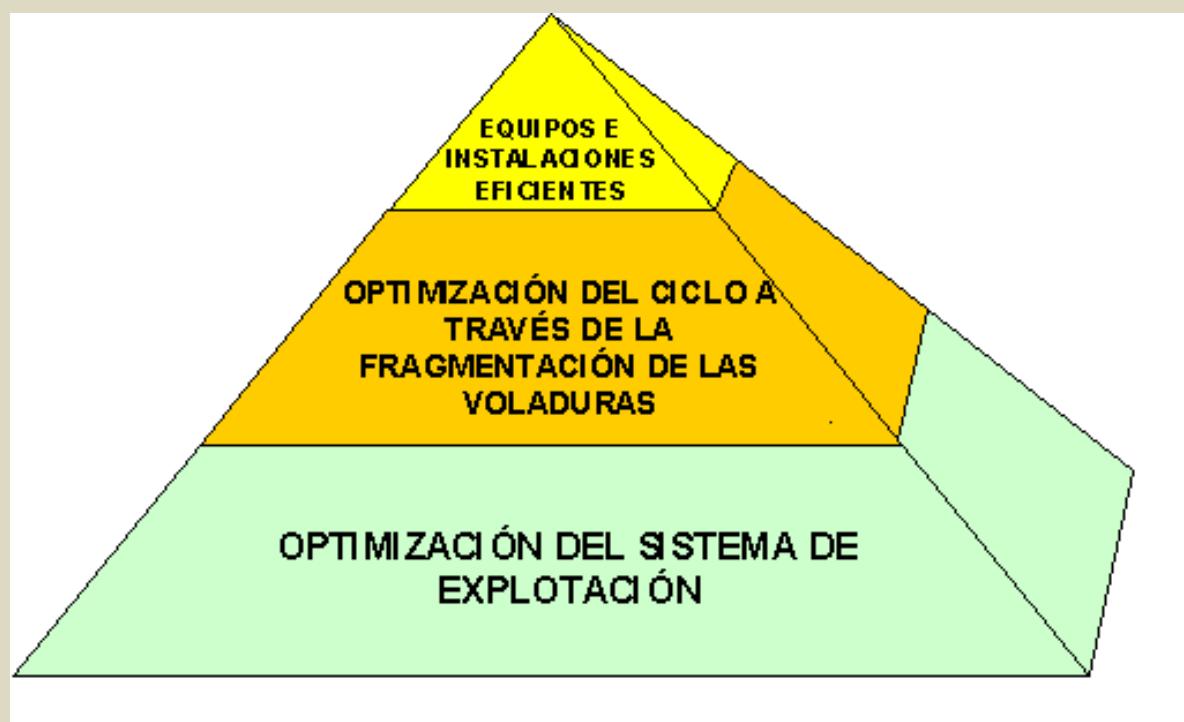


# POLÍTICAS PÚBLICAS DIRIGIDAS A LA MEJORA DE LA E.E.

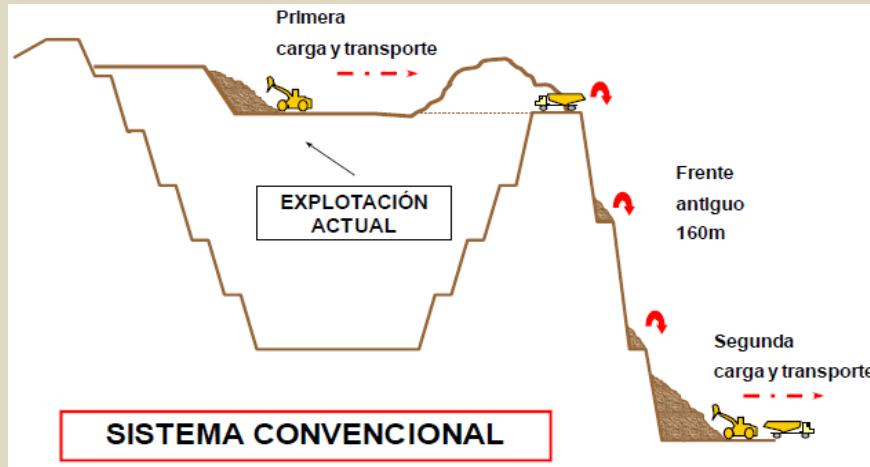
- Directiva de eficiencia energética de edificios (2010/31/EU).
  - RD 314/2006 Código Técnico de Edificación.
  - RD 47/2007 Certificación Energética de edificios nuevos.
  - RD 1027/2007 Instalaciones térmicas de edificios.
- Directiva de indicación del consumo energético (2010/30/EU).
  - RD 1390/2011 Regula el etiquetado energético.
- Directiva de ecodiseño (2009/125/EC).
  - RD 187/2011 Establecimiento de requisitos de Diseño Ecológico.
- (\*) Directiva de eficiencia en servicios (2006/32/EC) .
  - Realizada a través del Plan Ahorro y Eficiencia Energética 2011 – 2020
- (\*) Directiva de promoción de la cogeneración (2004/8/EC).
  - RD 661/2007 Actividad de producción de energía eléctrica en Régimen Especial.
- (\*) Derogadas por la Directiva de eficiencia energética (2012/27/EU), transpuesta parcialmente al ordenamiento jurídico español (plazo 5/6/2014)

# APROXIMACIÓN A LA E.E. EN LAS CANTERAS

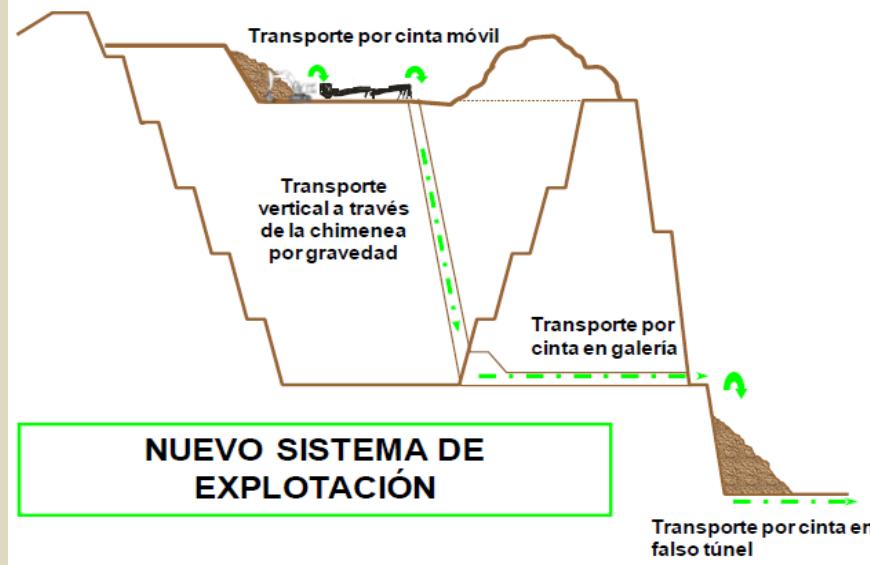
## PIRÁMIDE DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA



# SISTEMA DE EXPLOTACIÓN GALERÍA-CHIMENEA



**SISTEMA CONVENCIONAL**



**NUEVO SISTEMA DE EXPLOTACIÓN**



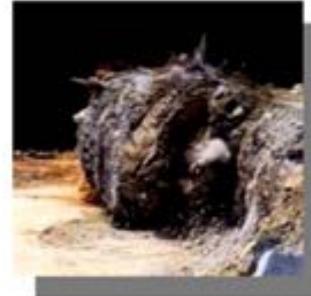
# SISTEMA DE EXPLOTACIÓN GALERÍA-CHIMENEA



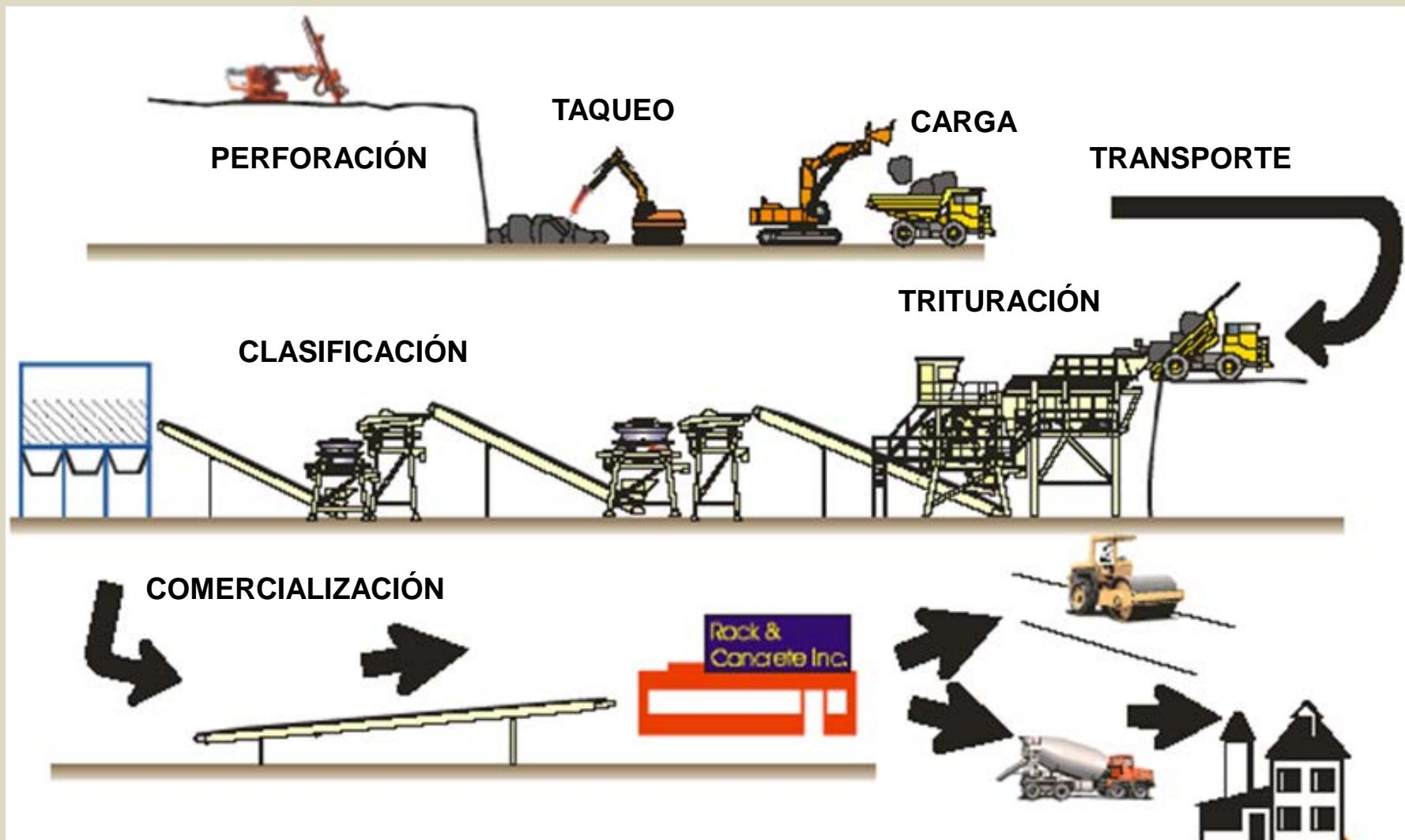
# OPERACIONES DEL CICLO BÁSICO DE EXPLOTACIÓN



**CICLO  
MINERO**



# SISTEMA CONVENCIONAL CÍCLICO



# CANTERAS EXPLOTADAS CON EL SISTEMA CONVENCIONAL



# LEVANTAMIENTO DEL FREnte



1. LEVANTAMIENTO DEL FREnte



2. PERFORACIÓN DE BARRENOS



3. COMPROBACIÓN DE LOS BARRENOS



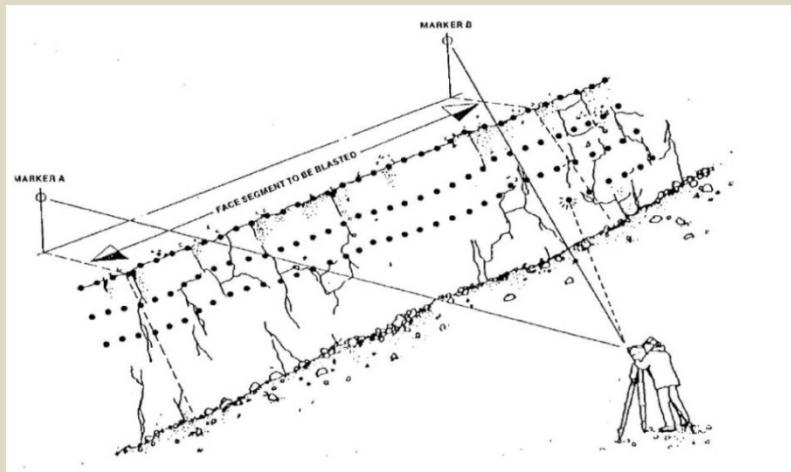
4. CARGA DEL EXPLOSIVO



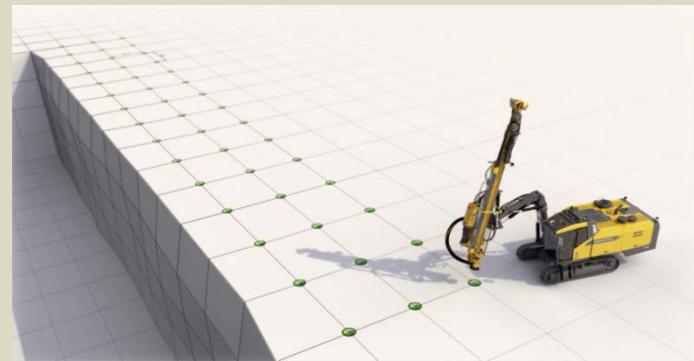
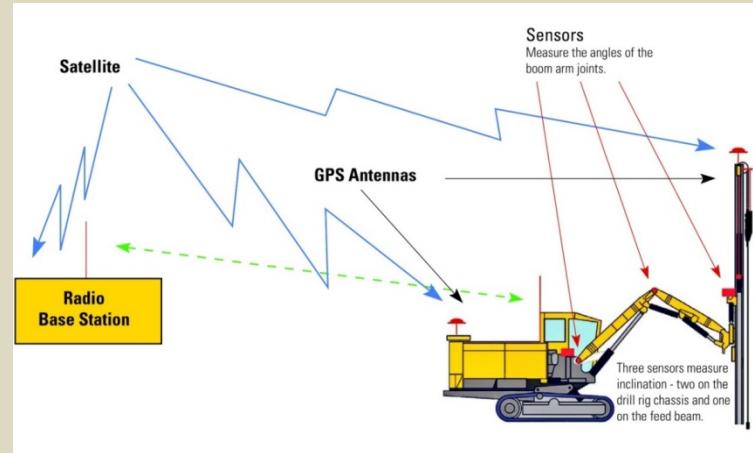
5. DISPARO DE LA VOLADURA



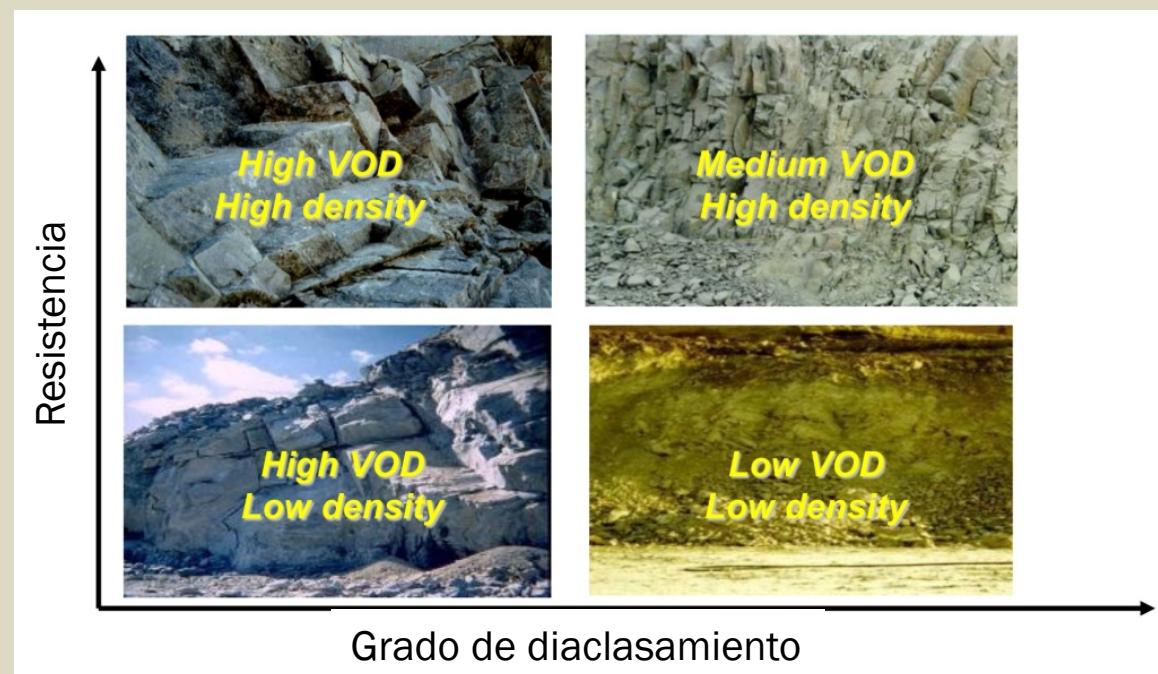
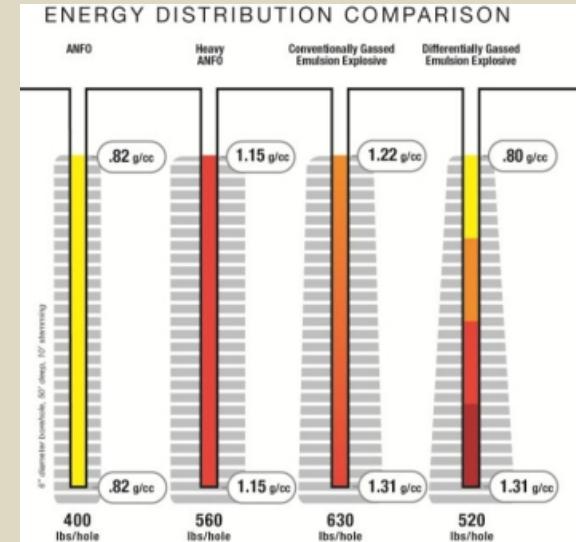
6. PILA DE MATERIAL



# PERFORACIÓN DE BARRENOS



# CARGA DE EXPLOSIVOS



# VOLADURA



Iniciación convencional

Iniciación no eléctrica



# CARGA

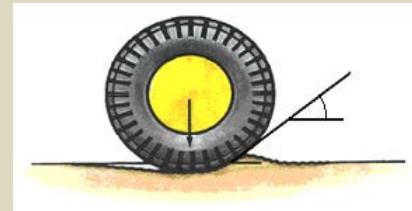


- Palas cargadoras
- Excavadoras hidráulicas
  - Frontales
  - Retro



11.09.2005 15:17

# TRANSPORTE

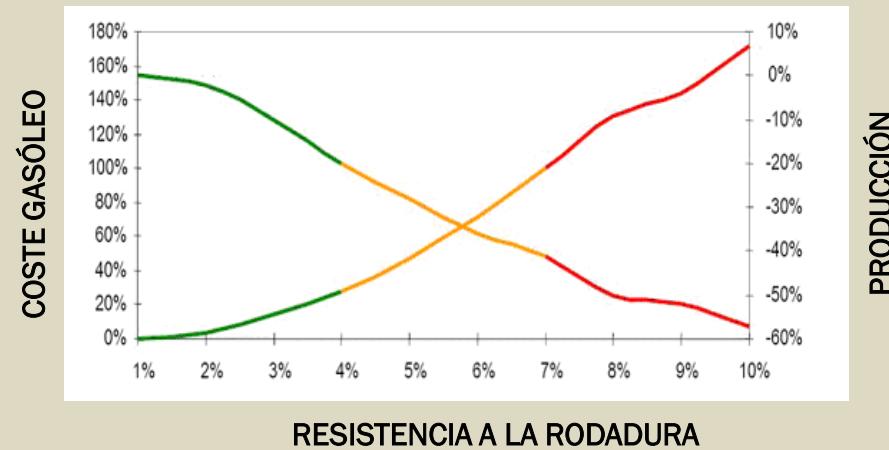


RESISTENCIA A LA RODADURA

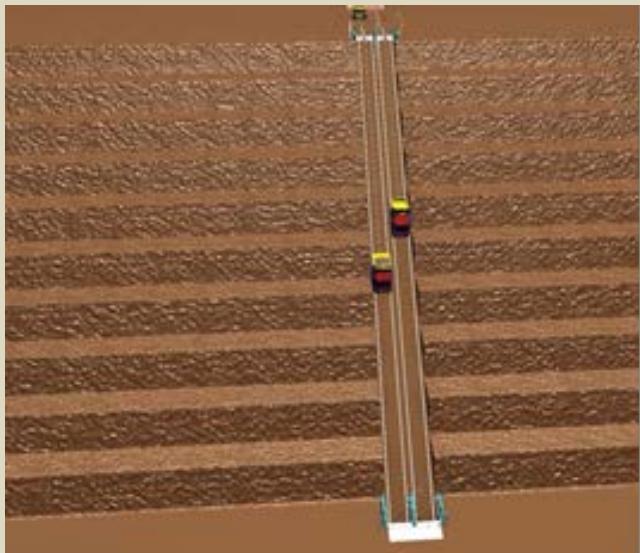
RESISTENCIA TOTAL = RR + RESISTENCIA A LA PENDIENTE

PENDIENTE EFECTIVA (%) = RR (%) + PENDIENTE (%)

RR (%) = 2 % + 0,6 por cm de penetración



# TRANSPORTE



# VOLQUETES AUTÓNOMOS



# TRATAMIENTO



- Comminución
- Clasificación

# ENERGÍA CONSUMIDA EN UNA CANTERA

$$E = EP + EV + EC + ET + EM$$

siendo :

E = Energía total consumida.

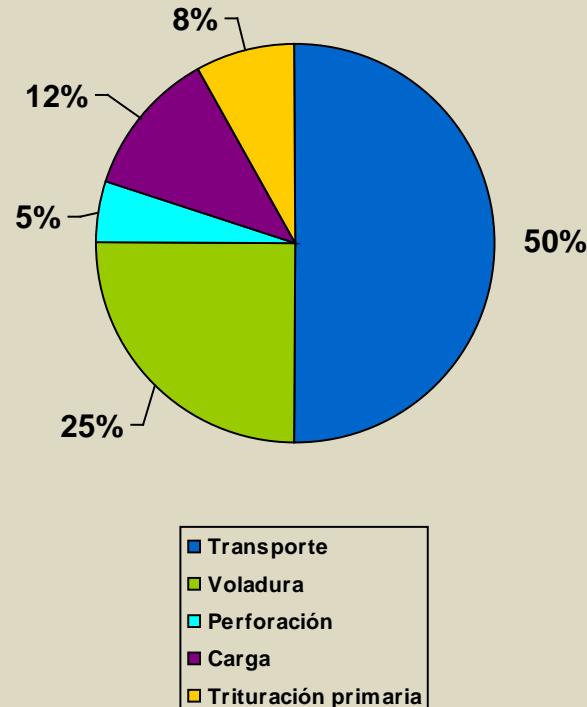
EP = Energía en la perforación.

EV = Energía en la voladura.

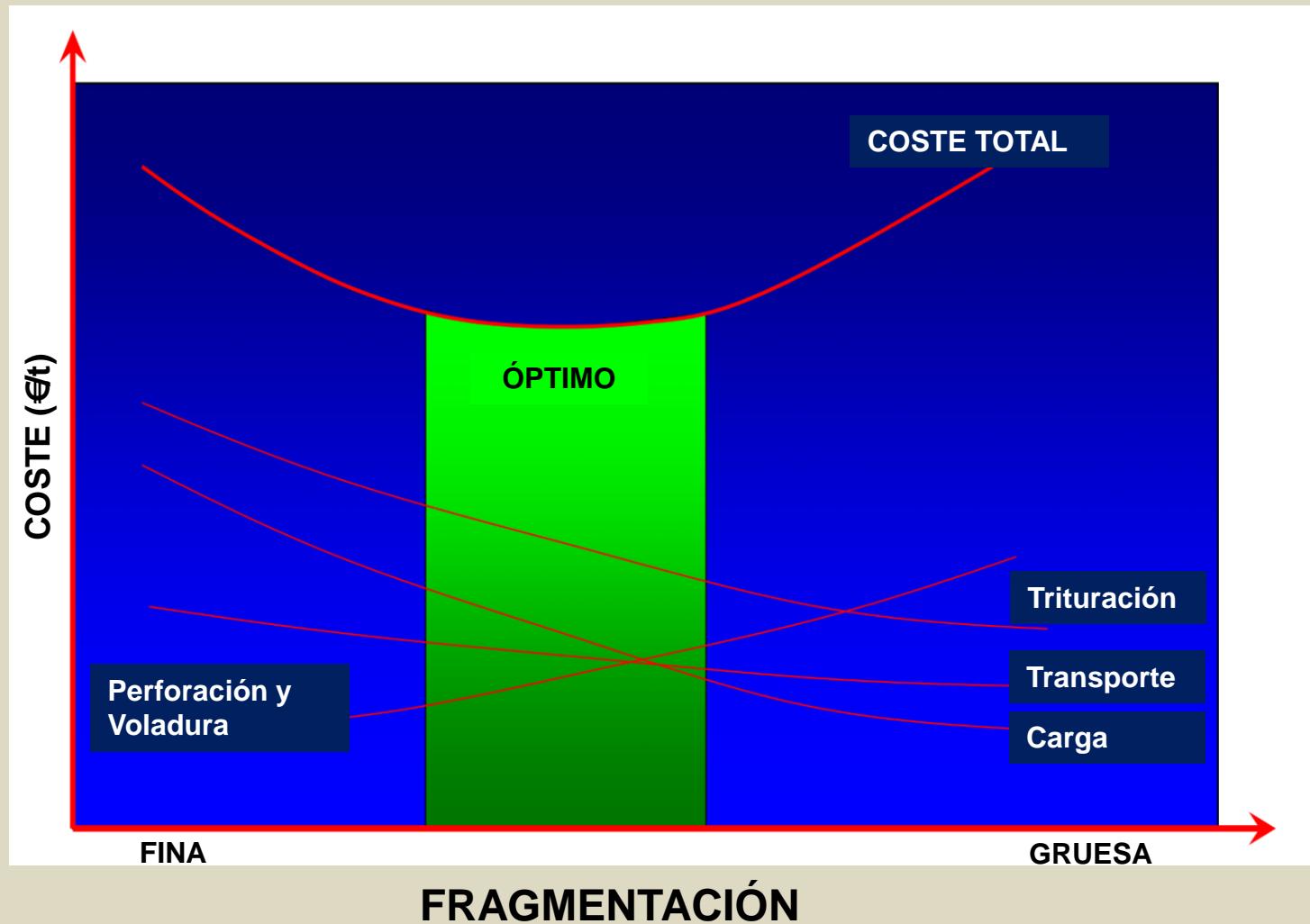
EC = Energía en la carga.

ET = Energía en el transporte.

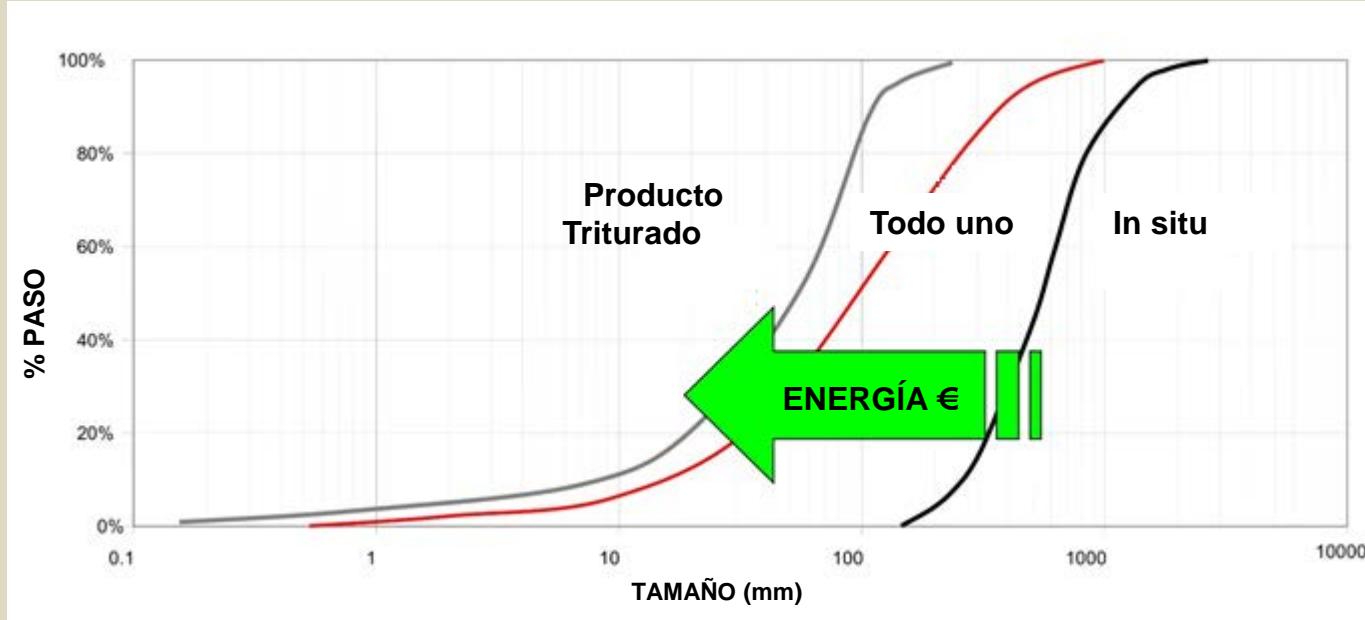
EM = Energía en la trituración y molienda.



# OPTIMIZACIÓN DE LOS COSTES DE PRODUCCIÓN



# ENERGÍA CONSUMIDA EN UNA TRITURADORA



$$W = 10 \cdot W_i \cdot \left( \frac{1}{P^{0,5}} - \frac{1}{F^{0,5}} \right)$$

W = Energía requerida (kWh/t)

W<sub>i</sub> = Work Index

P = Tamaño del producto en micras (Pasa el 80%)

F = Tamaño de alimentación en micras (Pasa el 80%)

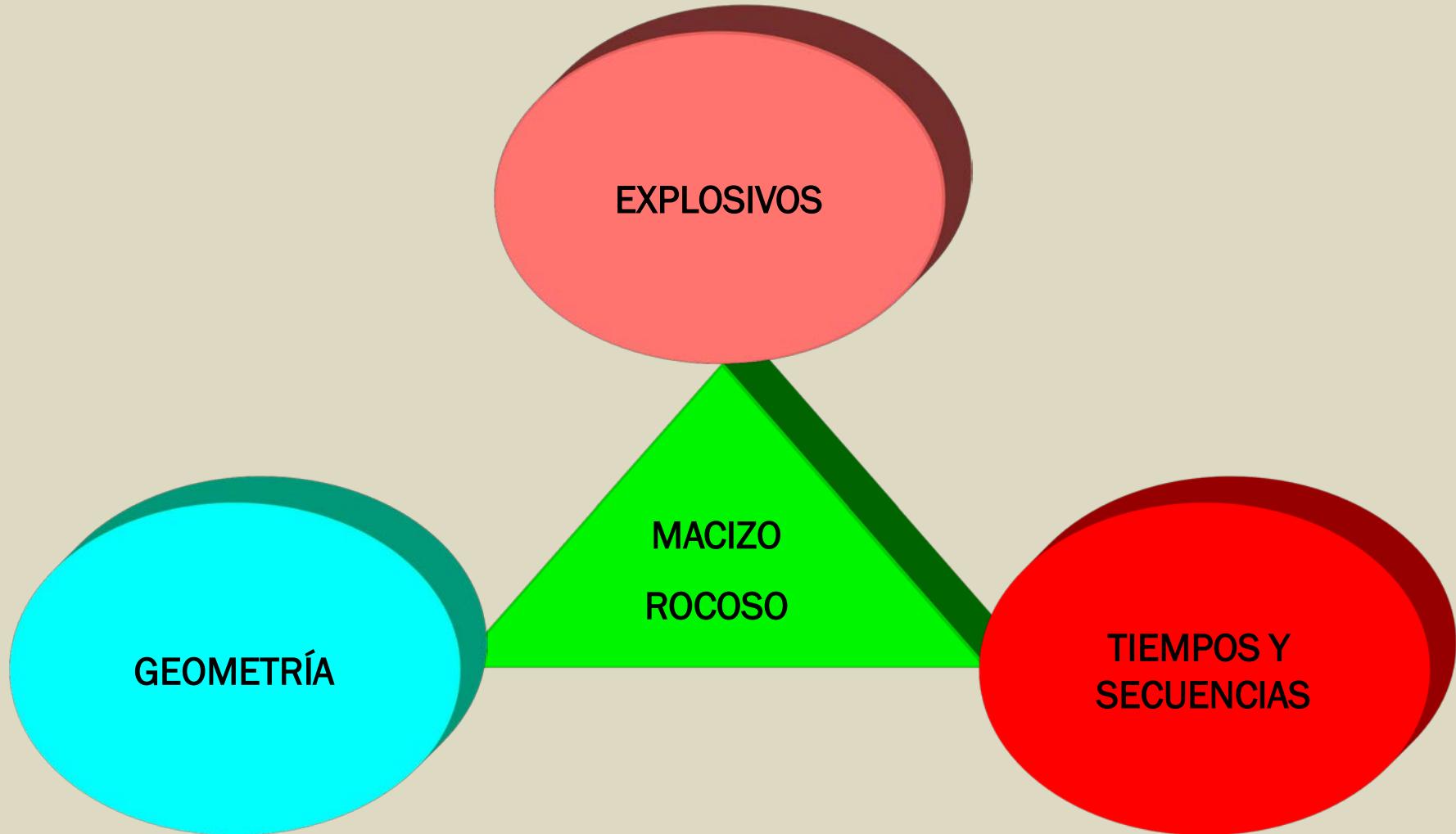
# ANÁLISIS COMPARATIVO DE CONSUMOS DE ENERGÍA

OPERACIÓN	Energía Específica (kWh/t)	Factor de Energía	Factor Coste
Perforación y Voladura	0.1 - 0.25	1	1
Carga y Transporte	0.2 – 0.5	1 - 5	2 - 10
Trituración	1 - 2	4 - 20	2 - 10

# DATOS BÁSICOS DE LA CANTERA

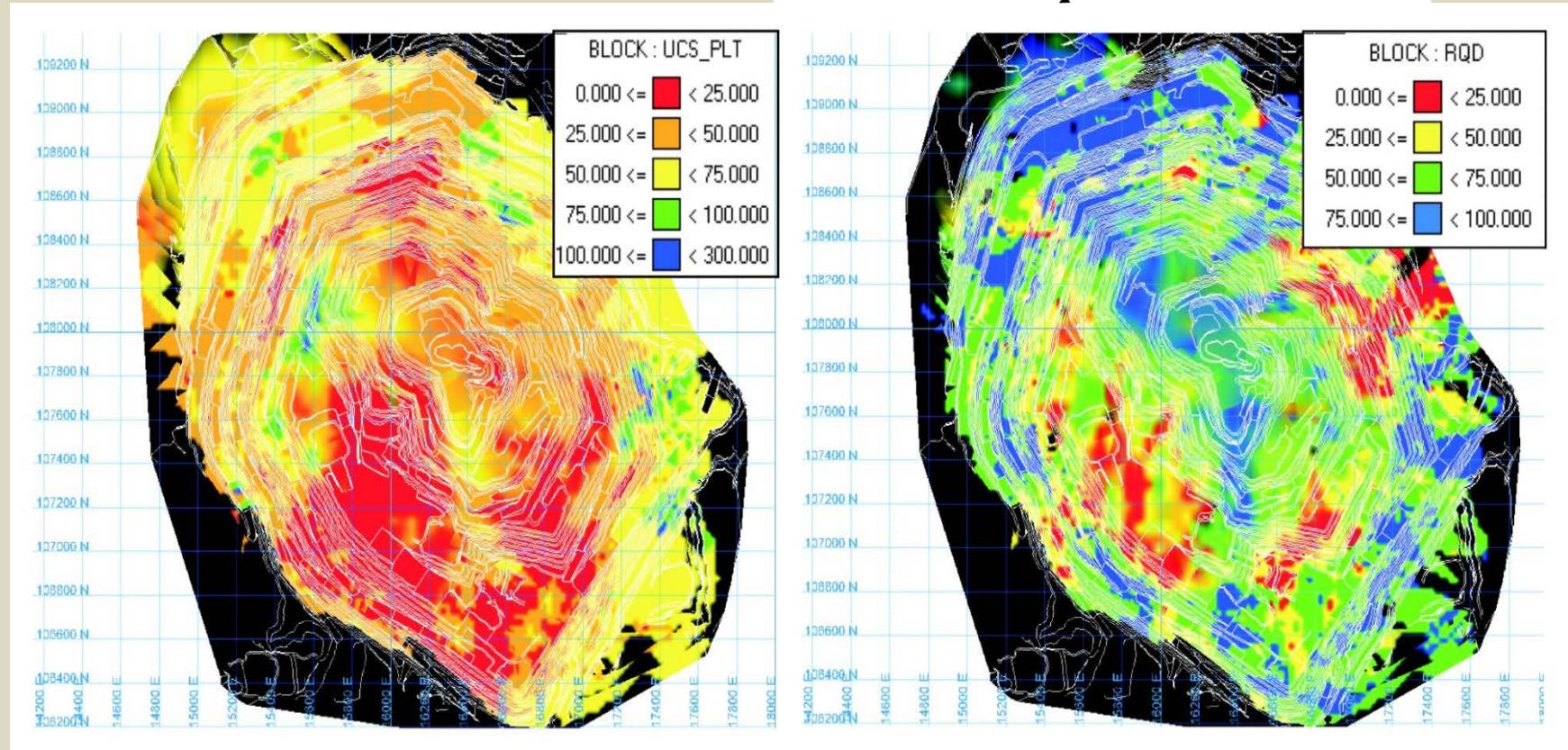
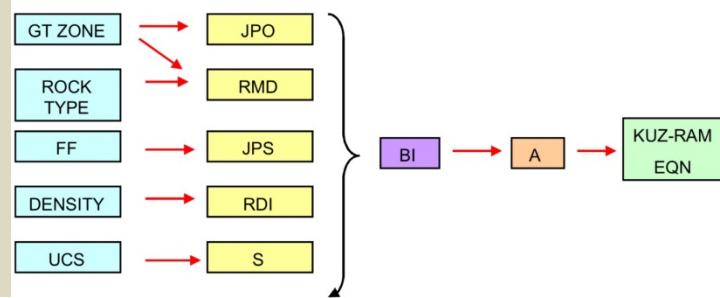
- Producción anual ..... 2,5 Mt
- Producción horaria ..... 1600 t/h
- Productos finales ..... 0-20 mm
- Tipo de roca ..... Granito
- Resistencia a compresión simple.. 180 MPa

# VARIABLES DE DISEÑO EN LAS VOLADURAS



# CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DE LOS MACIZOS ROCOSOS

## Índice de Volatilidad de Lilly

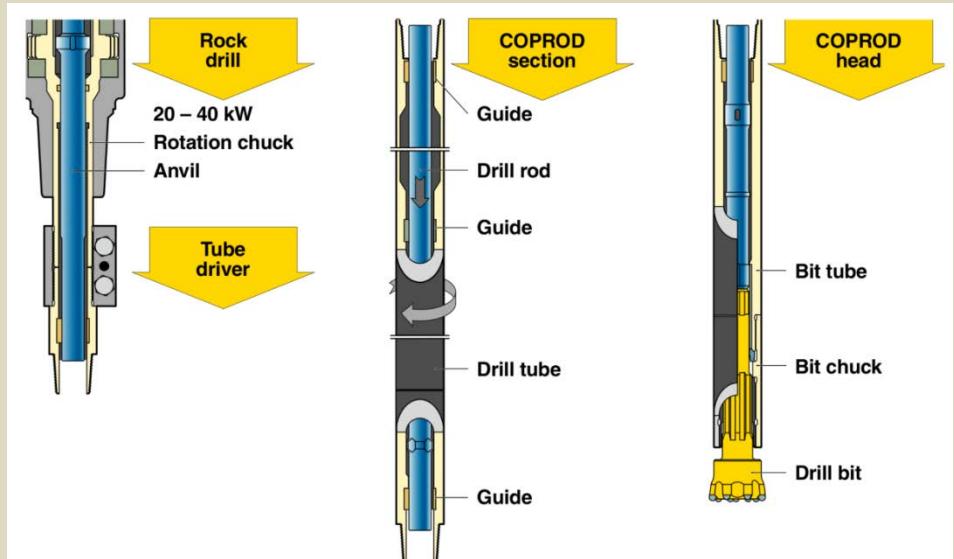
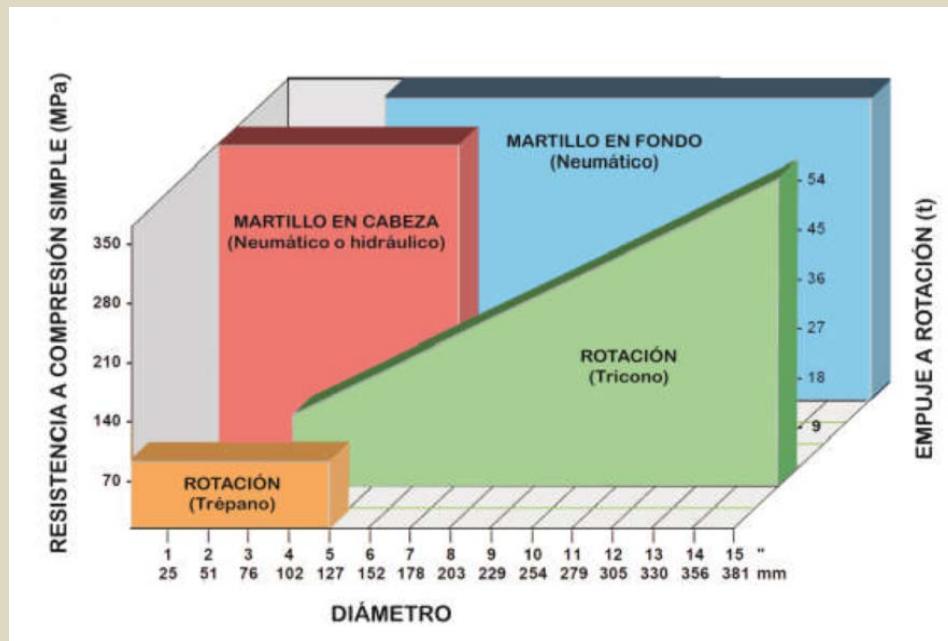


# CASOS ANALIZADOS

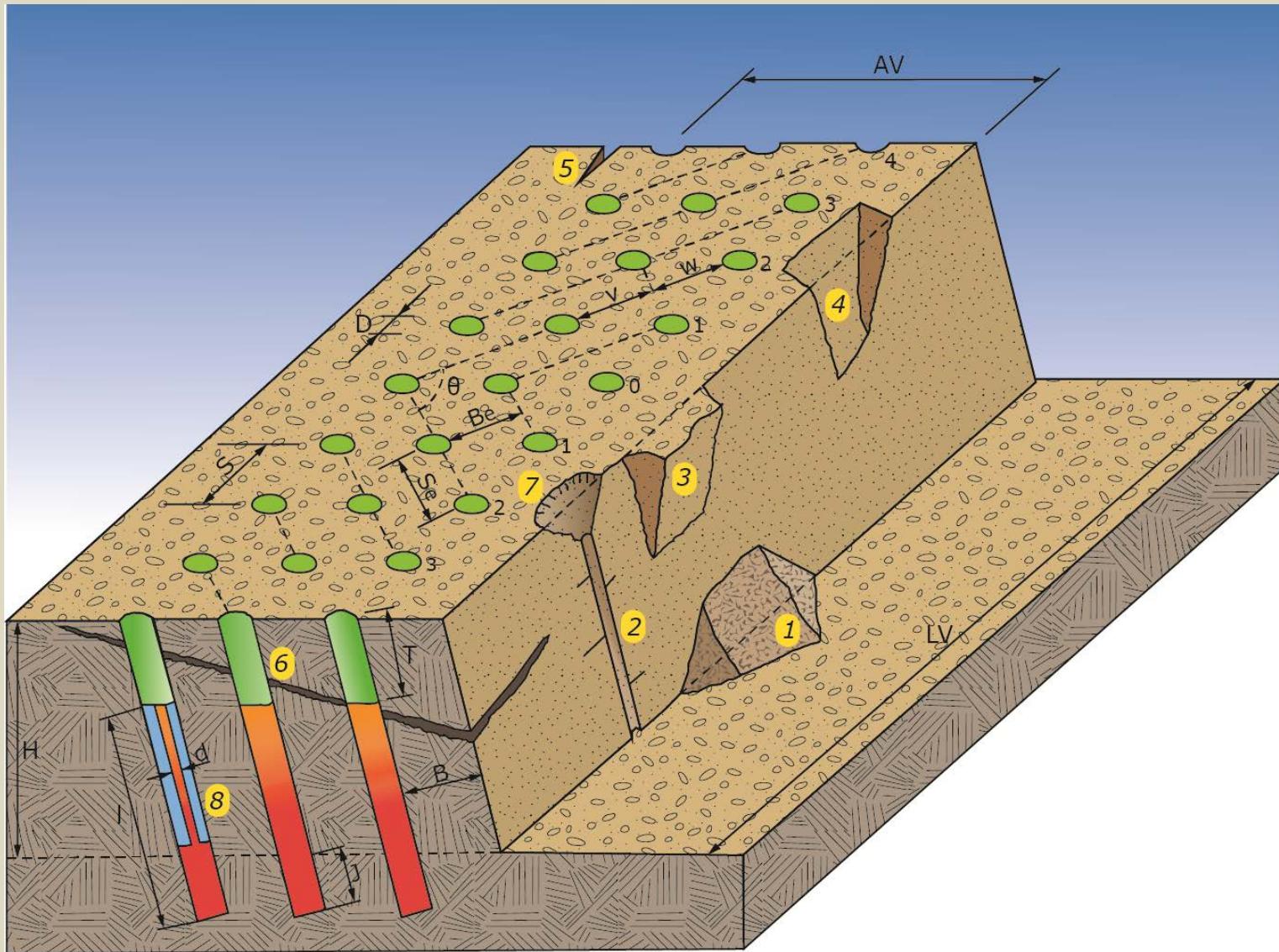
DATOS PRINCIPALES	CASO 1	CASO 2	CASO 3	CASO 4	CASO 5
<b><u>Perforación</u></b>					
Nº de unidades	3	4	5	6	8
Malla B*S (m <sup>2</sup> )	9	6,4	5,8	4,5	3,3
<b><u>Voladura</u></b>					
Consumo específico (kg/m <sup>3</sup> )	0,53	0,76	0,9	1,15	1,56
K50 (mm)	410	290	250	200	150
<b><u>Nº de operadores</u></b>			18-22		
<b><u>Excavadoras</u></b>			12		
Capacidad de cazo (m <sup>3</sup> )			2-7 dependiendo de las configuraciones de la voladura o cazo (o cazo)		
Nº de unidades					
<b><u>Volquetes</u></b>			50		
Capacidad (t)			2		
Distancia (km)					
Nº de unidades		8-10 dependiendo de la configuración de la voladura			
<b><u>Trituración</u></b>					
Tipo			Trituradora Nordberg C160		
Nº de unidades primarias			2		
Nº de unidades sec. y terc.			5		
<b><u>General</u></b>					
Perforabilidad y Volubilidad			45/0,7		
Índice de Bond (kWh/t)			15		
Diámetro de perforación			89		
Altura de banco (m)			10		
Explosivo			Anfo		
Tasa de interés (%) / Unidades cantera			10 / 20		
Precio gasóleo (€/l) / Energía(€/kWh)			0,5 / 0,1		
Mano de obra (€/h)			17		

(Fuente: METSO)

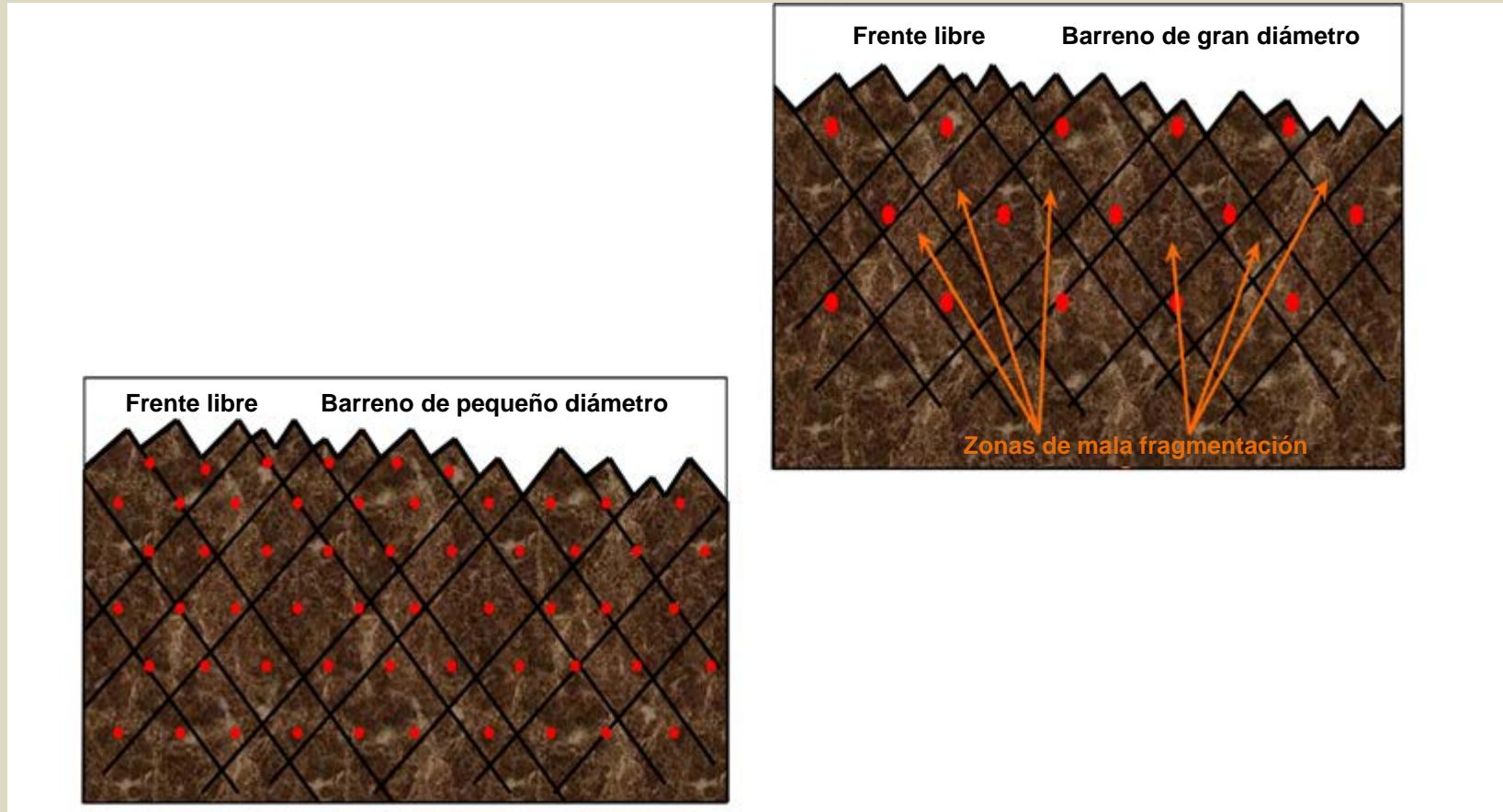
# APLICACIÓN DE LOS DIFERENTES TIPOS DE PERFORADORAS



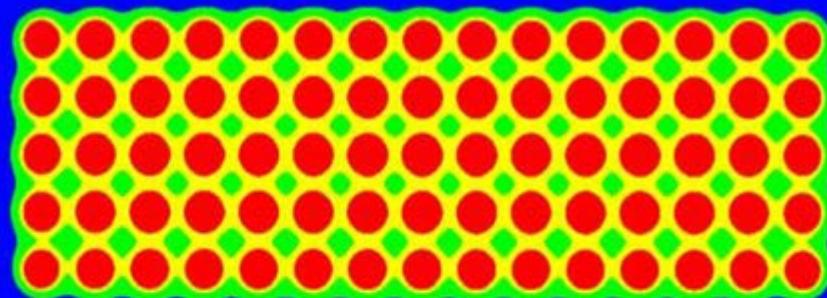
# ESQUEMA DE PERFORACIÓN



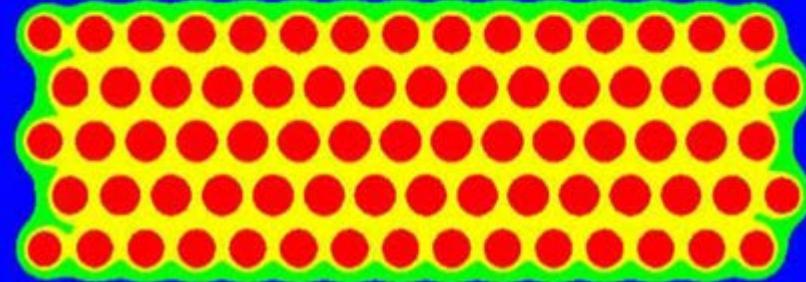
# ESQUEMA DE PERFORACIÓN



# ESQUEMA DE PERFORACIÓN

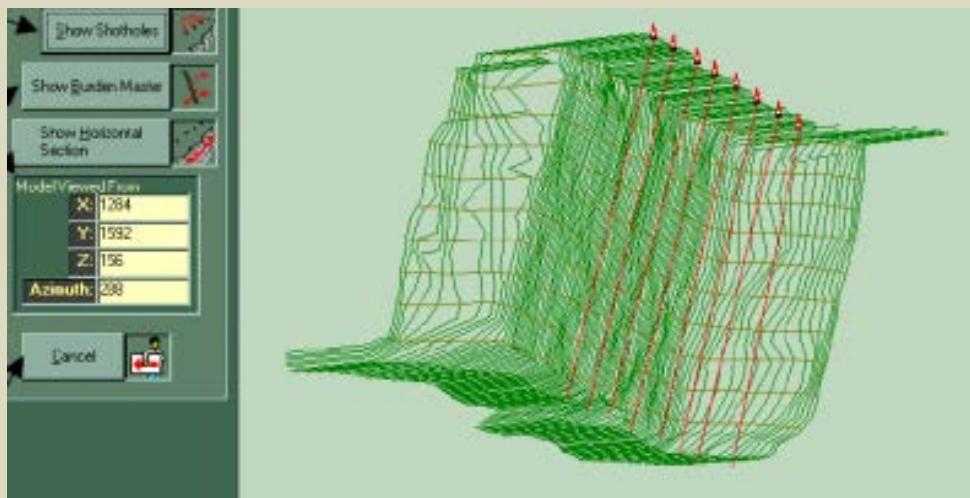
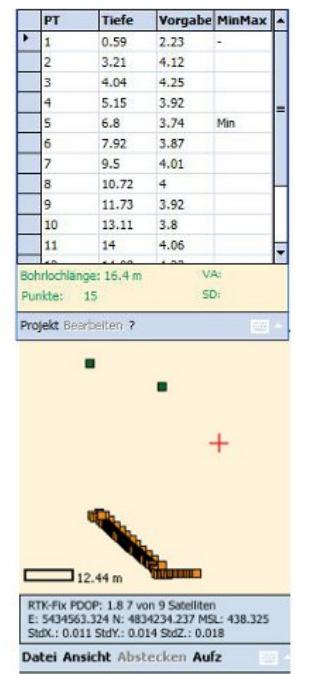


Esquema cuadrado

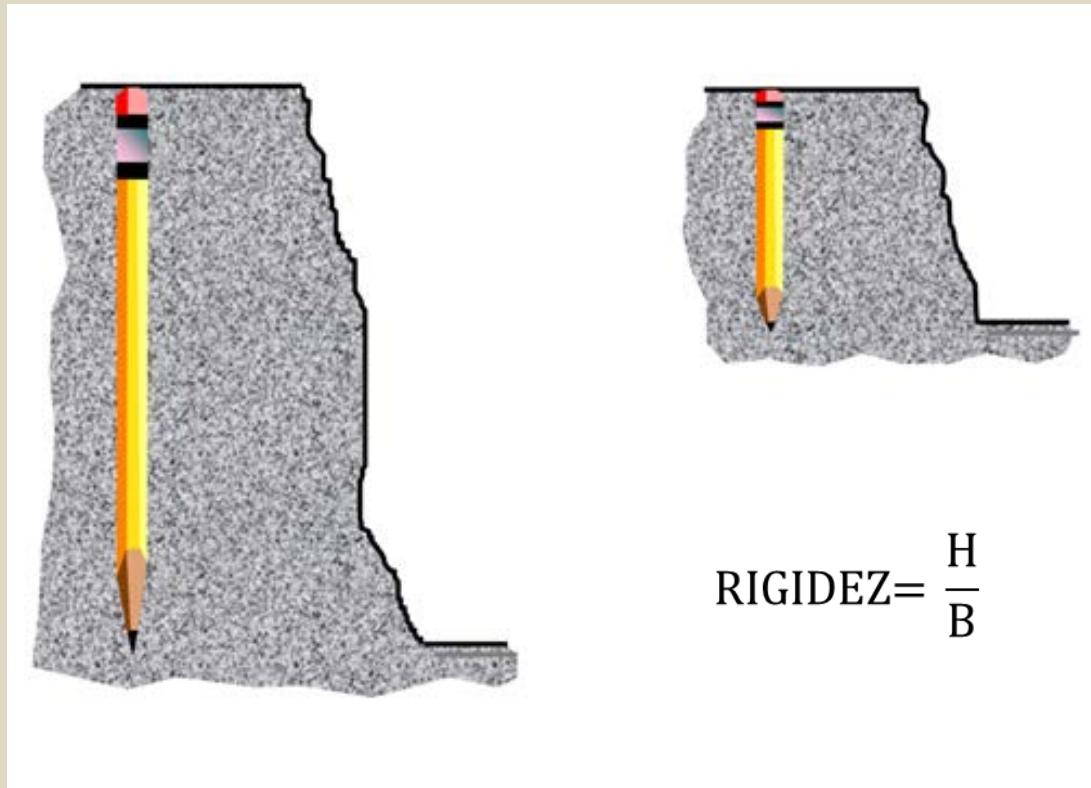


Esquema al tresbolillo

# PERFILOMETRÍA Y TRAYECTORIA DE LOS BARRENOS



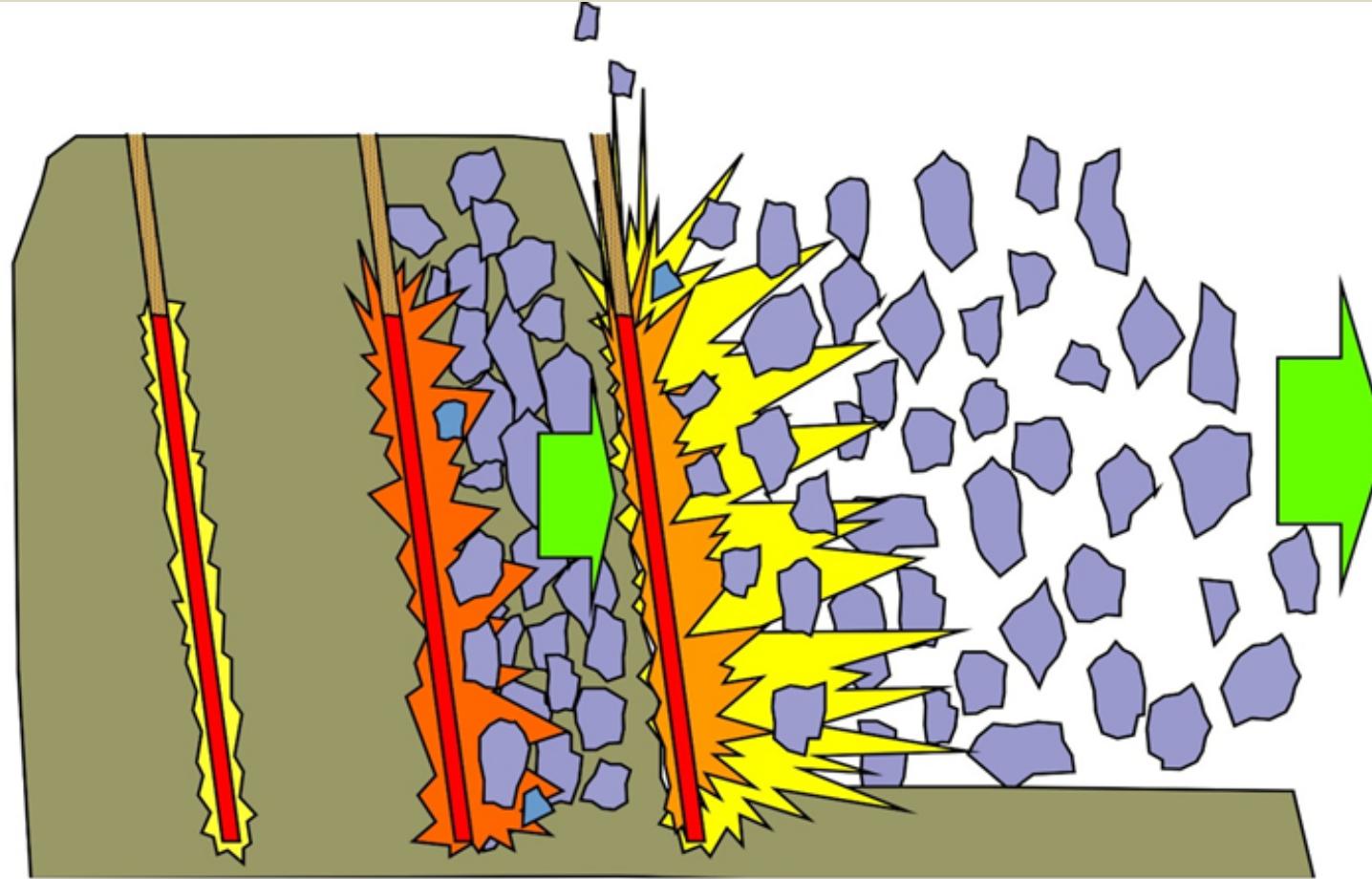
# ALTURA DE BANCO



$$\text{RIGIDEZ} = \frac{H}{B}$$



# SECUENCIA DE ENCENDIDO Y TIEMPO DE RETARDO



NECESITAMOS .....



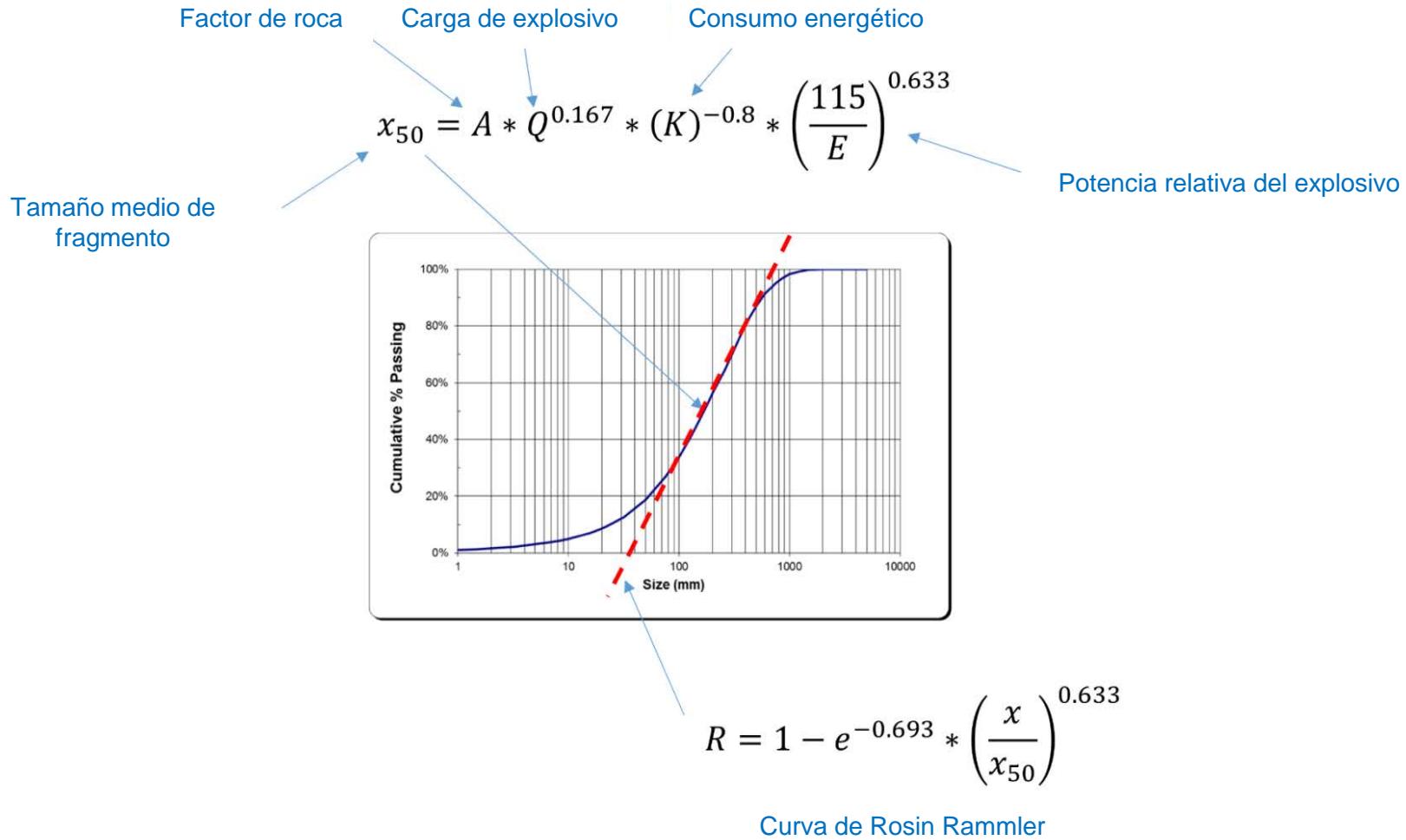
NECESITAMOS UN MODELO .....



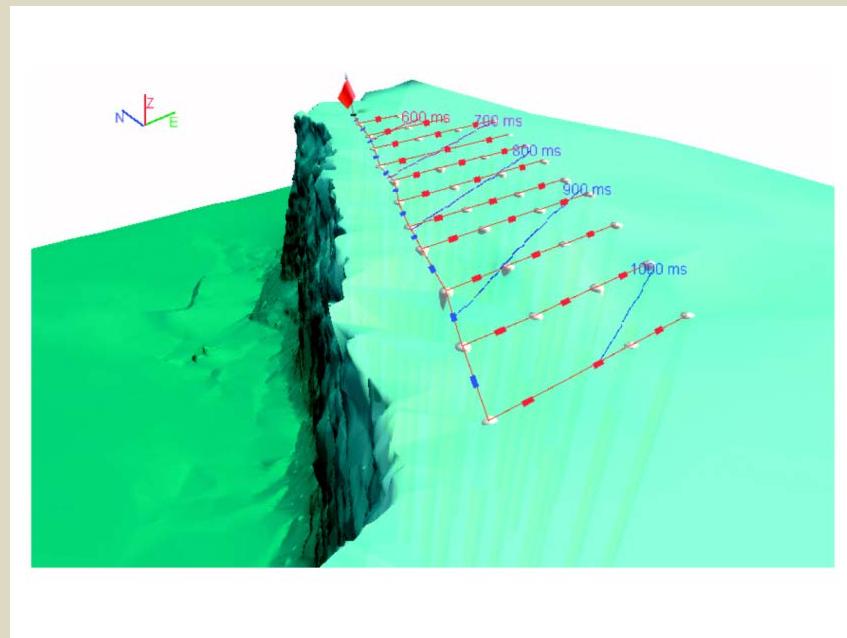
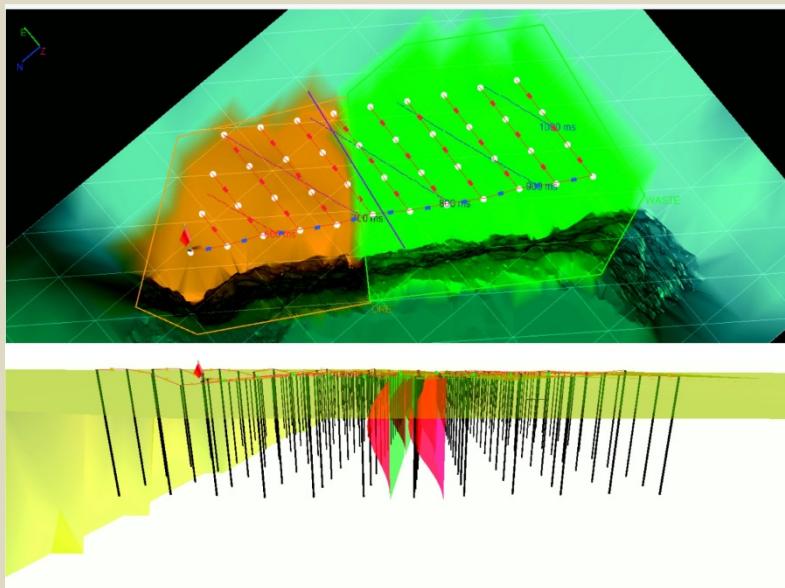
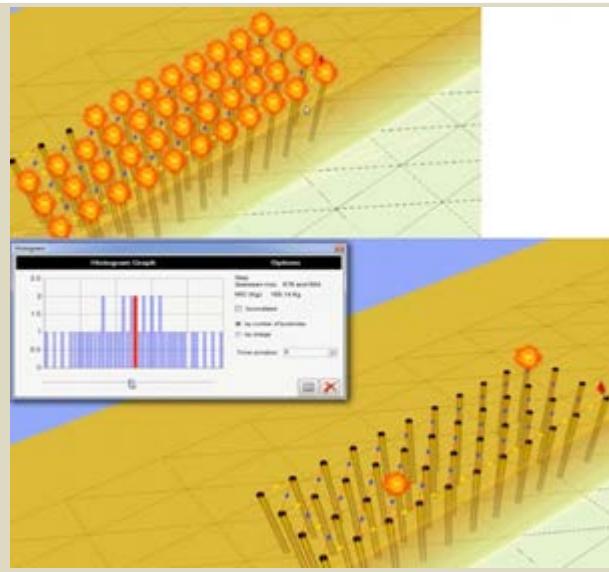
# NECESITAMOS UN MODELO DE PREDICCIÓN DE LA FRAGMENTACIÓN



# MODELO KUZ-RAM



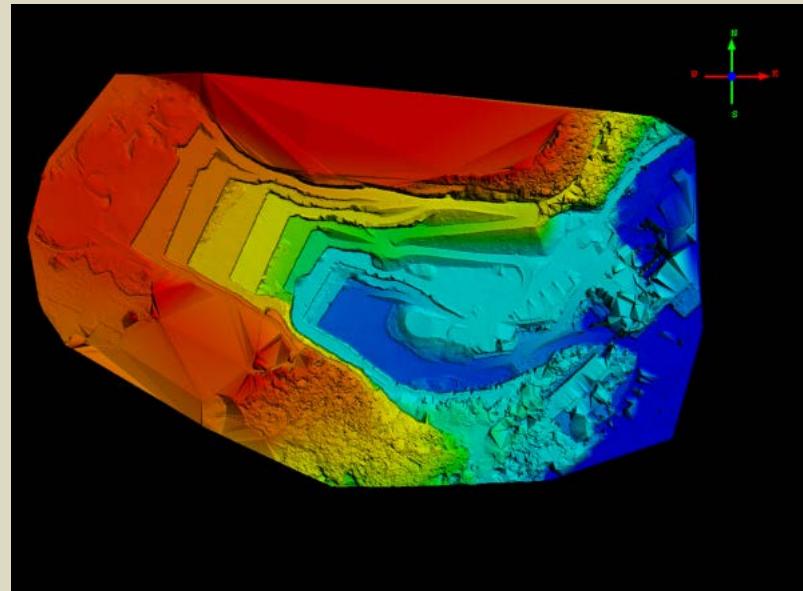
# PROGRAMAS DE SIMULACIÓN



# ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE RESULTADOS



# ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE RESULTADOS



# INSPECCIÓN DE CANTERAS



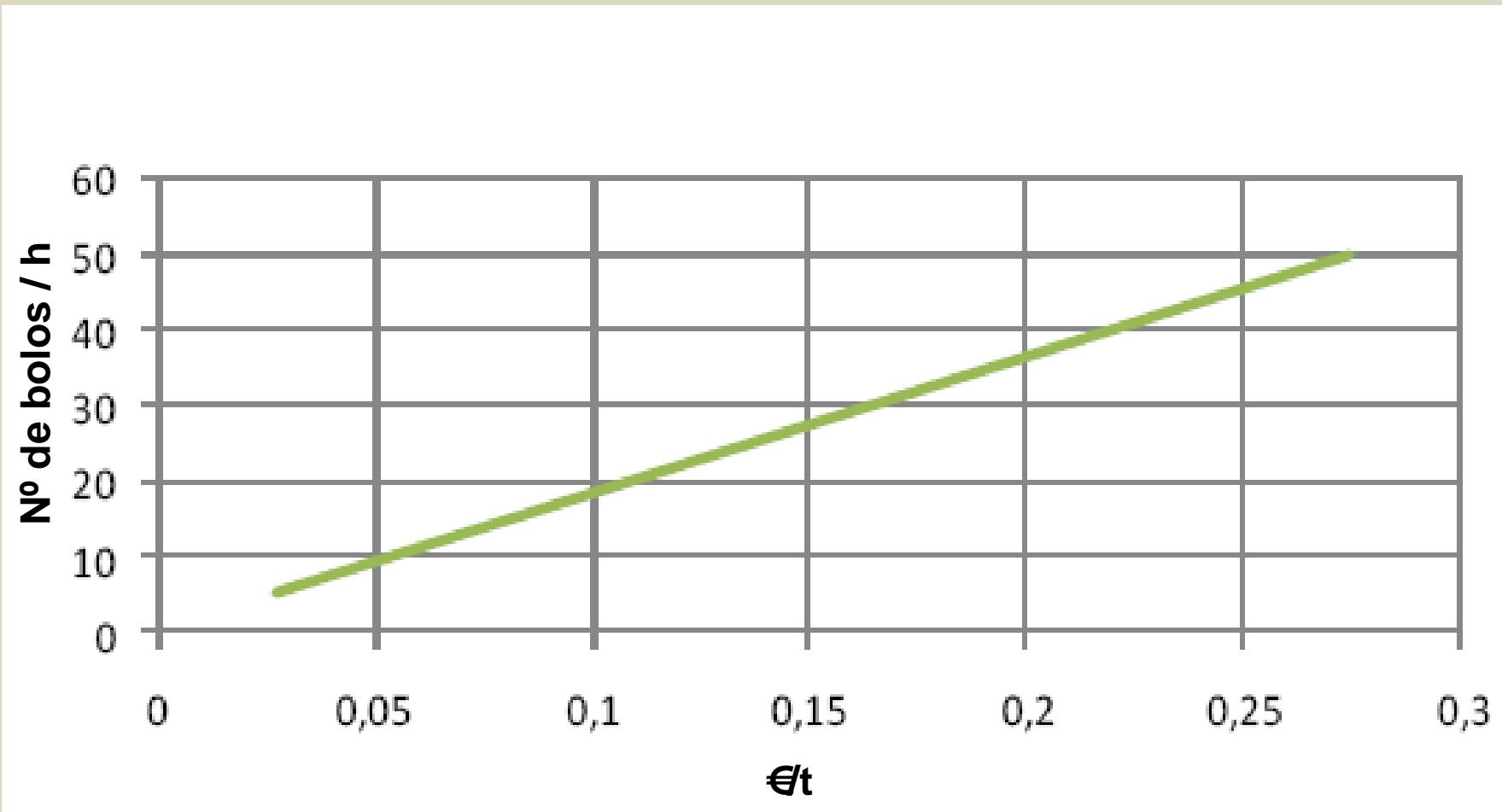
# ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE RESULTADOS



# BOLOS RESULTANTES EN UNA VOLADURA



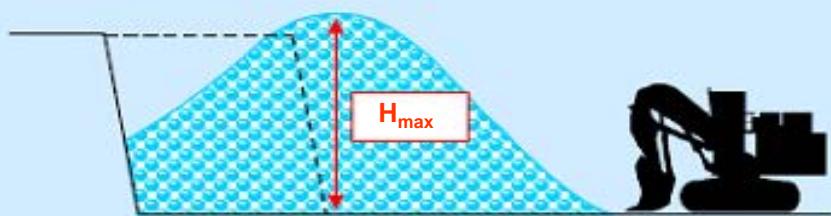
# COSTE DE TAQUEO CON MARTILLOS HIDRÁULICOS



# ATASCOS EN LAS TRITURADORAS



# INFLUENCIA DE LA GEOMETRÍA DE LA PILA EN LA CARGA

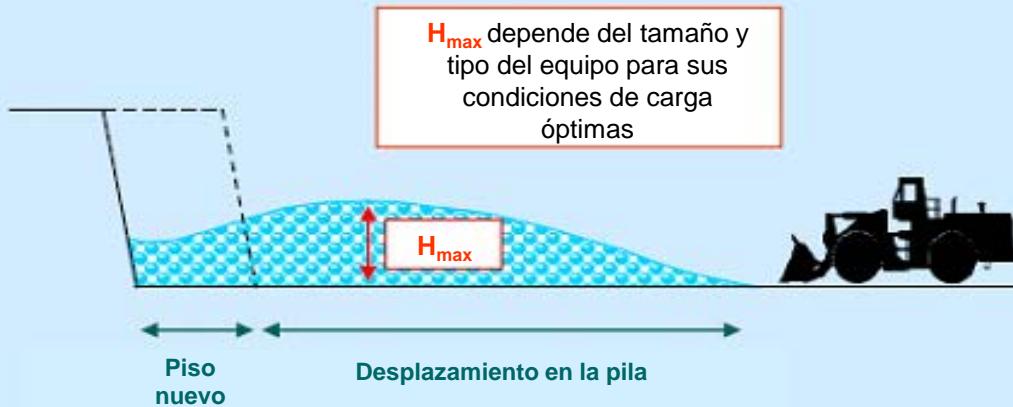


## Excavadoras frontales

Alta productividad  
Área mínima de limpieza  
Seguridad para el operador

## Pala de ruedas

Baja productividad  
Pila apelmazadora  
Pila alta  
Peligro para el operario

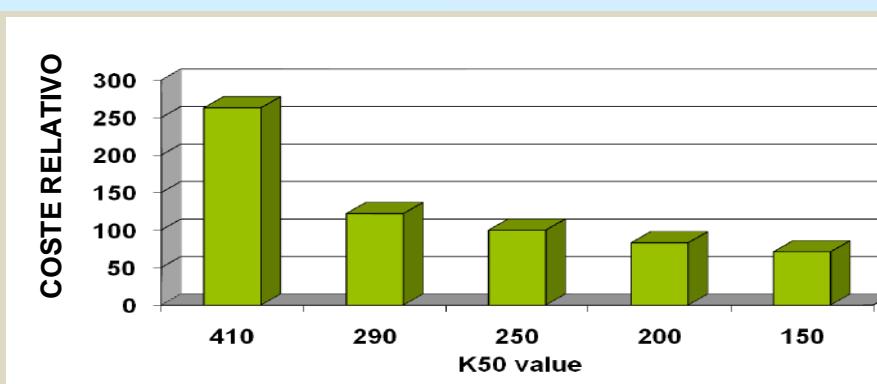


## Excavadoras frontales

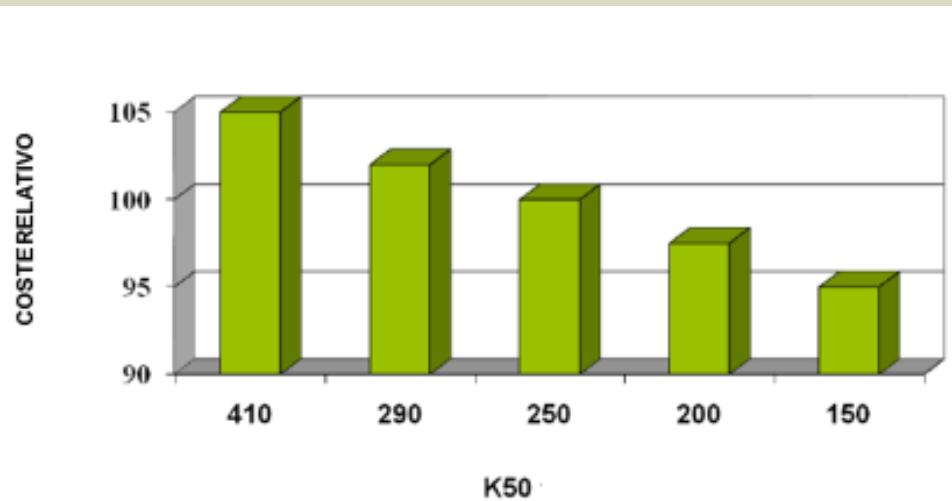
Productividad media  
Área de limpieza grande  
Seguridad para el operador

## Pala de ruedas

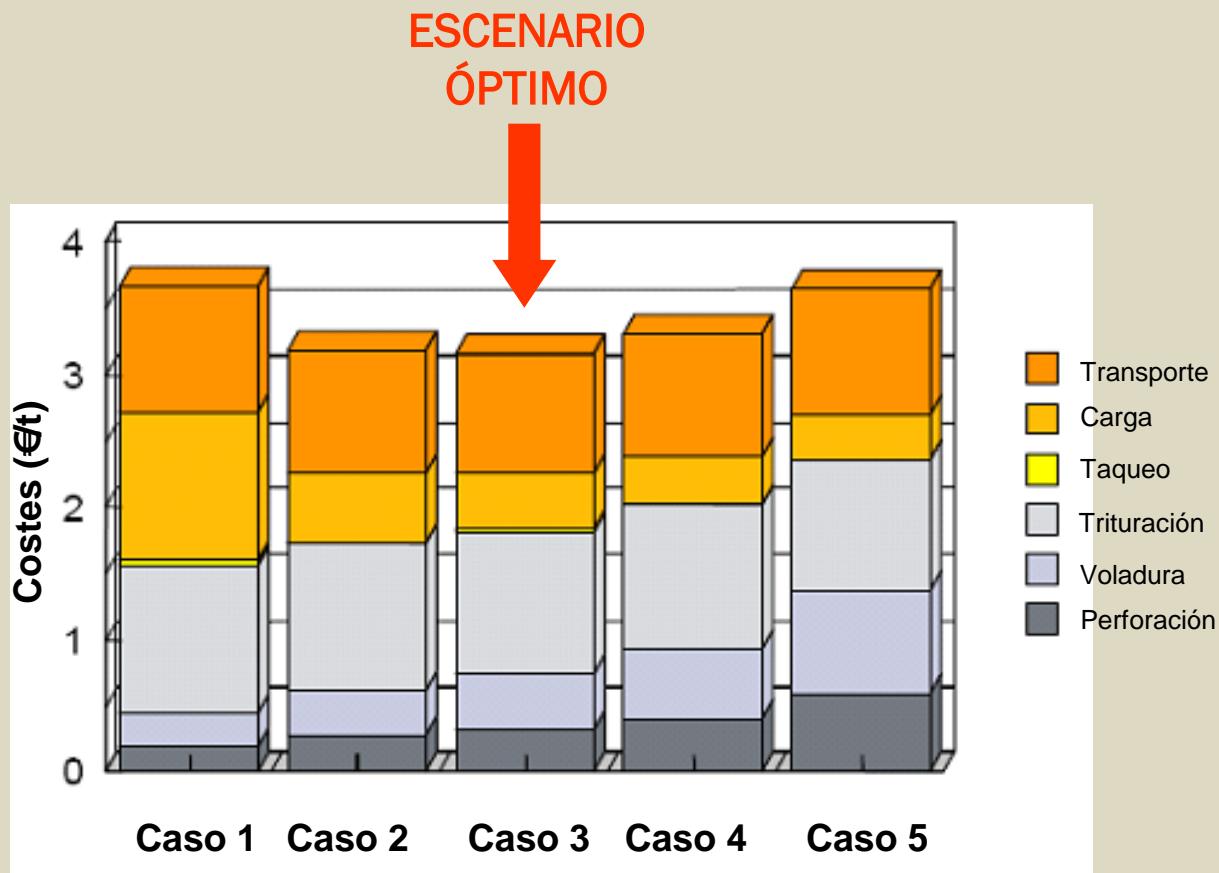
Alta productividad  
Pila esponjada  
Seguridad para el operador



# INCIDENCIA EN EL TRANSPORTE

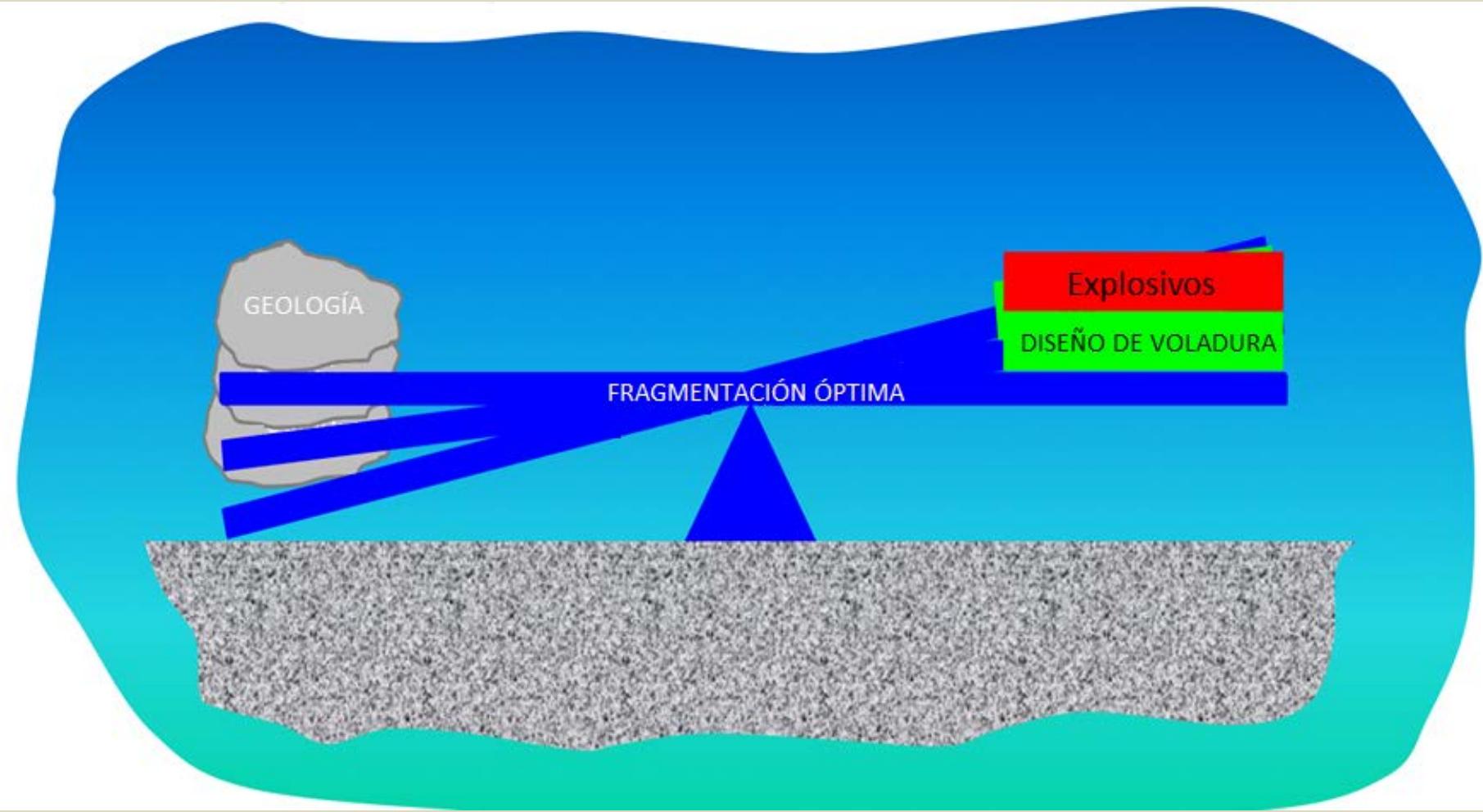


# RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE CASOS



Caso	$K_{50}$ (mm)
Caso 1	410
Caso 2	290
Caso 3	250
Caso 4	200
Caso 5	150

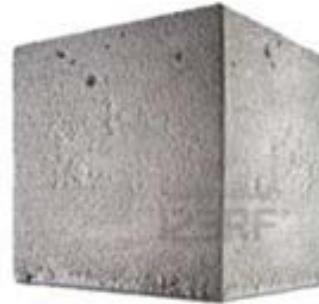
# EFFECTO PALANCA DE LAS VOLADURAS



# APLICACIONES DE LOS ÁRIDOS



**1 km carretera = 10.000 t  
1 km de autovía = 30.000 t**



**1 m<sup>3</sup> de hormigón = 2 t**



**1 km lav = 10.000 t**



**1 chalet = 100 a 300 t**



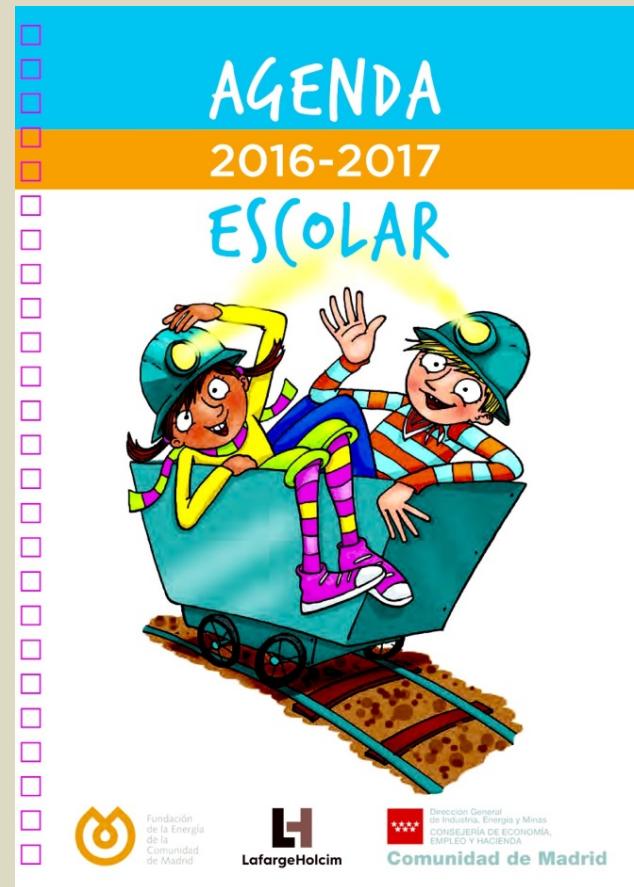
**1 hospital = 20.000 a 40.000 t**

# LOS ÁRIDOS Y SU FUTURO SOSTENIBLE

DEBEMOS EXPLICAR PARA  
QUE SIRVEN Y PARA QUE SE  
UTILIZAN LOS ÁRIDOS, A  
TODOS LOS  
REPRESENTANTES DE LOS  
PODERES PÚBLICOS Y .....



HACER PEDAGOGÍA ENTRE  
LOS FUTUROS CIUDADANOS  
BUSCANDO SU  
PARTICIPACIÓN Y  
CONCIENCIACIÓN EN CLAVE  
POSITIVA



Fundación  
de la Energía  
de la  
Comunidad  
de Madrid



LafargeHolcim



Dirección General  
de Industria, Energía y Minas  
CONSEJERÍA DE ECONOMÍA,  
EMPLEO Y HACIENDA  
Comunidad de Madrid

# SMART QUARRIES – CANTERAS INTELIGENTES



# MUCHAS GRACIAS POR SU ATENCIÓN

