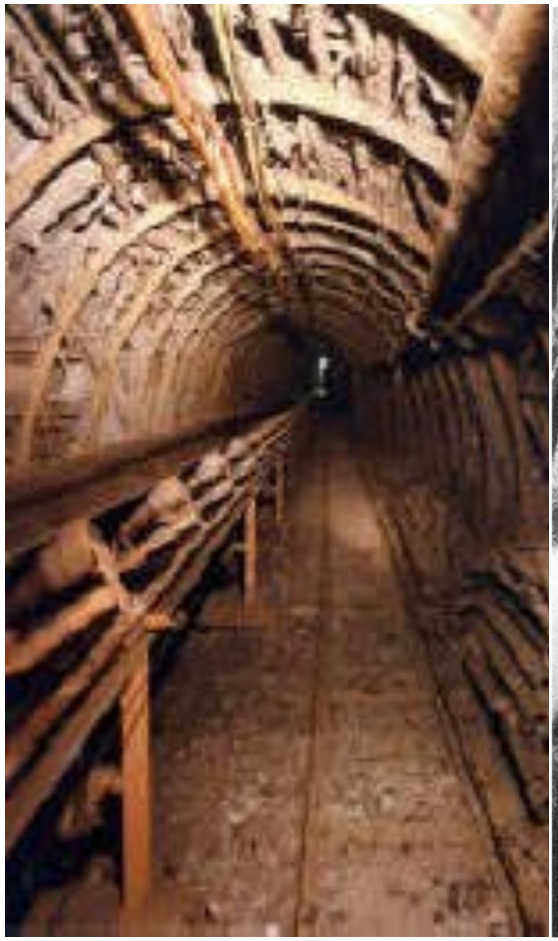
Laboreo II

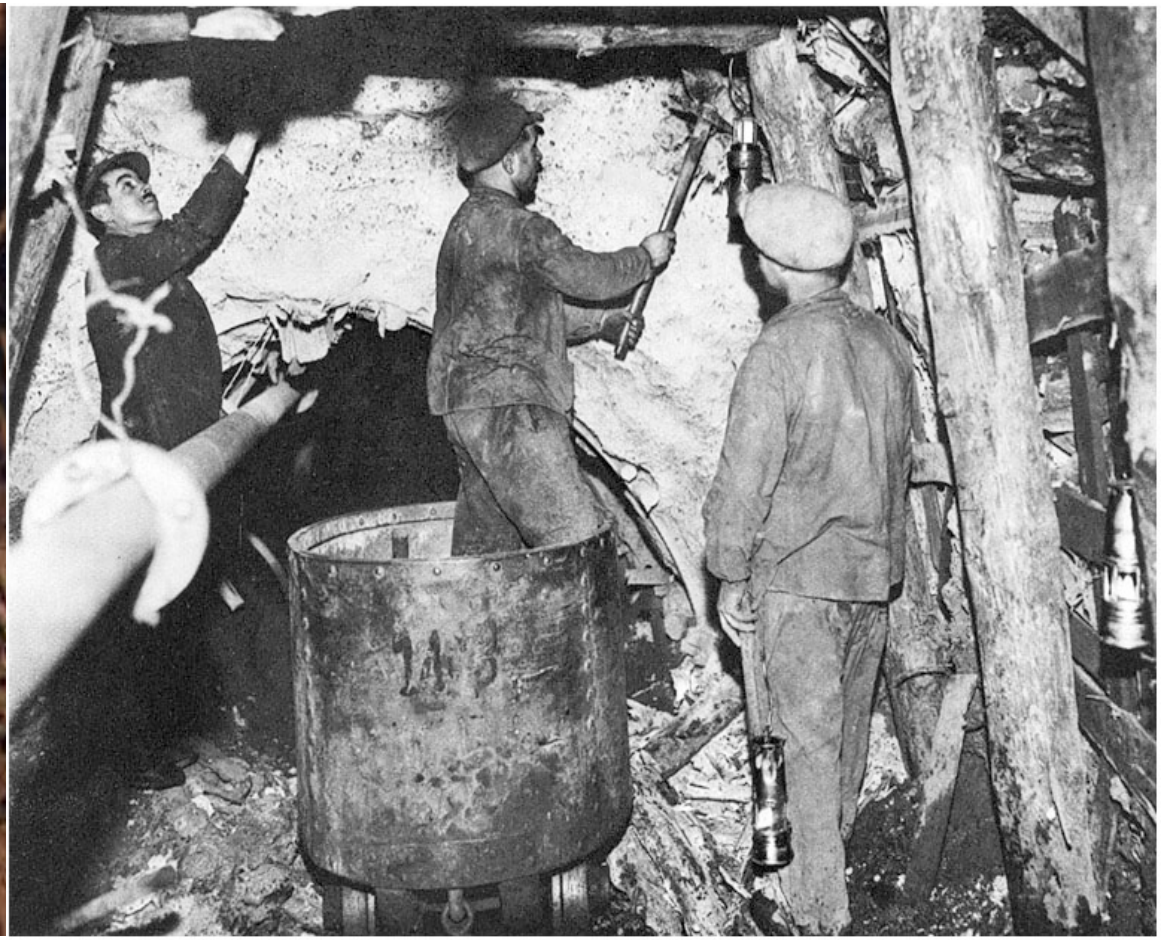
Tema 4.1. Tecnología minera

Raúl Husillo Rodríguez
Noemí Barral Ramón

Departamento de Transportes y Tecnología de Proyectos y Procesos

Este tema se publica bajo Licencia:
Creative Commons BY-NC-SA 4.0





SOSTENIMIENTO

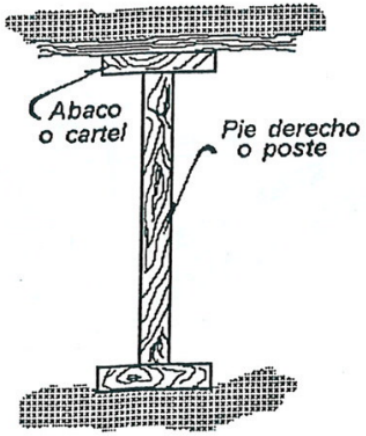
DEFINICIONES

TÉRMINO	DEFINICIÓN
CABEZAL O MONTERA	Elemento alargado que generalmente se emplea en posición horizontal, trabajando como libremente apoyada. En madera, suele tener sección circular o rectangular, y en acero en sección de I, U o H. Suele usarse para la contención de la zona superior de las obras o techos.
LARGUERO	Elementos horizontales y perpendiculares a los cabezales.
SEPARADOR O BOTADOR	Elemento horizontal en la parte baja (piso), que une los elementos verticales (postes).
POSTE O ESTEMPLE	Elemento vertical del cuadro, esencialmente para resistir cargas axiales. Dos postes, un cabezal y una solera forman el cuadro completo. Hay estemples metálicos en sección de I, U o H de longitud ajustable.
PUNTAL O PIE	Poste (sinónimo). Suele designarse con este término al poste inclinado.
LLAVE	Similar al cabezal, pero con extremos empotrados o semiempotrados en “cárceles” o huecos abiertos en los hastiales.
CASTILLETE	Pila de madera de sección rectangular, destinada a soportar grandes esfuerzos.

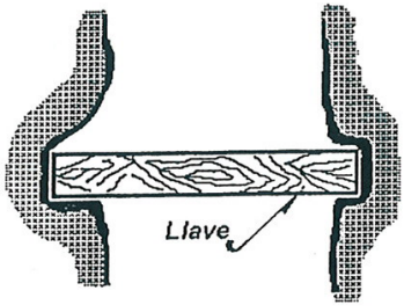
DEFINICIONES

TÉRMINO	DEFINICIÓN
PILAR	Similar al castillete. Puede ser de obra (mampostería), con relleno central.
ABRAZADERA, UNIÓN O LIGA	Elemento hecho de tablas, para unir series de postes y mantenerlos en la posición correcta, a fin de que actúen como pilar.
TUPIDO O ENRAJE	Entarimado colocado sobre los cabezales y postes (por detrás de los mismos), con el fin de evitar la caída de rocas sueltas.
FALSO PISO O TARANCO	Falso piso de madera sobreelevado para plataforma de maquinaria, herramienta o cierre de seguridad de un hueco.
PUNTAL O PIE	Poste (sinónimo). Suele designarse con este término al poste inclinado.
LLAVE	Similar al cabezal, pero con extremos empotrados o semiempotrados en “cárceles” o huecos abiertos en los hastiales.
CASTILLETE	Pila de madera de sección rectangular, destinada a soportar grandes esfuerzos.

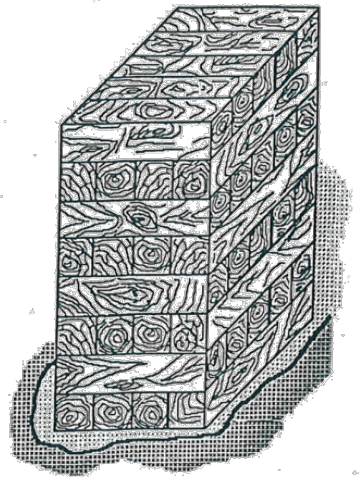
DEFINICIONES



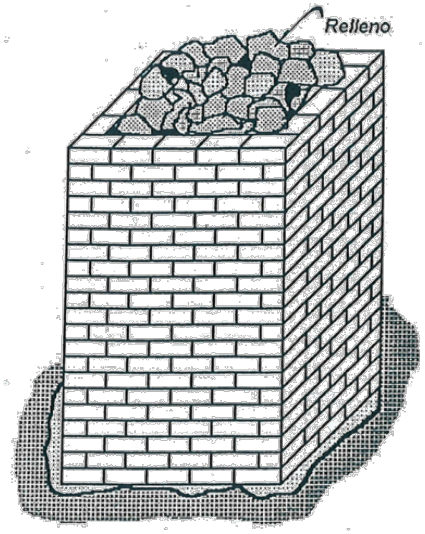
POSTE, PUNTAL O PIE DERECHO



LLAVE



pilar castillete de madera "macizo"

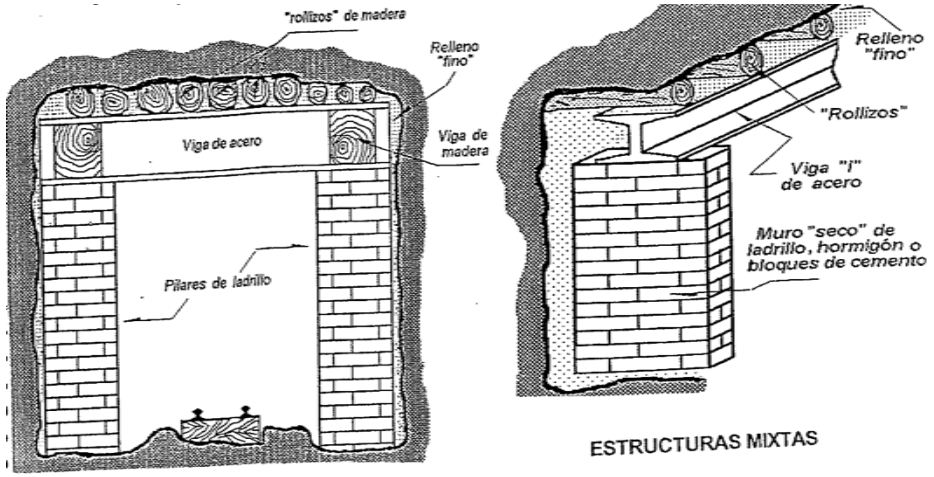


pilar de mampostería relleno

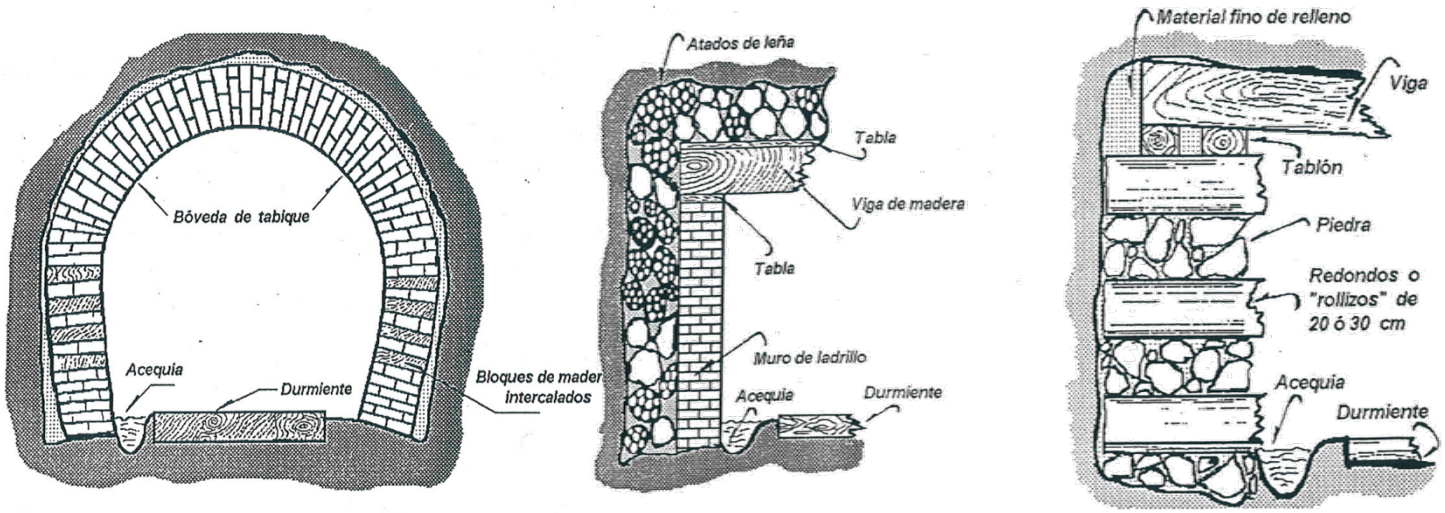
MATERIALES PARA EL SOSTENIMIENTO

Para el soporte de todas aquellas labores no autoportantes puede emplearse:

- Madera
- Acero
- Mampostería
- Hormigón
- Estructuras mixtas.



ESTRUCTURAS MIXTAS



ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA Y MADERA

ESTRUCTURAS MIXTAS: COMBINACIÓN DE DOS O MÁS MATERIALES A ESTUDIAR, CON PROPIEDADES DERIVADAS DE DICHAS COMBINACIONES.

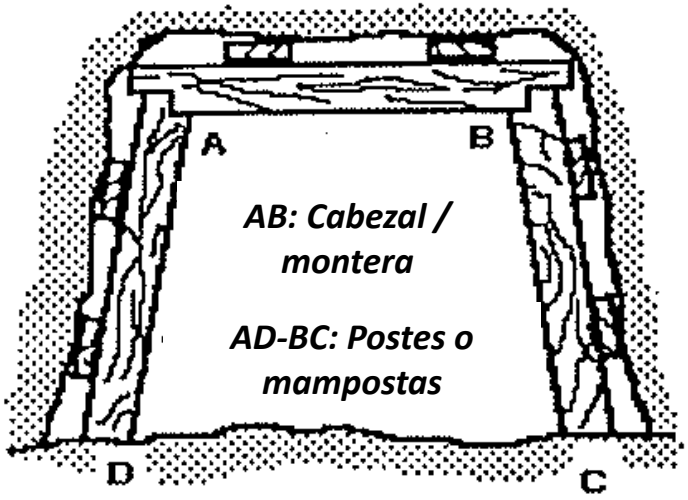
MATERIALES PARA EL SOSTENIMIENTO

LA MADERA

- **Diez veces más ligera que el acero, dos veces menos resistente**. Útil para estructuras de poca duración, con la ventaja de "avisar" previo a la rotura (ruidos y agrietamientos). Se emplea en rollizos (piedras redondas) o labrada (vigas rectangulares).

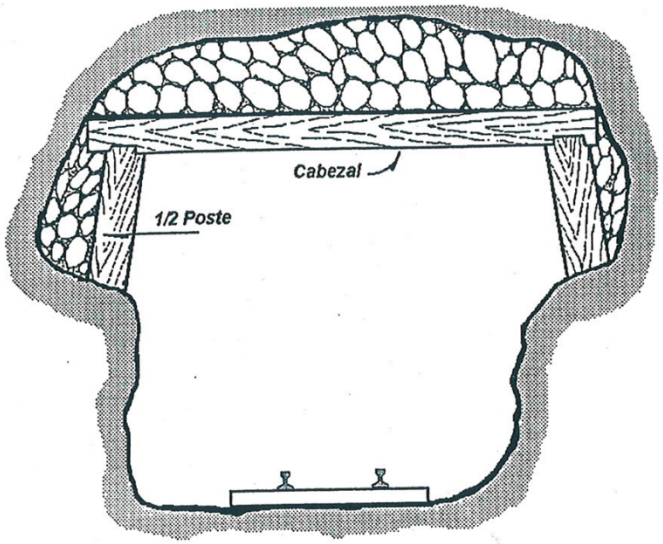
- Es deseable que no presente defectos (nudos, grietas internas o externas,…). Resulta muy vulnerable (fuegos, microorganismos), por lo que suele tratarse si se desea incrementar su duración.

- Ofrece una elevada resistencia a tracción, pero a compresión, pandeo y flexión depende de la dirección de los esfuerzos respecto a las vetas. Se emplea en vigas, largueros, pilares, tablas, puntales, postes… En pozos, chimeneas, galerías, tolvas, tambores, talleres,…

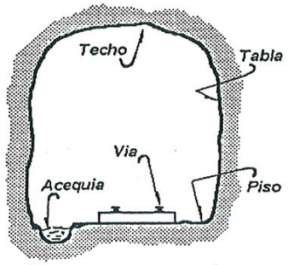


MATERIALES PARA EL SOSTENIMIENTO

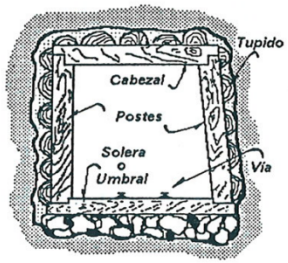
LA MADERA



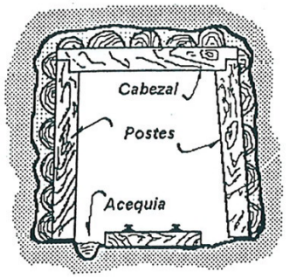
MEDIO CUADRO



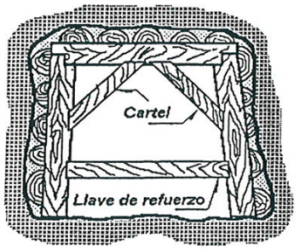
GALERIA SIMPLE
SIN ADEME



MARCO COMPLETO



MARCO INCOMPLETO



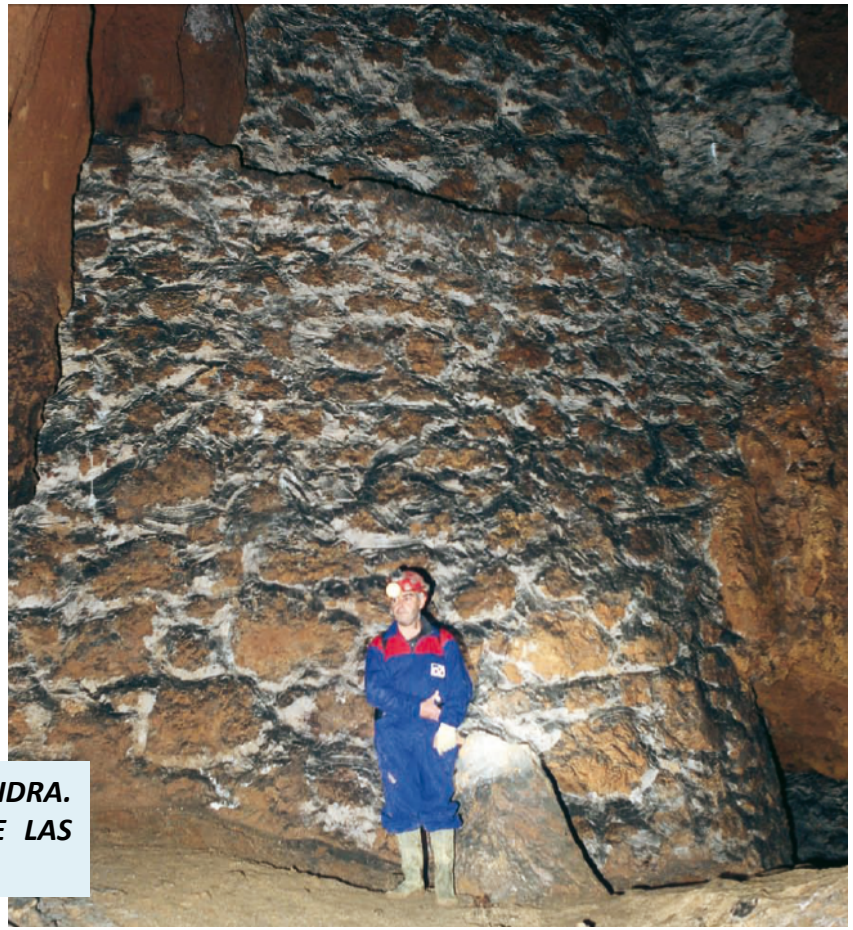
MARCO REFORZADO

TIPOLOGÍAS DE CUADROS

MATERIALES PARA EL SOSTENIMIENTO

MAMPOSTERÍA

Pueden aplicarse rocas u otros elementos artificiales, unidos por cemento o mortero. Es demasiado rígida, y únicamente soporta esfuerzos a compresión, si bien presentan una gran durabilidad.



PEDRIZA ASOCIADA A RAMPA DE EXPLOTACIÓN, MINA LA ISIDRA. FOTO: M. HEDROSA. FUENTE: BOCAMINA, MONOGRÁFICO DE LAS MINAS DE LA FLORIDA

MATERIALES PARA EL SOSTENIMIENTO

HORMIGÓN PROYECTADO-GUNITADO

GUNITAR: Aplicar en obra de mortero u hormigón a gran velocidad, transportados por una manguera y proyectados neumáticamente.

- **HORMIGÓN PROYECTADO:** Áridos de más de 8 mm.
- **MORTERO:** Tamaño de áridos inferior a 8 mm

MATERIALES DEL HORMIGÓN PROYECTADO: cemento, agua, áridos y aditivos.

En ocasiones se aplica sobre mallazo o se introducen en la mezcla fibras, con el fin de reforzar las propiedades del conjunto.

- **CEMENTO:** análogo al aplicado en hormigones convencionales
- **ÁRIDOS :** las características mejoran al emplear granulometrías continuas. E
- **ADITIVOS:** acelerante, humo de sílice o cenizas volantes.

MATERIALES PARA EL SOSTENIMIENTO

TIPOS DE GUNITADO

TIPOS DE GUNITADO

- **GUNITADO POR VÍA SECA:** proyección por separado del agua y la mezcla de áridos y cemento, uniéndose por el impacto contra la superficie a gunitar. El empleado soporta la manguera con la mezcla y gradúa el aporte de agua: ES DETERMINANTE EN EL RESULTADO.

- **GUNITADO POR VÍA HÚMEDA:** Se proyecta la mezcla completa.

A TENER EN CUENTA

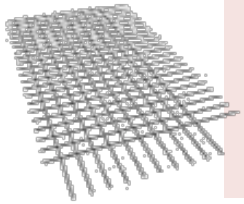
- Gunitar con la superficie limpia y ligeramente humedecida (mejora la adherencia).
- Distancia entre la boquilla y la superficie entre comprendida entre 0,6 y 2,0 m, perpendicularmente a la ésta, y con círculos descendentes (homogeneidad y reducción del el rechazo).
- Espesores habituales entre los 5 y los 25 cm. Para espesores mayores, se realizará una proyección por capas.
- Es frecuente aplicar una capa inicial de sellado al excavar el terreno, de unos 5 cm, para posteriormente recurrir al recrecimiento.

MATERIALES PARA EL SOSTENIMIENTO

MALLAZO Y FIBRAS

Si se desea incrementar la capacidad resistente del hormigón, debe armarse mediante mallas electrosoldadas o fibras.

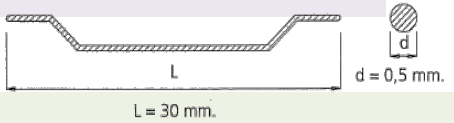
MALLAZO



Parrilla de barras corrugadas soldadas eléctricamente. Es versátil (permitirá el ajuste perfecto a la geometría del hastial. Es común la sujeción a las paredes mediante bulones. Dado que ha de quedar en el hormigón, es común aplicar dos capas de gunita, colocando entre ambas la malla. Puede colocarse junto a los bulones sin gunita como elemento de sostenimiento.

FIBRAS

Mezcladas con el hormigón, Mejoran la resistencia a tracción y el comportamiento frente a cortante.



A TENER EN CUENTA

- El rechazo en el caso del hormigón con fibras es menor, (una mala colocación de la malla lo aumenta).
- El hormigón entra en carga en el momento de colocación, las fibras únicamente al tomar resistencia.
- Las fibras facilitan la puesta en obra.
- El desgaste mayor en el equipo en el caso de recurrir a fibras.

MATERIALES PARA EL SOSTENIMIENTO

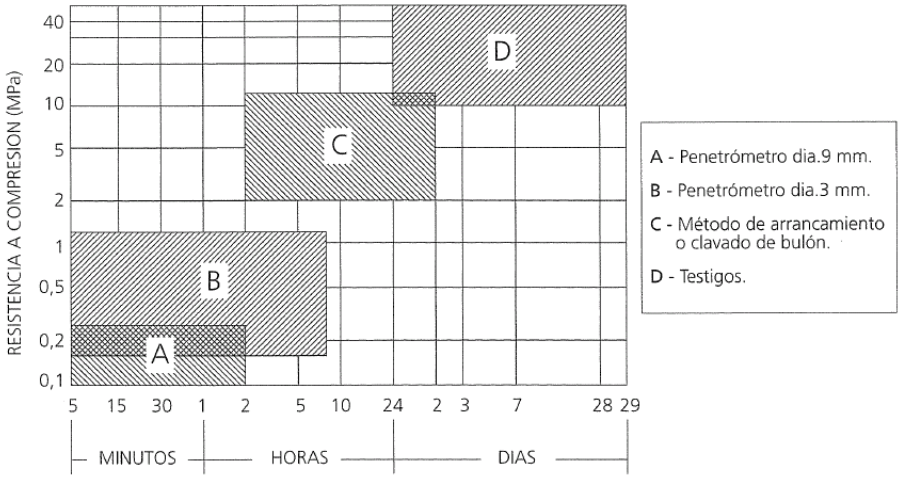
GUNITADO, ANÁLISIS DEL HORMIGÓN

COMPROBACIONES CUANTITATIVAS

- **Control de espesor** (mediante cables y cables colocados previo al gunitado en los hastiales, actuando como elementos de comprobación), y de
- **Contenido en fibras** (toma de muestra tras el gunitado, o bien de la mezcla previa).

ANÁLISIS CUALITATIVOS

Determinación de las resistencias mediante ensayo una probeta a compresión simple de probetas de hormigón a los 3,7 y 28 días (parámetros a largo plazo), y a corto plazo (por métodos indirectos como la aplicación de penetrómetros o arranque de bulón, por ser imposible la obtención de probetas)

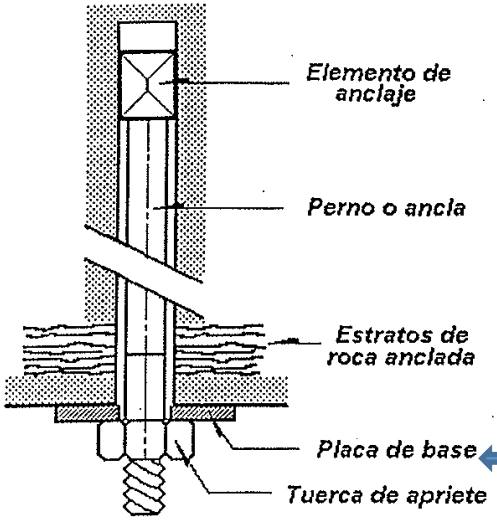


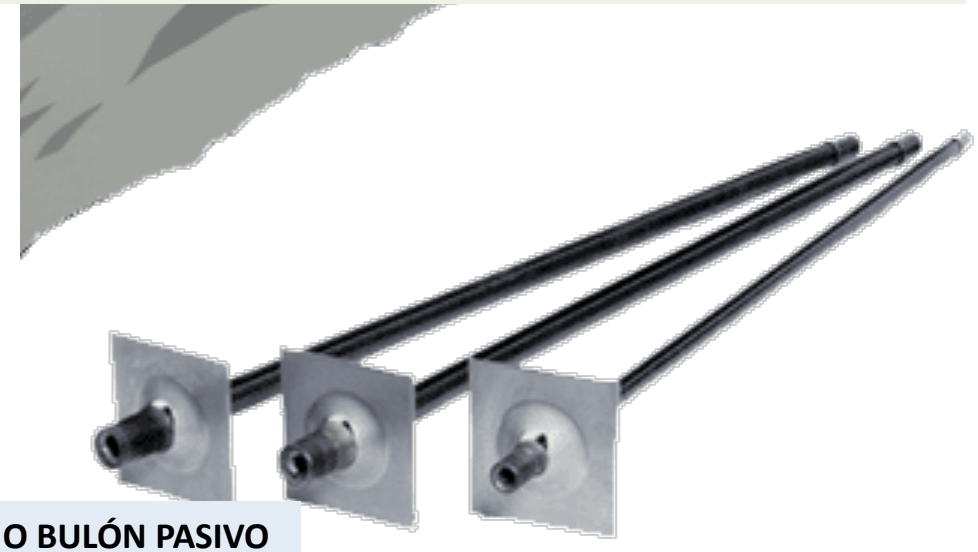
MATERIALES PARA EL SOSTENIMIENTO

BULONES

- "Cose" las discontinuidades, garantizando la estabilidad de bloques de estabilidad comprometida.
- Comprimen radialmente la roca.
- Ofrecen mejor respuesta en rocas que en suelos.
- Deben colocarse en taladros (existen variantes autoperforantes), adhiriéndose por vía mecánica o química.

Sus dimensiones varían, siendo comunes diámetros comprendidos entre los 25 y los 32 mm (diámetro), y las longitudes entre 3 y 6 metros.





PARTES DEL PERNO O BULÓN PASIVO

MATERIALES PARA EL SOSTENIMIENTO

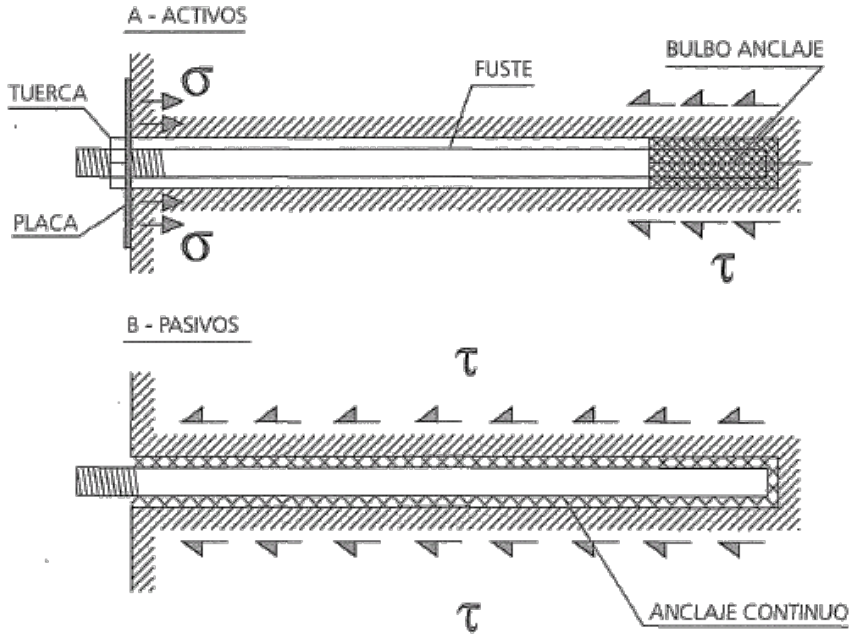
BULONES

CLASIFICACIÓN

EN FUNCIÓN DE LA FORMA DE TRABAJO

- **Activos**: bulón unido en fondo a la roca, y tensado mediante placa base que transmite tensión al terreno,

- **Pasivos**, en los que la adherencia al terreno es a lo largo de la totalidad de la longitud. El bulón actúa en caso de existir movimientos en el macizo



MATERIALES PARA EL SOSTENIMIENTO

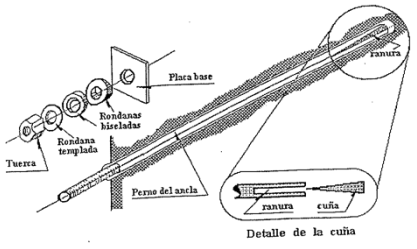
BULONES

CLASIFICACIÓN

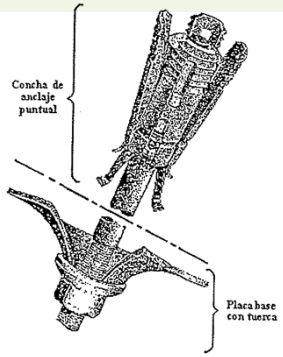
EN FUNCIÓN DEL TIPO DE ANCLAJE

DE ANCLAJE MECÁNICO

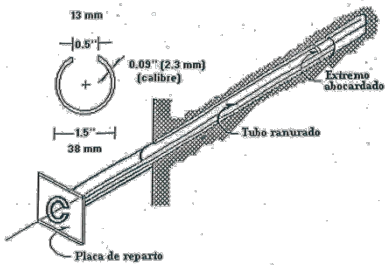
- **Pernos de expansión:** En su extremo presentan una cuña de expansión que ancla el bulón por la zona del bulbo, tensándose la cabeza con la placa base. Con el tiempo la cuña se relaja).
- **Pernos swellex:** Bulones pasivos huecos en los que la presión se debe a la introducción de agua en su interior, trabajando por rozamiento.
- **Pernos Slip-set:** Chapa cilíndrica abierta por una generatriz, que debe introducirse en un barreno de diámetro inferior al propio: trabajará a rozamiento mediante el ejercicio de una fuerza radial actuante sobre la roca.
- **Autoperforante:** Para malas condiciones del terreno, la barra de perforación se abandona en el interior del barreno, actuando como bulón.



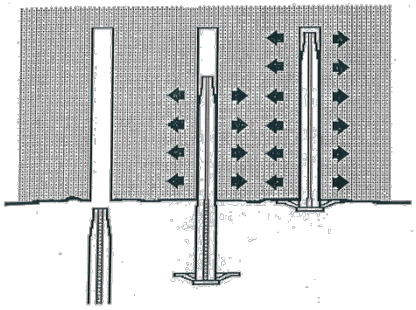
PERNO DE EXPANSIÓN (Ancla de cuña)



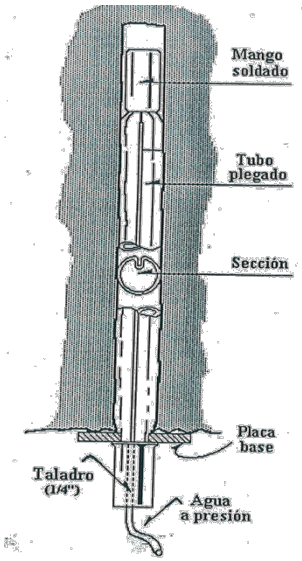
PERNO CON CONCHA DE EXPANSIÓN



TUBOS RANURADOS TIPO "SPLIT-SET"



COLOCACIÓN DE LOS "SPLIT-SET"



PERNO DE ANCLAJE TIPO "SWELLEX"

MATERIALES PARA EL SOSTENIMIENTO

BULONES

CLASIFICACIÓN

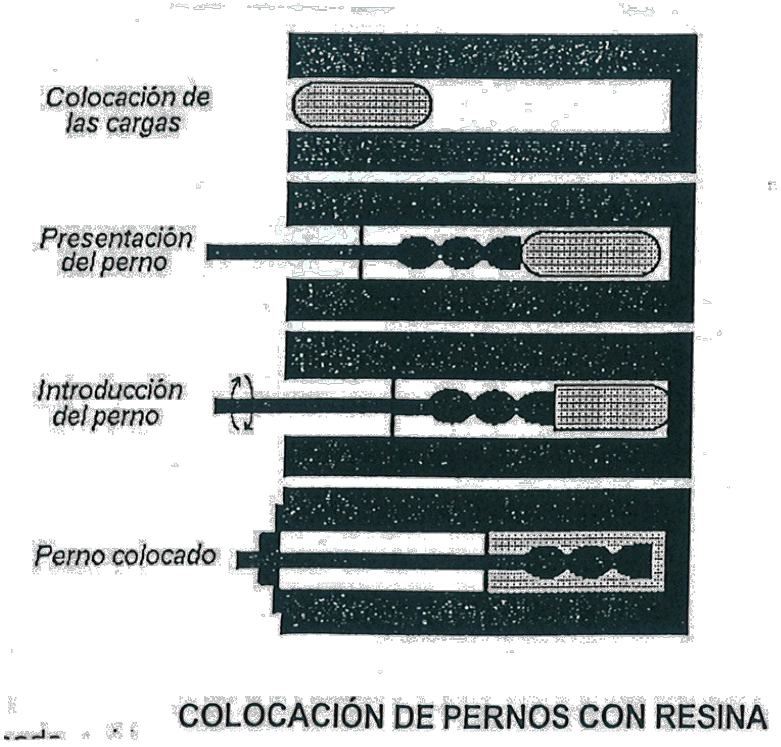
EN FUNCIÓN DEL TIPO DE ANCLAJE

DE ANCLAJE QUÍMICO

Mediante resinas o cementos, que unirán al terreno una barra de acero (generalmente corrugado, pudiendo recurrir a fibra de vidrio o cables).

Forma de trabajo es generalmente pasiva, realizándose en esos casos la fijación mediante cartuchos de resina epoxi o cemento, o bien mediante la inyección de lechada.

En el caso de los activos, únicamente el bulbo de anclaje se inyecta, siendo habitual proceder a la inyección del fuste del perno una vez tensado (barrenos de expansión inyectados).



COLOCACIÓN DE PERNOS CON RESINA

MATERIALES PARA EL SOSTENIMIENTO

BULONES

COLOCACIÓN Y ENSAYOS

COLOCACIÓN

Comprende las fases de replanteo, perforación e inserción. El esquema de colocación suele ser sistemático, pero puede optarse por la colocación en sitios puntuales

Existen bulonadoras, pero es común en la ejecución de galerías y túneles por voladura el empleo de la propia perforadora para el bulonado.

ENSAYOS Y CONTROL

- Recuento y comprobación de su emplazamiento.
- Los pernos activos no tienen ensayo específico.
- Para los pasivos, se realiza un ensayo de arrancamiento, (la fuerza necesaria para extraer el bulón, y posterior comparación con la de proyecto.

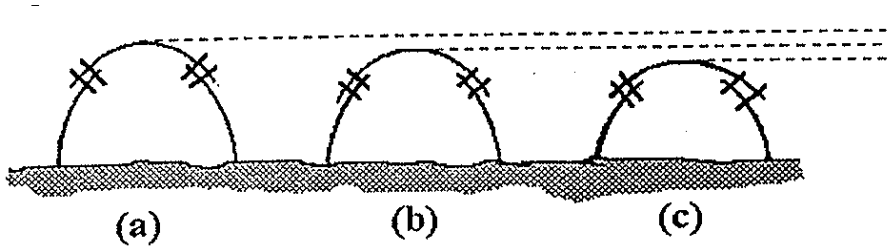
MATERIALES PARA EL SOSTENIMIENTO

EMPLEO DE ACERO

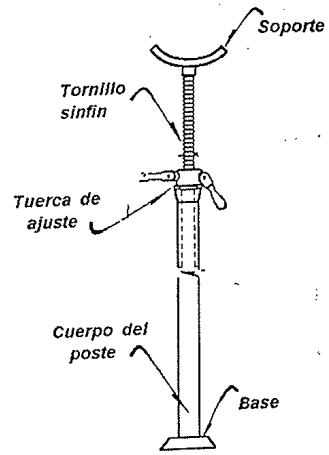
GENERALIDADES

- Elevada resistencia, alto módulo de elasticidad y duración, resulta adecuado para sostenimientos de larga duración, presentando un cierto valor al final de su vida útil como chatarra.

- Si se aplica en arcos, estos podrán ser rígidos (secciones en I, U o H), con ensamblaje rígido. O cedentes (la pieza de unión en cumbre corre por las laterales.



Funcionamiento del cuadro deslizante



Mamposta metálica de accionamiento mecánico, evolución desde las primitivas mampostas de madera. Existen igualmente mampostas hidráulicas.

CHAPA BERNOLD: Elemento de sostenimiento que previene frente a la caída de posibles bloques. Se coloca detrás de los cuadros, siendo frecuente la aplicación de relleno a extrados.

MATERIALES PARA EL SOSTENIMIENTO

CUADROS METÁLICOS

GENERALIDADES

- Arco metálico con excelente comportamiento mecánico tanto a tracción como a compresión. Suelen dividirse en partes.

- El espaciado es variable, siendo común entre 0,5 y 1,5 m (marcado por la calidad del terreno).

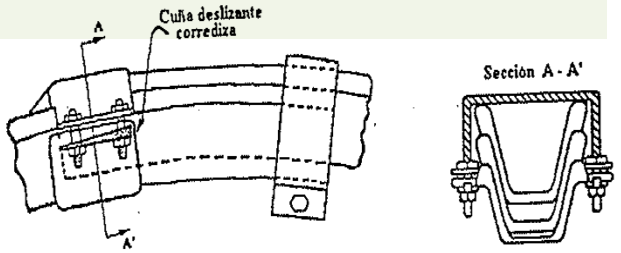
- La unión entre los sucesivos cuadros se efectúa mediante tresillones (barras de acero que consiguen un trabajo solidario), debiendo además procurar realizar un relleno entre los cuadros y el terreno (eficiente reparto de tensiones). En ocasiones se aplica posteriormente una capa de gunita que recubra los cuadros.

- Si no describe un arco cerrado (abierta en solera), el comportamiento frente a solicitudes horizontales es peor que la respuesta a las verticales.

- Es conveniente aportar un apoyo suficiente, pudiendo recurrir a elementos de calce (patas de elefante)

MATERIALES PARA EL SOSTENIMIENTO

CUADROS METÁLICOS



CUADROS DESLIZANTES

Los cuadros **T-H** se componen de tres o más segmentos con deslizamiento relativo, ajustados mediante tornillos.

Cuando la presión sobre la clave es excesiva, el rozamiento entre ellos no es suficiente para evitar el deslizamiento. por lo que se experimenta una variación de la convergencia, evitando que se alcance un nivel de carga tal que la resistencia admisible sea superada.

ARCO CEDENTE TIPO TOUSSAINT

MUY EMPLEADOS EN MINERÍA

CUADROS RÍGIDOS

Adecuadas para terrenos con escasa tendencia a la expansión y bajas cargas, debiendo evitar la caída de bloques. Disponibles en secciones I, U ó H. En función de la sección, se dispondrán dos o más segmentos.

Los anillos rígidos son adecuados en túneles que soporten grandes tensiones periféricas, y se fabrican a partir tres o más segmentos de vigas I ó H unidos por pernos.

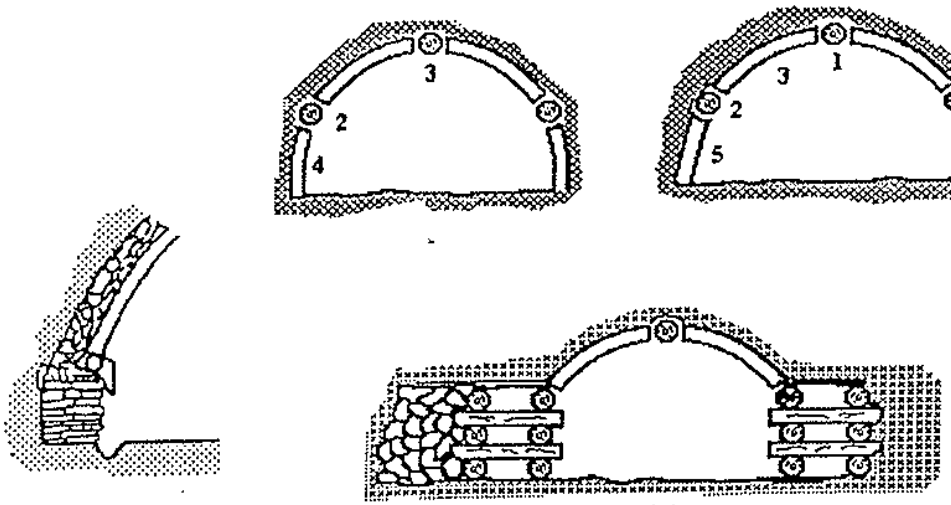
Arco rígido para falso túnel, asociado a Chapa Bernold

NO SE ADMITEN VARIACIONES EN LA SECCIÓN (VARIACIONES DE CONVERGENCIA)

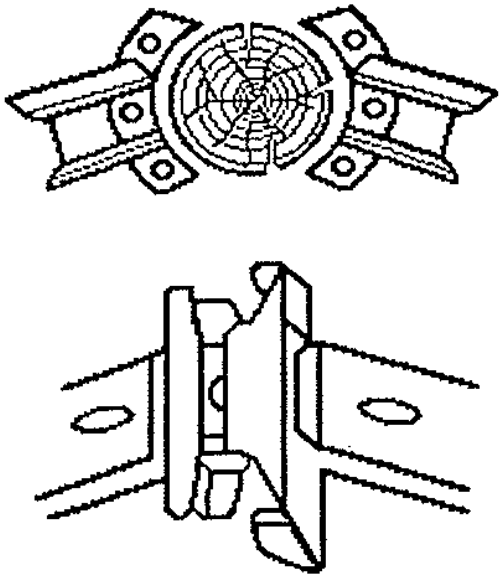
MATERIALES PARA EL SOSTENIMIENTO

CUADROS METÁLICOS

CUADROS ARTICULADOS



ARCOS MOLL DE TRES ARTICULACIONES



ARTICULACIONES METALICAS

MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DEL SOSTENIMIENTO

MÉTODOS ANALÍTICOS Basados en la teoría de la Elasticidad, que supone un comportamiento elástico del túnel hasta alcanzar una presión crítica, a partir de la que el comportamiento es plástico. Corresponden a esta categoría el "método de las líneas características" o la "formulación elástica".

MÉTODOS EMPÍRICOS A emplear en los primeros compases de un proyecto, o como complemento a otros métodos. Se basan en las clasificaciones geomecánicas (R.M.R., Q de Barton).

MÉTODOS NUMÉRICOS Basados en la discretización del macizo rocoso (continuo)en elementos sobre los que se aplicará la ley de la Elasticidad. Ejemplos: métodos de elementos finitos, diferencias finitas, de los elementos de contorno, ...

MÉTODOS OBSERVACIONALES Basados en la medida de tensiones y deformaciones en la fase de excavación de un túnel, estimando el sostenimiento en base a métodos numéricos o analíticos. También aplicable la extrapolación de galerías con geometrías y macizos similares.

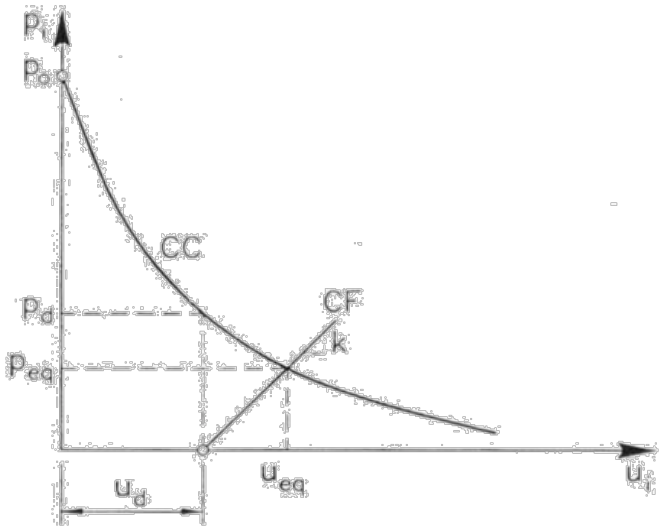
MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DEL SOSTENIMIENTO

MÉTODOS ANALÍTICOS: MÉTODO DE LAS CURVAS CARACTERÍSTICAS

Estudia el comportamiento de tensión y deformaciones de la superficie excavada y del sostenimiento dispuesto.

CURVA CARACTERÍSTICA DEL TERRENO

Representación gráfica de la relación entre la presión radial en el perímetro de la excavación y el desplazamiento radial del mismo al estabilizarse la excavación. La convergencia total será el doble del desplazamiento radial.



CURVA CARACTERÍSTICA DEL SOSTENIMIENTO

Depende de la rigidez de los elementos empleados (cuadros, bulones, hormigón,). Suele adoptarse el criterio comportamiento elástico del sostenimiento, (la curva suele representarse como una línea recta).

PUNTO DE EQUILIBRIO

Intersección de ambas curvas. Puede definirse el factor de seguridad como el cociente entre la tensión máxima asumible por el sostenimiento y el punto de equilibrio.

MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DEL SOSTENIMIENTO

MÉTODOS ANALÍTICOS: MÉTODO DE LAS CURVAS CARACTERÍSTICAS

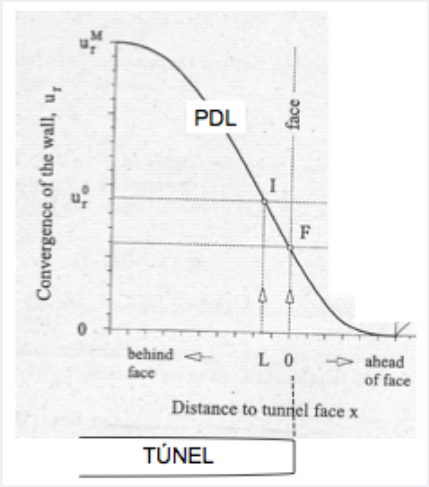
Estudia el comportamiento de tensión y deformaciones de la superficie excavada y del sostenimiento dispuesto.

CURVA CARACTERÍSTICA DEL TERRENO

Para el desarrollo del método de convergencia-confinamiento, nos basamos en el estudio de la carga-deformación amparado en 3 puntos:

I- Perfil de Deformación Longitudinal (PDL).
II- Curva Característica del Terreno (CCT).
III- Curva Característica del Sostenimiento (CCS).

- ***PDL:*** Representación gráfica del desplazamiento radial a lo largo del eje de la galería.

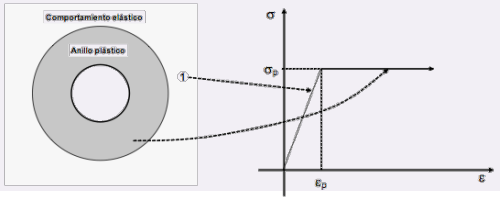


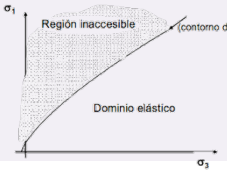
- ***CCT:*** Representación gráfica del comportamiento tensodeformacional en base a las características del terreno.

Criterio de rotura de Hoek y Brown:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci}\left(m_i \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + s\right)^a$$

$$m_b = m_i \exp\left[\frac{GSI-100}{28-14D}\right] \qquad s = \exp\left[\frac{GSI-100}{9-3D}\right] \qquad a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6}\left(e^{-GSI/15} - e^{-20/3}\right)$$





Criterio de rotura: indica combinación de tensiones que produce ***plastificación del terreno***.

MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DEL SOSTENIMIENTO

MÉTODOS ANALÍTICOS: MÉTODO DE LAS CURVAS CARACTERÍSTICAS

Estudia el comportamiento de tensión y deformaciones de la superficie excavada y del sostenimiento dispuesto.

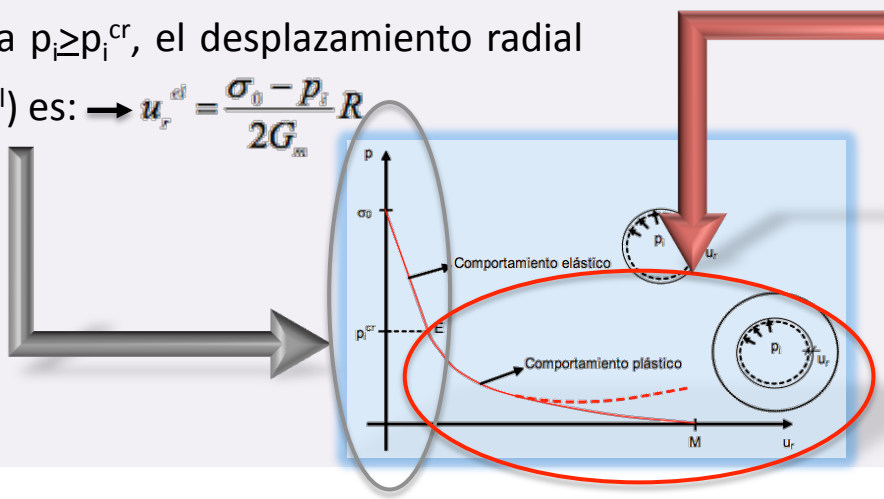
CURVA CARACTERÍSTICA DEL TERRENO

Deformabilidad del macizo rocoso:

- ***PARTE ELÁSTICA:*** Módulo de de elasticidad del macizo rocoso y su módulo de corte del macizo.

$$E_m\,(GPa) = 0.1\sqrt{\sigma_c\,(MPa)}\cdot 10^{\frac{GSI-10}{40}} \Rightarrow G_m = \frac{E_m}{2(1+\nu)}$$

Para $p_i \geq p_i^{cr}$, el desplazamiento radial (u_r^{el}) es: $\rightarrow u_r^{el} = \frac{\sigma_0 - p_i}{2G_m} R$



- ***PARTE PLÁSTICA:*** Determinar la deformabilidad volumétrica (ley de flujo plástica) → Dilatancia (y) ángulo que define la tendencia a variar su volumen por deformaciones cortantes.

$$K_\psi = \frac{1+sen\psi}{1-sen\psi}$$

Para $p_i \leq p_i^{cr}$, el desplazamiento radial (u_r^{pl}) es:

$$\frac{u_r^{pl}}{R}\frac{2G_m}{\sigma_0 - p_i^{cr}} = \frac{K_\psi - 1}{K_\psi + 1} + \frac{2}{K_\psi + 1}\left(\frac{R_{pl}}{R}\right)^{(K_\psi+1)} + \frac{1-2\nu}{4(S_0 - P_i^{cr})}\left[\ln\left(\frac{R_{pl}}{R}\right)\right]^2 -$$

$$-\left[\frac{1-2\nu}{K_\psi - 1}\frac{\sqrt{P_i^{cr}}}{S_0 - P_i^{cr}} + \frac{1-\nu}{2}\frac{K_\psi - 1}{(K_\psi+1)^2}\frac{1}{S_0 - P_i^{cr}}\right]\left[(K_\psi+1)\ln\left(\frac{R_{pl}}{R}\right) - \left(\frac{R_{pl}}{R}\right)^{(K_\psi+1)} + 1\right]$$

El anillo plástico, defindo por el redio de plastificación (R_{pl}) es: $\rightarrow R_{pl} = R\,e^{\left[2\left(\sqrt{P_i^{cr}} - \sqrt{P_i}\right)\right]}$

MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DEL SOSTENIMIENTO

MÉTODOS ANALÍTICOS: MÉTODO DE LAS CURVAS CARACTERÍSTICAS

Estudia el comportamiento de tensión y deformaciones de la superficie excavada y del sostenimiento dispuesto.

CURVA CARACTERÍSTICA DEL SOSTENIMIENTO

La construcción de la curva característica del sostenimiento se obtiene mediante:

- ***RELACIÓN ELASTOPLÁSTICA:*** Entre la presión aplicada (p_s)y la convergencia resultante del terreno (u_r).
  - ***PARTE ELÁSTICA***.
  - ***PARTE PLÁSTICA:*** Es la curva obtenida cuando se alcanza la presión máxima.

$$p_s = K_s u_r$$ Presión máxima (p_s), y rigidez elástica (K_s).

Anillos de hormigón:

$$p_s^{max} = \frac{\sigma_{cc}}{2}\left[1-\frac{(R-t_c)^2}{R^2}\right] \qquad K_s = \frac{E_c}{(1-\nu_c)R}\frac{R^2-(R-t_c)^2}{(1-2\nu_c)R^2+(R-t_c)^2}$$

σ_{cc}: resistencia a compresión simple del hormigón (MPa).
t_c: espesor del anillo (m).
R: radio externo del sostenimiento (m). Coincide con el radio del túnel.
E_c: Módulo de Young del hormigón (MPa).
ν_c: coeficiente de Poisson del hormigón.

Bulones y cables:

$$p_s^{max} = \frac{T_{bf}}{s_c s_l} \qquad \frac{1}{K_s} = s_c s_l\left(\frac{4l}{\pi d_b^{\,2} E_s}+Q\right)$$

T_{bf}: carga de rotura obtenida a partir del ensayo de adherencia (MN).
s_c: espaciado existente entre dos bulones consecutivos de un mismo esquema circular (m).
s_l: espaciado longitudinal entre dos bulones (m).
d_b: diámetro del bulón o cable (m).
l: longitud total del bulón o cable (m).
Q: constante de la carga deformación para el anclaje y la cabeza (m/MN).
E_s: módulo de Young para el bulón o el cable (MPa).

Marcos de entibación:

$$p_s^{max} = \frac{3}{2}\frac{\sigma_{fy}}{SR\theta}\frac{AI_y}{3I_y+DA_y\left[R-\left(t_y+0{,}5D\right)\right](1-\cos\theta)}$$

$$\frac{1}{K_s} = \frac{SR^2}{E_y A_y}+\frac{SR^3}{E_y I_y}\left[\frac{\theta(\theta+sen\theta\cos\theta)}{2sen^2\theta}-1\right]+\frac{2S\theta t_y R}{E_B B^2}$$

D: anchura de la sección de acero (m).
I_y: momento de inercia de la sección (m4).
σ_{fy}: límite elástico del acero (MPa).
S: espaciado de los marcos de acero en la dirección del eje del túnel (m).
θ: mitad del ángulo existente entre los puntos medios de dos tacos de madera consecutivos de la misma circunferencia (radianes).
t_y: espesor del bloque de madera (m).
R: radio del túnel (m).
A_y: superficie de la sección transversal en estudio (m2).
B: ancho del ala de acero y longitud lateral de los bloques (m).
E_B: módulo de Young del material de que estén construidos los tacos (madera, en este caso) (MPa).
E_y: módulo de Young del acero (MPa).

MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DEL SOSTENIMIENTO

MÉTODOS ANALÍTICOS: MÉTODO DE LAS CURVAS CARACTERÍSTICAS

Estudia el comportamiento de tensión y deformaciones de la superficie excavada y del sostenimiento dispuesto.

PUNTO DE EQUILIBRIO

Se va a excavar un **túnel de sección circular** y **1 m de radio** en un macizo del que se sabe que:

- La **presión vertical** a la profundidad del túnel se estima en **7,5 MPa**, con **k = 1**.
- La **roca matriz** es una **arenisca**, de **24 kN/m³** de peso específico y **20 MPa** de resistencia a **compresión simple**.
- El macizo rocoso tiene un **GSI = 40** y se puede suponer que su **coeficiente de Poisson** es **0,25** y su **ángulo de dilatancia 30º**.

Calcular las **convergencias**, la **carga que debe soportar**, el **radio de plastificación** y el **factor de seguridad ante la rotura del sostenimiento**, cuando éste se coloca a una distancia de **1m del frente**, y

cuando el sostenimiento está **formado por**:

a) **Hormigón convencional** B-350, de 75 mm de espesor
b) **Cerchas de acero** ST 50-11 de σ_y= 150 MPa, de 127x76 mm (ancho de ala), separadas 1 m, con 10 bloques de madera por anillo de 75 mm de espesor y de módulo de elasticidad, E_b= 104 MPa.
c) **Bulones** sin lechada de cemento, de 19 mm de diámetro, 2 m de longitud, y colocados 10 bulones por anillo y a 0,5 m de separación en sentido longitudinal.

c) Bulones sin lechada de cemento, de 19 mm de diámetro, 2 m de longitud, y colocados 10 bulones por anillo y a 0,5 m de separación en sentido longitudinal

Valores de la carga de rotura T_{bf} y la constante de deformación Q para bulones de diferentes diámetros d_b y longitudes l

d_b (mm)	l (m)	T_{bf} (MN)	Q (m/MN)
16	1,83	0,058	0,241
19	1,83	0,089	0,024
22	3,00	0,196	0,042
25	1,83	0,254	0,143

⇒ T_{bf} = 0,089 MN
Q = 0,024 m/MN

Anillos de hormigón

Designación	σ_{cc} (MPa)	E_c (MPa)
Bn 150	14,7	25.500
Bn 250	24,5	29.400
Bn 350	34,3	33.300
Bn 450	44,1	36.300
Bn 550	53,9	38.200

⇒ σ_{cc} = 34,3 MPa
E_c = 33.300 MPa
v = 0,2

El coeficiente de Poisson puede tomarse igual a 0,2.

Marcos de entibación de acero

Sección	D (mm)	B (mm)	A_s (m^2)	I_s (m^4)	t (mm)	T (mm)
203x102	203	102	$3{,}23\times10^{-3}$	$22{,}94\times10^{-6}$	5,8	10,4
152x89	152	89	$2{,}18\times10^{-3}$	$8{,}81\times10^{-6}$	4,9	8,3
127x76	127	76	$1{,}70\times10^{-3}$	$4{,}76\times10^{-6}$	4,5	7,6
102x64	102	64	$1{,}23\times10^{-3}$	$2{,}18\times10^{-6}$	4,1	6,6
89x89	89	89	$2{,}94\times10^{-3}$	$3{,}07\times10^{-6}$	9,5	9,9
76x76	76	76	$1{,}63\times10^{-3}$	$1{,}59\times10^{-6}$	5,1	8,4

⇒ $A_s = 1{,}70.\ 10^{-3}$ m²
$I_s = 4{,}76.\ 10^{-6}$ m4
E_s = 210.000 MPa

Valores del módulo de Young, E_s, y del límite elástico, σ_{ys}, para diferentes tipos de acero

Designación	E_s (MPa)	σ_{ys} (MPa)
St-37-11	210.000	80 – 120
St-50-11	210.000	100 – 150
Gs 38	220.000	80 – 100

MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DEL SOSTENIMIENTO

MÉTODOS ANALÍTICOS: MÉTODO DE LAS CURVAS CARACTERÍSTICAS

Estudia el comportamiento de tensión y deformaciones de la superficie excavada y del sostenimiento dispuesto.

PUNTO DE EQUILIBRIO

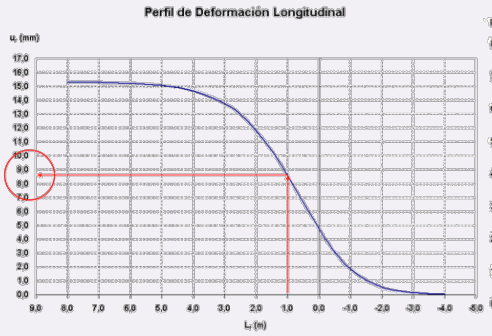
Se va a excavar un **túnel de sección circular** y **1 m de radio** en un macizo del que se sabe que:

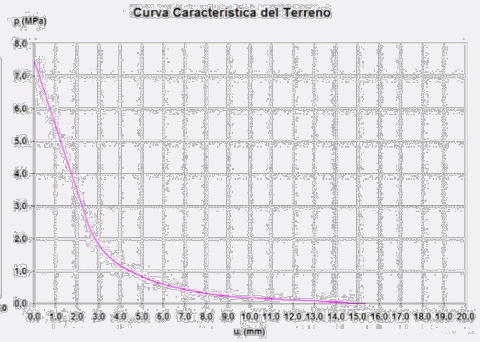
- La **presión vertical** a la profundidad del túnel se estima en **7,5 MPa**, con **k = 1**.
- La **roca matriz** es una **arenisca**, de **24 kN/m³** de peso específico y **20 MPa** de resistencia a **compresión simple**.
- El macizo rocoso tiene un **GSI = 40** y se puede suponer que su **coeficiente de Poisson** es **0,25** y su **ángulo de dilatancia 30º**.

Calcular las **convergencias**, la **carga que debe soportar**, el **radio de plastificación** y el **factor de seguridad ante la rotura del sostenimiento**, cuando éste se coloca a una distancia de **1m del frente**, y

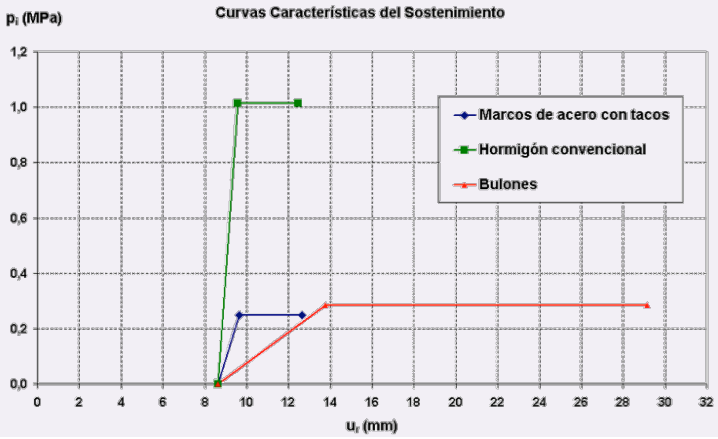
cuando el sostenimiento está **formado por**:

a) **Hormigón convencional** B-350, de 75 mm de espesor
b) **Cerchas de acero** ST 50-11 de σ_y= 150 MPa, de 127x76 mm (ancho de ala), separadas 1 m, con 10 bloques de madera por anillo de 75 mm de espesor y de módulo de elasticidad, E_b= 104 MPa.
c) **Bulones** sin lechada de cemento, de 19 mm de diámetro, 2 m de longitud, y colocados 10 bulones por anillo y a 0,5 m de separación en sentido longitudinal.





u_r^0=8,7 mm



MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DEL SOSTENIMIENTO

MÉTODOS ANALÍTICOS: MÉTODO DE LAS CURVAS CARACTERÍSTICAS

Estudia el comportamiento de tensión y deformaciones de la superficie excavada y del sostenimiento dispuesto.

PUNTO DE EQUILIBRIO

Se va a excavar un **túnel de sección circular** y **1 m de radio** en un macizo del que se sabe que:

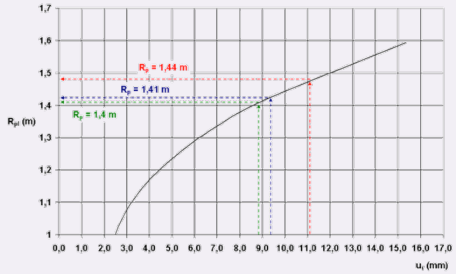
- La **presión vertical** a la profundidad del túnel se estima en **7,5 MPa**, con **k = 1**.
- La **roca matriz** es una **arenisca**, de **24 kN/m³** de peso específico y **20 MPa** de resistencia a **compresión simple**.
- El macizo rocoso tiene un **GSI = 40** y se puede suponer que su **coeficiente de Poisson** es **0,25** y su **ángulo de dilatancia 30º**.

Calcular las **convergencias**, la **carga que debe soportar**, el **radio de plastificación** y el **factor de seguridad ante la rotura del sostenimiento**, cuando éste se coloca a una distancia de **1m del frente**, y

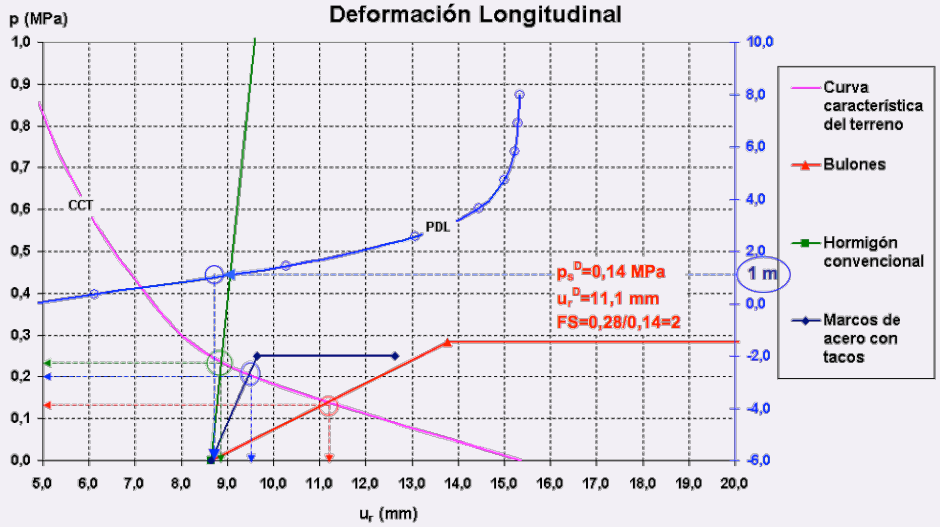
cuando el sostenimiento está **formado por**:

a) **Hormigón convencional** B-350, de 75 mm de espesor
b) **Cerchas de acero** ST 50-11 de σ_y= 150 MPa, de 127x76 mm (ancho de ala), separadas 1 m, con 10 bloques de madera por anillo de 75 mm de espesor y de módulo de elasticidad, E_b= 104 MPa.
c) **Bulones** sin lechada de cemento, de 19 mm de diámetro, 2 m de longitud, y colocados 10 bulones por anillo y a 0,5 m de separación en sentido longitudinal.

Radio de plastificación



Curvas Características del Terreno y del Sostenimiento y Perfil de Deformación Longitudinal



u_r^0=8,7 mm

MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DEL SOSTENIMIENTO

MÉTODOS EMPÍRICOS: SOSTENIMIENTOS EN BASE A ÍNDICES GEOMECÁNICOS

APLICACIÓN DEL MÉTODO RMR

Bieniawski propone un sostenimiento a aplicar en base al índice R.M.R.* Su método es actualizado y particularizado para los macizos españoles por Romana (http://www.danotario.com/manuales/excavaciones%20de%20tuneles.pdf), quien realiza una subdivisión en subclases de la clasificación de Bieniawski, incrementando la precisión en la definición del sostenimiento.

*La **clasificación geomecánica RMR**, también conocida como **clasificación geomecánica de Bieniawski**, fue presentada por Bieniawski en 1973 y modificada sucesivamente en 1976, 1979, 1984 y 1989. Permite hacer una clasificación de las rocas 'in situ' y estimar el tiempo de mantenimiento y longitud de un vano. Se utiliza usualmente en la construcción de túneles, de taludes y de cimentaciones. Consta de un índice de calidad RMR (Rock Mass Ratting), independiente de la estructura, y de un factor de corrección.

MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DEL SOSTENIMIENTO

MÉTODOS EMPÍRICOS: SOSTENIMIENTOS EN BASE A ÍNDICES GEOMECÁNICOS

APLICACIÓN DEL MÉTODO RMR: CARACTERIZACIÓN DEL MACIZO ROCOSO

PARÁMETROS DE CLASIFICACIÓN

1	Resistencia de la roca sana	Ensayo de carga puntual	> 100 kp/cm²	40-80 kp/cm²	20-40 kp/cm²	10-20 kp/cm²	Compresión simple (kp/cm²)		
		C. simple	> 2500 kp/cm²	1000-2500 kp/cm²	500-1000 kp/cm²	250-500 kp/cm²	50-250	10-50	< 10
	Valoración		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	< 25%		
	Valoración		20	17	13	8	3		
3	Separación entre diaclasas		> 2 m.	0,6 - 2 m.	0,2 - 0,6 m.	0,06 - 0,2 m.	< 0,06 m.		
	Valoración		20	15	10	8	5		
4	Estado de las diaclasas		Muy rugosas Discontinuas Sin separaciones Bordes sanos y duros	Ligeramente rugosas Abertura <1 mm. Bordes duros	Ligeramente rugosas Abertura < 1 mm Bordes blandos	Espejos de falla o con relleno <5 mm o abiertas 1-5 mm Diacl. continuas	Relleno blando >5 mm o abertura >5 mm Diacl. continua		
	Valoración		30	25	20	10	0		
5	Agua freatica	Caudal por 10 m de túnel	Nulo	< 10 litros/mín	10-25 litros/mín	25-125 litros/mín	> 125 litros/mín		
		Relación: Presión agua T. princ. mayor	0	0,0 - 0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,5	> 0,5		
		Estado general	Seco	Liq. húmedo	Húmedo	Goteando	Fluyendo		
	Valoración		15	10	7	4	0		

MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DEL SOSTENIMIENTO

MÉTODOS EMPÍRICOS: SOSTENIMIENTOS EN BASE A ÍNDICES GEOMECÁNICOS

APLICACIÓN DEL MÉTODO RMR: CARACTERIZACIÓN DEL MACIZO ROCOSO

CORRECCIÓN POR LA ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES

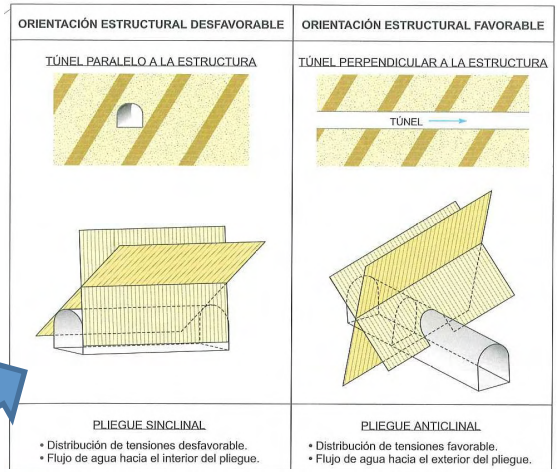
Dirección y Buzamiento		Muy favorables	Favorables	Medias	Desfavorables	Muy desfavorables
Valoración para	Túneles	0	- 2	- 5	-10	- 12
	Cimentaciones	0	- 2	- 7	- 15	- 25
	Taludes	0	- 5	- 25	- 50	- 60

ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES

Dirección Perpendicular al eje del túnel				Dirección paralela al eje del túnel		Buzamiento 0°-20° cualquier dirección
Excav. con buzamiento		Excav. contra buzamiento				
Buz. 45 - 90	Buz. 20 - 45	Buz. 45 - 90	Buz. 20 - 45	Buz. 45 - 90	Buz. 20 - 45	
Muy favorable	Favorable	Media	Desfavorable	Muy desfavorable	Media	Desfavorable

CARACTERÍSTICAS

Clase	I	II	III	IV	V
Tiempo de mantenimiento y long.	10 años con 5 m. de vano	6 meses con 8 m. de vano	1 semana con 5 m. de vano	10 horas con 2,5 m. de vano	30 mín. con 1 m. de vano
Cohesión	> 4 kp/cm²	3 - 4 kp/cm²	2 - 3 kp/cm²	1 - 2 kp/cm²	< 1 kp/cm²
Ángulo de rozamiento	> 45°	35° - 45°	25° - 35°	15° - 25°	15°



Influencia de la estructura geológica en la estabilidad de un túnel.

Influencia de las discontinuidades en la estabilidad de un túnel. Ejemplos de sobreexcavaciones producidas en un túnel de trasvase (González de Vallejo, 1981).

FUENTE: "INGENIERÍA GEOLÓGICA". González de Vallejo, L.I. , 2.002

MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DEL SOSTENIMIENTO

MÉTODOS EMPÍRICOS: SOSTENIMIENTOS EN BASE A ÍNDICES GEOMECÁNICOS

APLICACIÓN DEL MÉTODO RMR: RECOMENDACIONES DE EXCAVACIÓN Y SOSTENIMIENTO

CLASE	RMR	EXCAVACIÓN (PASE)	SOSTENIMIENTO		
			BULONES (Longitud en m)	HORMIGÓN PROYECTADO	CERCHAS METÁLICAS
I Muy buena	81-100	Sección completa (3 m)	Ocasionalmente	No necesario	No necesarias
II Buena	61-80	Sección completa (1-1.5 m). Sostenimiento terminado a 20 m del avance	Localmente en clave. L = 3 m. Espaciados a 2.5 m con mallazo ocasional	50 mm en clave donde sea necesario	No necesarias
III Media	41-60	Avance y destroza (1.5-3 m en avance) Sostenimiento empezado en el frente y terminado a 10 m del frente	Sistemáticamente en clave y hastial. L = 4 m. Espaciados 1.5 a 2.0 m. Mallazo en clave.	50-100 mm en clave. 30 mm en hastiales.	No necesarias
IV Mala	21-40	Avance y destroza (1.0-1.5 m en avance) Sostenimiento empezado simultáneamente con la excavación y hasta 10 m del frente	Sistemáticamente en clave y hastiales. L = 4 a 5 m. Espaciados a 1.0-1.5 m. Con mallazo.	100-150 mm en clave. 100 mm en hastiales.	Ligeras a medias, espaciadas a 1.5 m donde sea necesario
V Muy mala	1-20	Galerías múltiples. (0.5-1.5 en avance) Sostenimiento simultáneo con la excavación. Hormigón proyectado inmediatamente después de la voladura.	Sistemáticamente en clave y hastiales. L = 5-6 m. Espaciados a 1.0-1.5 m. Con mallazo. Bulonar la contrabóveda.	150-200 mm en clave. 150 mm en hastiales. 50 mm en el frente.	Medias a pesadas, espaciadas a 0.75 m, con forro y longarinas donde sea necesario. Contrabóveda

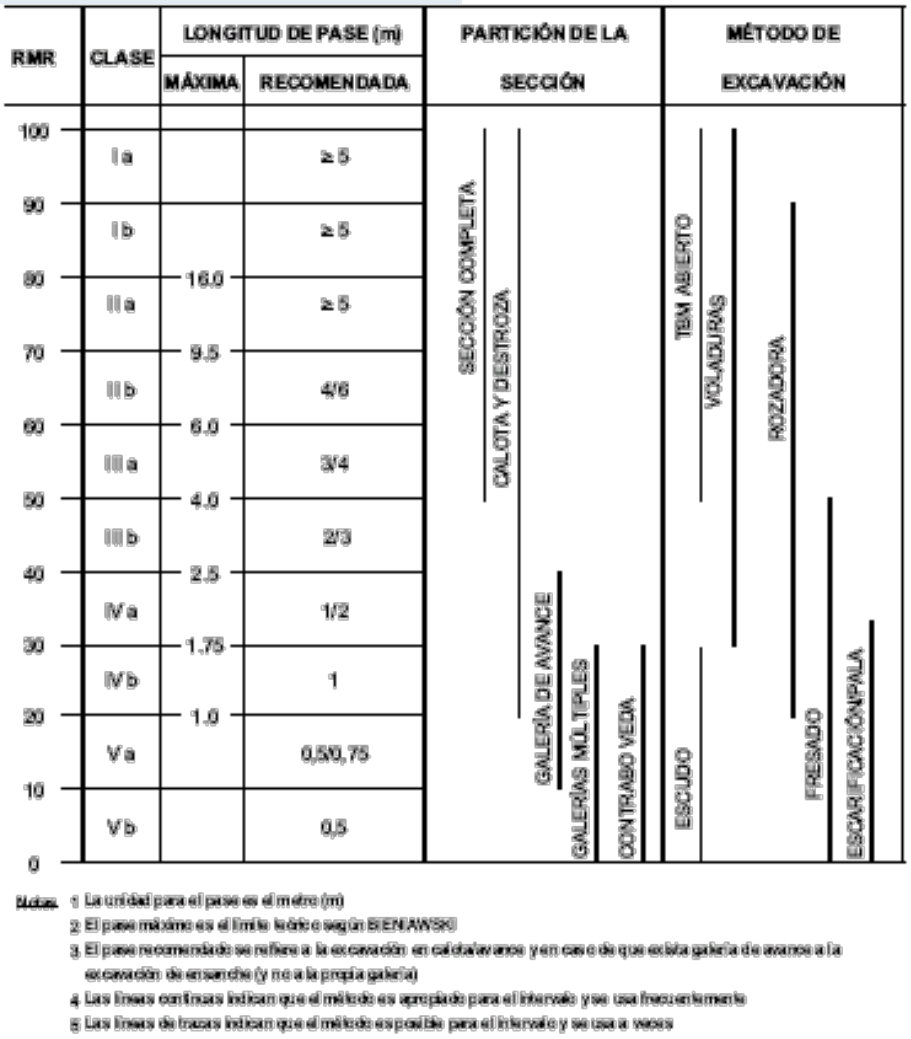
Notas (de BIENIAWSKI): Sección del túnel en herradura. Ancho 10 m. Tensión vertical < 25 MPa. Excavado por voladuras.

MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DEL SOSTENIMIENTO

MÉTODOS EMPÍRICOS: SOSTENIMIENTOS EN BASE A ÍNDICES GEOMECÁNICOS

SUBDIVISIÓN DEL RMR Y RECOMENDACIONES PARA LA EXCAVACIÓN (ROMANA)

RMR	MODIFICADO		BIENIAWSKI ORIGINAL	
	CLASE	DENOMINACIÓN	DENOMINACIÓN	CLASE
100	Ia	EXCELENTE	MUY BUENA	I
90	Ib	MUY BUENA		
80	II a	BUENA A MUY BUENA	BUENA	II
70	II b	BUENA A MEDIA		
60	III a	MEDIA A BUENA	MEDIA	III
50	III b	MEDIA A MALA		
40	IV a	MALA A MEDIA	MALA	IV
30	IV b	MALA A MUY MALA		
20	V a	MUY MALA	MUY MALA	V
10	V b	PÉSIMA		



Notas:
1. La unidad para el pase es el metro (m)
2. El pase máximo es el límite teórico según BIENIAWSKI
3. El pase recomendado se refiere a la excavación en calotas/avance y en caso de que exista galería de avance a la excavación de ensanche (y no a la propia galería)
4. Las líneas continuas indican que el método es apropiado para el intervalo y se usa frecuentemente
5. Las líneas de trazos indican que el método es posible para el intervalo y se usa a veces

MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DEL SOSTENIMIENTO

MÉTODOS EMPÍRICOS: SOSTENIMIENTOS EN BASE A ÍNDICES GEOMECÁNICOS

RECOMENDACIONES PARA EL SOSTENIMIENTO DE ROMANA

RMR	CLASE	BULONADO			HORMIGÓN PROYECTADO			ARMADURA		CERCHAS		MÉTODOS
		L (m)	b/m2	s (m)	e (cm)	CAPAS	SELLADO	MALLAZO	FIBRAS	TIPO	S (m)	ESPECIALES
100	Ia	–	–	–	–	–	–	SENCILLO				
90	Ib	2/3	0.10	Ocasional	2	Ocasional	No	OCASIONAL			No	
80	IIa	3	0.10/0.25	Ocasional	5	1	Ocasional				No	
70	IIb	3	0.25/0.44	2 x 2/1.5 x 1.5	6-10	1/2	Si				No	
60	IIIa	3/4	0.44/0.66	1.5 x 1.5/1 x 1.5	8-15	2/3	Si			TH-21	Ocasional	
50	IIIb	4	0.66/1	1 x 1.5/1 x 1	12-20	2/3	Si	SENCILLO	FIBRAS		1.5	
40	IVa	4/4.5	0.80/1	1 x 1.25/1 x 1	16-24	3	Si	OCASIONAL		TH 29	1	
30	IVb	4.5/5	1	1 x 1	20-30	3	Si				0.75/1	BERNOLD
20	Va	–	–	–	30-40	3/4	Si	DOBLE		HEB	0.5/0.75	PARAGUAS
10	Vb	SISTEMAS ESPECIALES										
0												

Notas: 1. Las unidades para el bulonado son: L, longitud en metros (m); densidad en bulones por m2 (b/m2) y s, espaciamiento en metros (m)
2. La unidad para e, espesor mínimo de hormigón proyectado, es el centímetro (cm). No se ha tenido en cuenta la sobreexcavación.
3. El número de capas de hormigón proyectado incluye la capa de sellado
4. La unidad para S, separación entre cerchas, es el metro (m).
5. Las líneas continuas indican que el método es apropiado para el intervalo y se usa frecuentemente
6. Las líneas indican que el método es posible para el intervalo y se usa a veces.

http://www.danotario.com/manuales/excavaciones%20de%20tuneles.pdf

VÁLIDO PARA TÚNELES DE 10-14 m DE ANCHO

MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DEL SOSTENIMIENTO

MÉTODOS EMPÍRICOS: SOSTENIMIENTOS EN BASE A ÍNDICES GEOMECÁNICOS

RECOMENDACIONES PARA EL SOSTENIMIENTO DE ROMANA

CLASIFICACIÓN		EXCAVACIÓN		TRATAMIENTO DEL TALUD FRONTAL				
				BULONES			HORMIGÓN	
RMR	CLASE	PARTICIÓN DE EMBOQUILLE	PARAGUAS	L (m)	b/m²	s (m)	PROYECTADO e (cm)	RED /MALLA
100	I a	SECCIÓN COMPLETA	Opcional	No	No	No	No	Opcional
90	I b		Opcional	3 / 4	<0.10	Ocasional	No	Si
80	II a	CALOTA Y DESTROZA	Ligero	3 / 4	0.11	3 x 3	No	Si
70	II b		Ligero o medio	3 / 4	0.25	2 x 2	Ocasional	Si
60	III a	GALERÍA CENTRAL	Medio	4	0.44	1.5 x 1.5	Ocasional	Si
50	III b		Medio	4/5	0.70	1.2 x 1.2	Ocasional	Si
40	IV a	GALERÍAS MÚLTIPLES	Medio	5/6	1.00	1 x 1	0.10-0.15	No
30	IV b		Pesado	6	1.50	0.8 x 0.8	0.15-0.20	Mallazo opcional
20	V a	CONTRABÓVEDA	Pesado	No	No	No	0.20-0.25	Mallazo simple o doble
El 110								
0	V b		Pesado	No	No	No	0.25-0.30	Mallazo doble

El tipo de paraguas se discute en el texto .Las unidades para el bulonado son: **l**, longitud en metros (m); densidad de bulones por m^2 (b/m^2) y **s**, espaciamiento en metros (m). La unidad para el espesor de hormigón proyectado, **e**, es el centímetro (cm). El tipo de red / malla se discute en el texto. Las líneas continuas indican que el método es apropiado para el intervalo y se usa frecuentemente. .Las líneas de trazas indican que el método es posible para el intervalo y se usa a veces.

http://www.danotario.com/manuales/excavaciones%20de%20tuneles.pdf

NOTA SOBRE EL EMBOQUILLE EMBOQUILLE: excavación en ladera con la máxima verticalidad posible, a fin de iniciar la perforación del propio túnel. Son la zona más complicada de un túnel/galería de acceso, dada la alteración de los macizos. Han de resolverse dos cuestiones: el tratamiento del talud frontal, y la construcción y sostenimiento de los primeros metros de la galería, hasta alcanzar el terreno sano.

MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DEL SOSTENIMIENTO

MÉTODOS EMPÍRICOS: SOSTENIMIENTOS EN BASE A ÍNDICES GEOMECÁNICOS

DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE Q DE BARTON

El índice Q se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \cdot \frac{J_r}{J_a} \cdot \frac{J_w}{SRF}$$

Siendo:

Clasificación de la calidad del macizo rocoso según el índice RQD

RQD %	Calidad
< 25	Muy mala
25-50	Mala
50-75	Media
75-90	Buena
90-100	Muy buena

FUENTE: "INGENIERÍA GEOLÓGICA". González de Vallejo, L.I. , 2.002

- **RQD**: el porcentaje de recuperación de testigos de más de 10 cm de longitud (en su eje) sin considerar las roturas frescas del proceso de perforación con respecto a la longitud total del sondeo. Este procedimiento fue desarrollado por Deere a mediados del siglo XX (1963 a 1967).
- **Jn:** parámetro para describir el número de familias de discontinuidad
- **Jr:** parámetro para describir la rugosidad de las juntas
- **Ja**: parámetro para describir la alteración de las juntas
- **Jw**: factor asociado al agua en juntas
- **SRF:** factor asociado al estado tensional (zonas de corte, fluencia, expansividad, tensiones "in situ")

MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DEL SOSTENIMIENTO

MÉTODOS EMPÍRICOS: SOSTENIMIENTOS EN BASE A ÍNDICES GEOMECÁNICOS

DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE Q DE BARTON

Los inversos de los cocientes aportan un sentido físico a la fórmula:

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \cdot \frac{J_r}{J_a} \cdot \frac{J_w}{SRF}$$

- **Jn/RQD:** representa el tamaño del bloque medio.
- **Ja/Jr**: reúne términos de rugosidad, fricción y relleno de las juntas y representa la resistencia al corte entre bloques.
- **SRF/Jw:** combina condiciones de agua y tensión y, por tanto, puede representar una tensión activa o eficaz.

***NOTA:** Si bien en el índice Q no se menciona explícitamente la orientación de las juntas, señalan sus autores que los valores de Jr y Ja se han de referir a la familia de juntas que con más probabilidad puedan permitir el inicio de la rotura.

MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DEL SOSTENIMIENTO

MÉTODOS EMPÍRICOS: SOSTENIMIENTOS EN BASE A ÍNDICES GEOMECÁNICOS

DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE Q DE BARTON

Valores de los parámetros característicos del índice *Q*

1. Calidad del testigo RQD		**RQD (%)**
A	Muy mala	0-25
B	Mala	25-50
C	Media	50-75
D	Buena	75-90
E	Excelente	90-100

Notas:
i) Cuando se obtienen valores del RQD inferiores o iguales a 10, se toma un valor de 10 para calcular el índice *Q*.
ii) Los intervalos de 5 unidades para el RQD, es decir, 100, 95, 90, etc., tienen suficiente precisión.

2. Índice de diaclasado		**J_n**
A	Roca masiva, sin diaclasar o con fisuración escasa	0,5-1,0
B	Una familia de diaclasas	2
C	Una familia y algunas diaclasas aleatorias	3
D	Dos familias de diaclasas	4
E	Dos familias y algunas diaclasas aleatorias	6
F	Tres familias de diaclasas	9
G	Tres familias y algunas diaclasas aleatorias	12
H	Cuatro o más familias, diaclasas aleatorias, roca muy fracturada, roca en terrones, etc.	15
J	Roca triturada, terrosa	20

Notas:
i) En intersecciones de túneles se utiliza la expresión ($3J_n$)
ii) En las bocas de los túneles se utiliza la expresión ($2J_n$)

FUENTE: "INGENIERÍA GEOLÓGICA". González de Vallejo, L.I. , 2.002

MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DEL SOSTENIMIENTO

MÉTODOS EMPÍRICOS: SOSTENIMIENTOS EN BASE A ÍNDICES GEOMECÁNICOS

DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE Q DE BARTON

3. Índice de rugosidad de las discontinuidades		J_r
a) Contacto entre las dos caras de la discontinuidad. b) Contacto entre las dos caras de la discontinuidad ante un desplazamiento cortante inferior a 10 cm.		
A	Diaclasas discontinuas	4
B	Diaclasas onduladas, rugosas o irregulares	3
C	Diaclasas onduladas, lisas	2
D	Diaclasas onduladas, perfectamente lisas	1,5
E	Diaclasas planas, rugosas o irregulares	1,5
F	Diaclasas planas, lisas	1,0
G	Diaclasas planas, perfectamente lisas	0,5
Nota: i) Las descripciones se refieren a caracterizaciones a pequeña escala y escala intermedia, por este orden.		
c) No existe contacto entre las caras de la discontinuidad ante un desplazamiento cortante.		
H	Zona que contiene minerales arcillosos con un espesor suficiente para impedir el contacto de las caras de la discontinuidad	1,0
J	Zona arenosa, de gravas o triturada con un espesor suficiente para impedir el contacto entre las dos caras de la discontinuidad	1,0
Notas: i) Si el espaciado de la principal familia de discontinuidades es superior a 3 m, se debe aumentar el índice J_r en una unidad. ii) En el caso de diaclasas planas perfectamente lisas que presenten lineaciones, y que dichas lineaciones estén orientadas según la dirección de mínima resistencia, se puede utilizar el valor $J_r = 0,5$.		

(Barton, 2000).

FUENTE: "INGENIERÍA GEOLÓGICA". González de Vallejo, L.I. , 2.002

MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DEL SOSTENIMIENTO

MÉTODOS EMPÍRICOS: SOSTENIMIENTOS EN BASE A ÍNDICES GEOMECÁNICOS

DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE Q DE BARTON

Valores de los parámetros característicos del índice Q (*continuación*)

4. Índice de alteración de las discontinuidades		ϕ_r	J_a
a) Contacto entre los planos de la discontinuidad (sin minerales de relleno intermedios)			
A	Discontinuidad cerrada, dura, sin reblandecimientos, impermeable, cuarzo	—	0,75
B	Planos de discontinuidad inalterados, superficies ligeramente manchadas	25º-35º	1,0
C	Planos de discontinuidades ligeramente alterados. Presentan minerales no reblandecibles, partículas arenosas, roca desintegrada libre de arcillas, etc.	25º-30º	2,0
D	Recubrimientos de arcillas limosas o arenosas. Fracción pequeña de arcilla (no blanda)	20º-25º	3,0
E	Recubrimientos de arcillas blandas o de baja fricción, es decir, caolinita o mica. También clorita, talco, yeso, grafito, etc., y pequeñas cantidades de arcillas expansivas	8º-16º	4,0
b) Contacto entre los planos de la discontinuidad ante un desplazamiento cortante inferior a 10 cm (minerales de relleno en pequeños espesores)			
F	Partículas arenosas, roca desintegrada libre de arcilla, etc.	25º-30º	4,0
G	Fuertemente sobreconsolidados, con rellenos de minerales arcillosos no blandos (continuos, pero con espesores inferiores a 5 mm)	16º-24º	6,0
H	Sobreconsolidación media a baja, con reblandecimiento, rellenos de minerales arcillosos (continuos, pero de espesores inferiores a 5mm)	12º-16º	8,0
J	Rellenos de arcillas expansivas, es decir, montmorillonita (continuos, pero con espesores inferiores a 5 mm). El valor de J_a depende del porcentaje de partículas con tamaños similares a los de las arcillas expansivas	6º-12º	8-12
c) No se produce contacto entre los planos de la discontinuidad ante un desplazamiento cortante (rellenos de mineral de gran espesor)			
K L M	Zonas o bandas de roca desintegrada o triturada y arcillas (ver G, H, y J para la descripción de las condiciones de las arcillas)	6º-24º	6,8 ó 8-12
N	Zonas o bandas de arcillas limosas o arenosas, con pequeñas fracciones de arcillas no reblandecibles	—	5,0
O P R	Zonas o bandas continuas de arcilla, de espesor grueso (ver clases G, H y J, para la descripción de las condiciones de las arcillas)	6º-24º	10, 13 ó 13-20

Nota: los valores expresados para los parámetros J_r y J_a se aplican a las familias de diaclasas o discontinuidades que son menos favorables con relación a la estabilidad, tanto por la orientación de las mismas como por su resistencia al corte (esta resistencia puede evaluarse mediante la expresión: $T \approx \sigma_n \operatorname{tg}^{-1}(J_r/J_a)$

FUENTE: "INGENIERÍA GEOLÓGICA". González de Vallejo, L.I. , 2.002

MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DEL SOSTENIMIENTO

MÉTODOS EMPÍRICOS: SOSTENIMIENTOS EN BASE A ÍNDICES GEOMECÁNICOS

DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE Q DE BARTON

5. Factor de reducción por la presencia de agua		Presión de agua (kg/cm^2)	J_w
A	Excavaciones secas o pequeñas afluencias, inferiores a 5 l/min, de forma localizada	< 1	1,0
B	Afluencia a presión media, con lavado ocasional de los rellenos de las discontinuidades	1-2,5	0,66
C	Afluencia importante o presión alta en rocas competentes con discontinuidades sin relleno	2,5-10	0,5
D	Afluencia importante o presión alta, produciéndose un lavado considerable de los rellenos de las diaclasas	2,5-10	0,33
E	Afluencia excepcionalmente alta o presión elevada en el momento de realizar las voladuras, decreciendo con el tiempo	> 10	0,2-0,1
F	Afluencia excepcionalmente alta, o presión elevada de carácter persistente, sin disminución apreciable	> 10	0,1-0,05

Notas:
i) Los valores de las clases C, D, E y F son meramente estimativos. Si se acometen medidas de drenaje, puede incrementarse el valor J_w.
ii) No se han considerado los problemas especiales derivados de la formación de hielo.

(Barton, 2000).

FUENTE: "INGENIERÍA GEOLÓGICA". González de Vallejo, L.I. , 2.002

MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DEL SOSTENIMIENTO

MÉTODOS EMPÍRICOS: SOSTENIMIENTOS EN BASE A ÍNDICES GEOMECÁNICOS

DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE Q DE BARTON

Valores de los parámetros característicos del índice *Q* (*continuación*)

6. Condiciones tensionales de la roca		**SRF**
a)	Las zonas débiles intersectan a la excavación, pudiendo producirse desprendimientos de roca a medida que la excavación del túnel va avanzando	
A	Múltiples zonas débiles, conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente, roca de contorno muy suelta (a cualquier profundidad)	10
B	Zonas débiles aisladas, conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de la excavación $\leqslant$ 50 m)	5
C	Zonas débiles aisladas, conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de la excavación $>$ 50 m)	2,5
D	Múltiples zonas de fracturas en roca competente (libres de arcillas), roca de contorno suelta (a cualquier profundidad)	7,5
E	Zonas de fractura aisladas en roca competente (libre de arcillas) (profundidad de excavación $\leqslant$ 50 m)	5,0
F	Zonas de fractura aisladas en roca competente (libre de arcillas) (profundidad de la excavación $>$ 50 m)	2,5
G	Terreno suelto, diaclasas abiertas, fuertemente fracturado, en terrones, etc. (a cualquier profundidad)	5,0

Nota:
i) Se reducen los valores expresados del SRF entre un 20-50 % si las zonas de fracturas sólo ejercen cierta influencia pero no intersectan a la excavación.

MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DEL SOSTENIMIENTO

MÉTODOS EMPÍRICOS: SOSTENIMIENTOS EN BASE A ÍNDICES GEOMECÁNICOS

DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE Q DE BARTON

b) Rocas competentes, problemas tensionales en las rocas		σ_c/σ_1	σ_θ/σ_c	SRF
H	Tensiones pequeñas cerca de la superficie, diaclasas abiertas	> 200	< 0,01	2,5
J	Tensiones medias, condiciones tensionales favorables	200-10	0,01-0.3	1
K	Tensiones elevadas, estructura muy compacta. Normalmente favorable para la estabilidad, puede ser desfavorable para la estabilidad de los hastiales	10-5	0,3-0,4	0,5-2
L	Lajamiento moderado de la roca después de 1 hora en rocas masivas	5-3	0,5-0,65	5-50
M	Lajamiento y estallido de la roca después de algunos minutos en rocas masivas	3-2	0,65-1	50-200
N	Estallidos violentos de la roca (deformación explosiva) y deformaciones dinámicas inmediatas en rocas masivas	< 2	> 1	200-400

Notas:

i) Si se comprueba la existencia de campos tensionales fuertemente anisotrópicos: cuando $5 \leqslant \sigma_1/\sigma_3 \leqslant 10$, se disminuye el parámetro σ_c hasta $0{,}75\sigma_c$; si $\sigma_1/\sigma_3 > 10$, se tomará el valor $0{,}5\sigma_c$. σ_c es resistencia a compresión simple, σ_1 y σ_3 son las tensiones principales mayor y menor y σ_θ es la tensión tangencial máxima, estimada a partir de la teoría de la elasticidad).

ii) En los casos en que la profundidad de la clave del túnel es menor que la anchura de la excavación, se sugiere aumentar el valor del factor SRF entre 2,5 y 5 unidades (véase clase H).

FUENTE: "INGENIERÍA GEOLÓGICA". González de Vallejo, L.I. , 2.002

MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DEL SOSTENIMIENTO

MÉTODOS EMPÍRICOS: SOSTENIMIENTOS EN BASE A ÍNDICES GEOMECÁNICOS

DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE Q DE BARTON

c)	Rocas deformables: flujo plástico de roca incompetente sometida a altas presiones litostáticas	σ_θ/σ_c	SRF
O	Presión de deformación baja	1-5	5-10
P	Presión de deformación alta	> 5	10-20

Nota:
i) Los fenómenos de deformación o fluencia de rocas suelen ocurrir a profundidades: $H > 350\ Q^{1/3}$ (Singh *et al.*, 1992). La resistencia a compresión de macizo rocoso puede estimarse mediante la expresión: $q(MPa) \approx 7 \cdot \gamma \cdot Q^{1/3}$, donde γ es la densidad de la roca en g/cm^3 (Singh, 1993).

d)	Rocas expansivas: actividad expansiva química dependiendo de la presencia de agua.	SRF
R	Presión de expansión baja	5-10
S	Presión de expansión alta	10-15

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \cdot \frac{J_r}{J_a} \cdot \frac{J_w}{SRF}$$

(Barton, 2000).

FUENTE: "INGENIERÍA GEOLÓGICA". González de Vallejo, L.I. , 2.002

MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DEL SOSTENIMIENTO

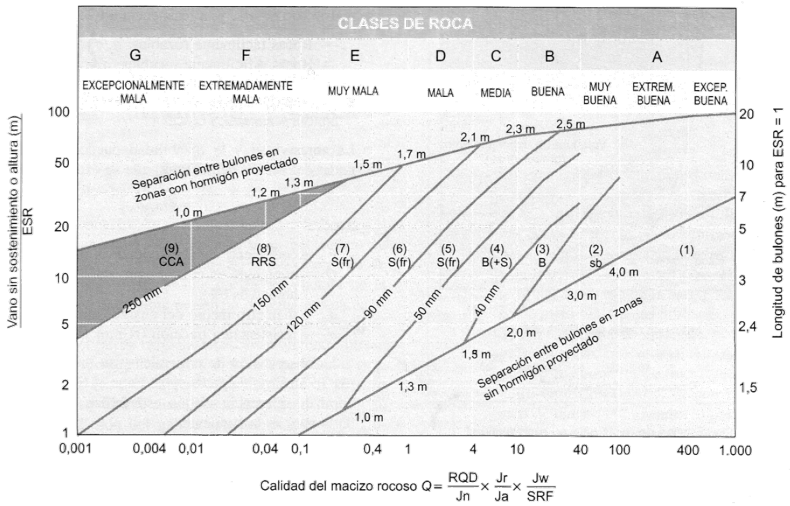
MÉTODOS EMPÍRICOS: SOSTENIMIENTOS EN BASE A ÍNDICES GEOMECÁNICOS

DETERMINACIÓN DEL SOSTENIMIENTO EN BASE AL ÍNDICE Q DE BARTON

Tras conocer el índice Q de Barton, aplicando el parámetro E.S.R. (Excavation Support Ratio), se define el diámetro equivalente:

	Tipo de excavación	ESR
A	Labores mineras de carácter temporal, etc.	2-5
B	Galerías mineras permanentes, túneles de centrales hidroeléctricas (excluyendo las galerías de alta presión), túneles piloto, galerías de avance en grandes excavaciones, cámaras de compensación hidroeléctrica.	1,6-2,0
C	Cavernas de almacenamiento, plantas de tratamiento de aguas, túneles de carreteras secundarias y de ferrocarril, túneles de acceso.	1,2-1,3
D	Centrales eléctricas subterráneas, túneles de carreteras primarias y de ferrocarril, refugios subterráneos para defensa civil, emboquilles e intersecciones de túneles.	0,9-1,1
E	Centrales nucleares subterráneas, estaciones de ferrocarril, instalaciones públicas y deportivas, fábricas, túneles para tuberías principales de gas.	0,5-0,8

$$D_e = \frac{B}{ESR}$$



CATEGORÍAS DE SOSTENIMIENTO

1. Sin sostenimiento.
2. Bulonado puntual, sb.
3. Bulonado sistemático, B.
4. Bulonado sistemático con hormigón proyectado, 40–100 mm, B+S.
5. Hormigón proyectado con fibras, 50–90 mm y bulonado S(fr)+B.
6. Hormigón proyectado con fibras, 90–120 mm y bulonado, S(fr)+B.
7. Hormigón proyectado con fibras, 120–150 mm y bulonado, S(fr)+B.
8. Hormigón proyectado con fibras, >150 mm con bulonado y arcos armados reforzados con hormigón proyectado, S(fr)+RRS+B.
9. Revestimiento de hormigón, CCA.

B representa el diámetro, la anchura o la altura del túnel (m). Si se desea estimar el sostenimiento en el techo del túnel, se utiliza la anchura o el diámetro, para os hastiales, la altura o el diámetro. Con Q y De, se entra en la tabla para determinar el sostenimiento

MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DEL SOSTENIMIENTO

MÉTODOS NUMÉRICOS

MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS

Modelización de un medio continuo por discretización en una malla. Introduciendo las cargas en los nodos de la malla y la matriz de rigidez, se podrán determinar los movimientos. Mediante la teoría de la elasticidad aplicada en cada elemento, se llega a la tensión en cualquier punto. Podrá calcularse en 2D o 3D (más complejo). La extensión de la zona mallada deberá ser de 2-3 veces el diámetro de excavación.

MÉTODO DE ELEMENTOS DISCRETOS

Modelización del terreno como medio discontinuo. Cada elemento representa un bloque libre, en contacto con otros en ciertos puntos en que puede sufrir mayores deformaciones que en el resto de la unidad. Se ajusta bien a macizos rocosos de gran fracturación y matriz de calidad. El parámetro de control es la resistencia al corte de las discontinuidades.

MÉTODO DE LAS DIRERENCIAS FINITAS

Planteamiento de las ecuaciones de la Elasticidad, sustituyendo las derivadas parciales por incrementos de X e Y (ecuación algebraica). Podrá optarse por la aplicación de métodos explícitos, que llegan a soluciones directas, e implícitos, que (requieren cálculos iterativos). Se llega a las mismas ecuaciones que las determinadas por el método de elementos finitos (suelen combinarse).

MÉTODO DE CONTORNO

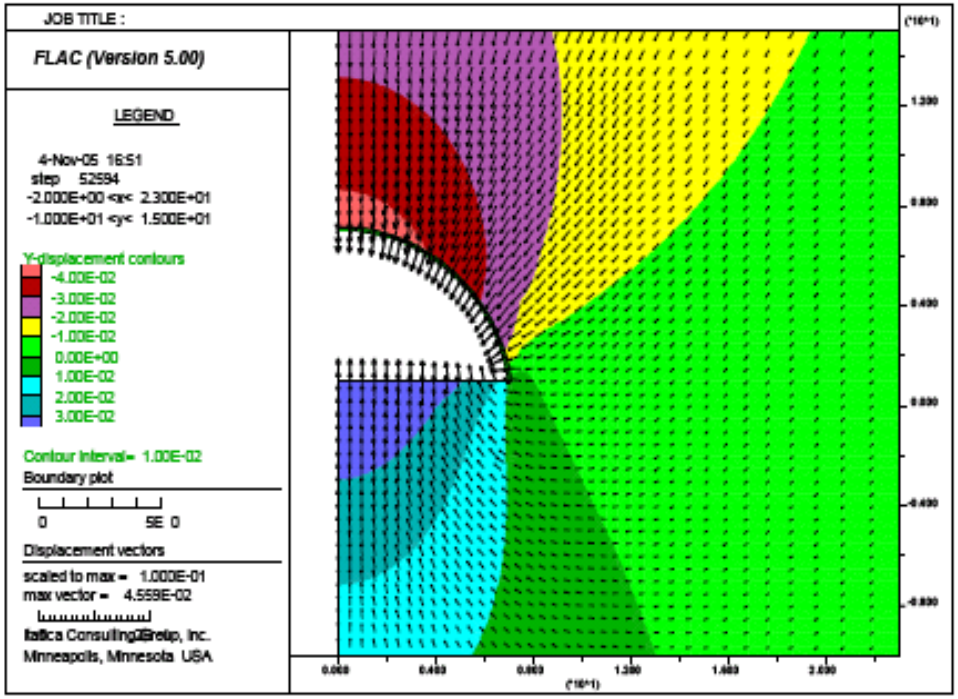
El material interior se considera continuo, mientras que los contornos condicionantes se dividen en elementos (excavaciones, juntas, contactos,…).

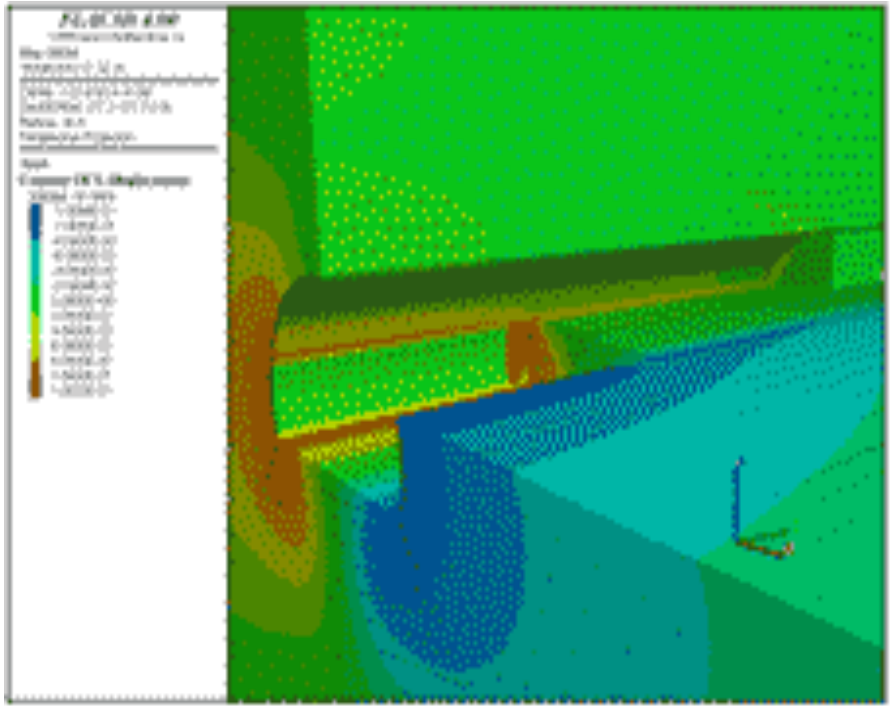
MÉTODO DE LAS ACCIONES HIPERESTÁTICAS

O “de los muelles”, se emplea para el modelado del sostenimiento barras y nodos con 3 grados de libertad, mientras que el terreno se consideran muelles coaccionados inferiormente, unidos al sostenimiento.

MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DEL SOSTENIMIENTO

MÉTODOS NUMÉRICOS





APLICACIÓN DE ELEMENTOS FINITOS (SOFTWARE FLAC)

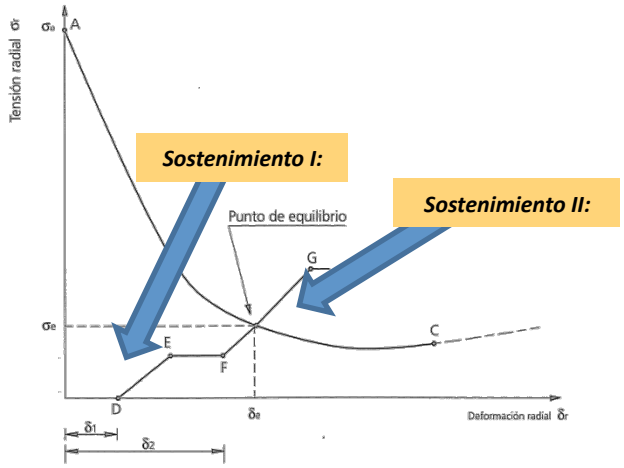
MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DEL SOSTENIMIENTO

MÉTODOS OBSERVACIONALES: NUEVO MÉTODO AUSTRIACO

A partir de la década de los sesenta se desarrolla un nuevo concepto en construcción de túneles. Se basa en el método de curvas características, tratando de maximizar la capacidad autoportante del terreno, y de adecuar el sostenimiento a los diversos tramos, empleando la debida instrumentación geotécnica para las determinaciones.

Dos son las etapas consideradas en el NATM para la acción del sostenimiento (Primaria y Secundaria).

Inicialmente se considerará el sostenimiento primario, en base a criterios de convergencia y confinamiento de las curvas características, afinando al máximo los cálculos (coeficiente de seguridad cercano a la unidad). Con posterioridad, en caso de requerirse para alcanzar el grado de seguridad, se aplicará el sostenimiento secundario.



NOTA: La excavación se realiza además en dos fases, primero se realiza la excavación superior y después se retira el terreno que quede debajo hasta la cota del túnel

EJEMPLOS DE SOSTENIMIENTOS APLICADOS A TÚNELES REALES

TÚNEL FERROVIARIO DEL GUADARRAMA

El túnel fue realizado mediante un doble escudo, por lo que el sostenimiento se realizó paralelamente al avance.

Se trata de un sostenimiento prefabricado, denominado anillo de dovelas. Dicho anillo está compuesto de siete dovelas de 32 cm de espesor, 1,6 metros de longitud y espesor variable, en función de la zona del anillo a la que va destinada.

De este modo, los tipos de dovelas que se pueden encontrar son:
A: constituyen la parte inferior y tienen 5,5 m de longitud.
B: tienen un espesor variable y 5,5 m de longitud.
C y D: ambas rectangulares y de 3,6 m de longitud.
E y F: tienen uno de los lados cortos en oblicuo y 3,6 m de longitud.
G: es la dovela de cierre, la cual mide 1,6 metros de longitud.

EJEMPLOS DE SOSTENIMIENTOS APLICADOS A TÚNELES REALES

LOS TÚNELES DEL NUEVO ACCESO FERROVIARIO A ANDALUCÍA

La sección interior de los túneles tiene como paramento interior la cara vista de un anillo de revestimiento, el cual está fabricado de hormigón en masa de 30 cm de espesor. El hormigonado ha sido realizado, bien contra el terreno, o bien contra el revestimiento en las zonas en las que éste está presente.

Dada la variabilidad del terreno, el sostenimiento se basa en tres elementos básicos: hormigón proyectado, armado con malla de acero; bulones de anclaje continuo de 25 mm de diámetro y 3,5 m de longitud, y cerchas metálicas.

Se utilizaron diversos métodos de sostenimiento para la protección en el avance, entre los que se encuentran la colocación (inmediata a la excavación) de capas de sellado a base de hormigón proyectado, inyecciones de lechada de cemento y paraguas de protección en el frente.

A medida que se avanzó la obra se precisaron diversas modificaciones respecto al proyecto inicial, como la sustitución de la malla de acero por fibras metálicas, la sustitución de perfiles TH-21 por perfiles HEB-160 y la colocación ocasional de sostenimiento a base de chapa Bernold y hormigón bombeado.

EJEMPLOS DE SOSTENIMIENTOS APLICADOS A TÚNELES REALES

LOS TÚNELES DEL NUEVO ACCESO FERROVIARIO A ANDALUCÍA

En función de las características de cada tramo, existen cinco tipos de sostenimiento:

- Terrenos buenos-muy buenos: Precisan de escaso sostenimiento. Colocación puntual de bulones para el cosido de bloques inestables y, ocasionalmente, colocación de una capa de sellado de hormigón proyectado de más de 5cm.

- Terrenos de calidad media-alta:
Colocación de 10 cm de hormigón proyectado y bulones en una cuadrícula de 2 a 3 m.

- Terrenos de baja calidad: Colocación de cerchas TH-21 con espaciamientos de 1 a 1,5 m. hormigón proyectado y bulones en cuadrícula de 1 a 2 m.

- Terrenos de calidad mala-muy mala: Colocación de cerchas HEB-160 con espaciamiento de 0,5 a 1 m y espesores de hormigón proyectado de 25 a 30 cm.

- Terrenos de calidad media con sobreexcavación: Colocación de chapa Bernold de 2mm de espesor y bombeo de hormigón a trasdós de 30 cm.

EJEMPLOS DE SOSTENIMIENTOS APLICADOS A TÚNELES REALES

LOS TÚNELES DEL NUEVO ACCESO FERROVIARIO A ANDALUCÍA

Las características de la solera también dependen de las propiedades del terreno, en este caso:

- **Buena calidad:** realización de una solera plana de hormigón en masa de 10 cm.
- **Menor calidad:** solera plana de hormigón de 30 cm.
- **Terreno muy malo:** realización de una contrabóveda circular, de 13 cm de radio con hormigón (el cual está armado ocasionalmente), con un relleno de hormigón de distinta calidad.

Como revestimiento se optó por la colocación de un anillo interior de hormigón de 30cm de espesor, el cual está reforzado con malla de acero en alguna zona.

EJEMPLOS DE SOSTENIMIENTOS APLICADOS A TÚNELES REALES

TÚNEL DE SAGIDES, EN EL SUBTRAMO VIII DEL AVE MADRID-ZARAGOZA

Se desarrolló un sostenimiento específico para cada una de las tres secciones básicas de las que constan los túneles:

- **Tipo A:** para zonas de mejor calidad, las cuales precisan de 5cm de hormigón proyectado y 8 bulones en clave de 4m de longitud cada uno, con un espaciado de 2m.
- **Tipo B:** para zonas de calidad media-mala, en las que se colocaron 10cm de hormigón y 11 bulones en clave, de 4 metros de longitud, con espaciados de 1,5m.
- **Tipo C:** para zonas de peor calidad, las cuales precisan de 30cm de hormigón proyectado y cerchas TH-29 con 1 metro de espaciado.

Durante el avance se detectó una cavidad kárstica en cuya corona se situaron 7 y 8 bulones de 4m de longitud espaciados a 1,5m y una capa de 10 a 15 cm de HP-250. Puntualmente, se colocaron cerchas TH-29.

En la zona de Keupper, en la corona se situaron 10 y 11 bulones de 15 y 20 cm espaciados a 1,5m, aunque en la mayor parte se dispuso de cerchas TH-29 espaciadas a 1 metro y 30 cm de HP-250 con mallazo.

EJEMPLOS DE SOSTENIMIENTOS APLICADOS A TÚNELES REALES

RESUMEN DE LOS EJEMPLOS:

	DOVELAS	BULONES	MALLA	GUNITA	FIBRA MET	BERNOLD+H.BOMB	CUADROS
GUADARRAMA	Sí						
FOLGOSO		Sí	Sí	Sí			Sí
ANDALUCÍA		Sí		Sí	Sí	Sí	Sí
SÁGIDES		Sí	Sí	Sí			Sí

SOSTENIMIENTO

OBSERVACIÓN FINAL:

A modo de conclusión de los aspectos relativos al sostenimiento, y enlazando con el capítulo siguiente del presente bloque, relativo a túneles, conviene hacer una distinción entre el SOSTENIMIENTO, y el REVESTIMIENTO.

La finalidad del REVESTIMIENTO es estética, impermeabilizante o aerodinámica (minimización del rozamiento del aire, favoreciendo la ventilación). Podremos tener por tanto tener túneles sostenidos pero no revestidos, no revestidos y no sostenidos, o revestidos pero no sostenidos.

MINERÍA DE INTERIOR

En el presente tema se tratarán únicamente los túneles realizados con tecnología minera (túneles verdaderos). No se tratarán por tanto los denominados “falsos túneles” (por ejemplo, los sistemas cut-and-cover).

TÚNELES

EJECUCIÓN DE TÚNELES

CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DEL MÉTODO DE EJECUCIÓN DE LOS TÚNELES

FACTORES GENERALES

- **Factores geotécnicos,** características del propio terreno.

- **Factores económicos,** condicionan la posibilidad de utilizar métodos en que se necesita una importante inversión, como en el caso de las tuneladoras.

- **Factores sociales y medio-ambientales,** en cuanto a la seguridad del método, la afección al entorno, la presencia de obstáculos naturales y artificiales (ríos, pozos, cimentaciones existentes, minas, etc).

http://www.obrasurbanas.es/files/data/1207-26-34.pdf

EJECUCIÓN DE TÚNELES

CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DEL MÉTODO DE EJECUCIÓN DE LOS TÚNELES

DESGLOSE DE CONDICIONANTES

- Las características del terreno, junto con la profundidad a la que se quiere desarrollar la obra subterránea. Si existen rellenos y suelos blandos importantes, el túnel tiene que desarrollarse (en principio) por debajo de ellos, dejando un recubrimiento de terreno "resistente" del orden de un diámetro por encima de la clave.

- El plazo de la obra, ya que ello puede obligar en algunos procedimientos (como en el Tradicional en Madrid) a abrir numerosos frentes de ataque; o a aplicar varios sistemas, lo que puede encarecer la obra. O bien, puede alargarse el plazo si se necesita construir una tuneladora.

- La longitud del tramo, lo que puede hacer viable el uso de una TBM o no. Para túneles de varios kilómetros (5-6) de longitud puede ser rentable – o suficientemente amortizable – una TBM nueva. Pero en tramos cortos de 1-1,5 Km. se han empleado tuneladoras ya existentes, con equipos ya formados y con experiencia. (Túnel ferroviario a Alcobendas o prolongación desde el Aeropuerto de Barajas a la Terminal T-4).

FUENTE: Oteo Mazo, C., 2010; http://www.obrasurbanas.es/files/data/1207-26-34.pdf

EJECUCIÓN DE TÚNELES

CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DEL MÉTODO DE EJECUCIÓN DE LOS TÚNELES

DESGLOSE DE CONDICIONANTES

- La posibilidad de amortización de maquinaria en la propia obra u otras futuras. La inversión en máquinas TBM nuevas y de gran diámetro es importante (15 a 60 millones de euros)

- El espacio disponible en los extremos del túnel o zonas intermedias, con los problemas de interferencia a otros servicios.

- La existencia de “obstáculos” especiales. Como tales pueden considerarse la presencia de fallas, contactos entre terrenos, otros túneles, pozos, vaguadas rellenas, zonas de terreno contaminados por keroseno y gases, ruinas históricas, etc.

FUENTE: Oteo Mazo, C., 2010; http://www.obrasurbanas.es/files/data/1207-26-34.pdf

EJECUCIÓN DE TÚNELES

TÉCNICAS ESPECIALES

ESTABILIZACIÓN DE LA CLAVE

Enfilaje: Para terrenos con fuerte fracturación. Cosido de cuñas sueltas mediante bulones con cierta inclinación en la parte alta del frente.

Paraguas: en terrenos de fuerte alteración o fracturación. Colocación de bulones o tubos paralelos al túnel, formando una visera protectora la clave. Podrán ser **ligeros** (con bulones de 32 mm de diámetro), o **pesados** (empleando tubos huecos de 110 mm de diámetro, a inyectar con lechada). Si la longitud a salvar es considerable, pueden sucederse con buen solape (3 metros).

Los paraguas de Jet-Grouting: Para terrenos muy sueltos y de mala calidad, generándose un arco resistente en el entorno contorno del túnel, al abrigo del cual excavar.

http://www.civogal.com/seccion.24.php

FUENTE: ATS,S.A.

FUENTE: ATS,S.A.

EJEMPLOS DE SOSTENIMIENTOS APLICADOS A TÚNELES REALES

TÉCNICAS ESPECIALES

ESTABILIZACIÓN DEL FRENTE

- **Machón central:** dejar una franja central sin excavar, para que actúe como contrafuerte.
- **Introducción de bulones de unos 9 metros**, en suelos y rocas muy alteradas y fracturadas.
- **Sellado del frente** con una capa de 5 cm de gunita, evitando la descompresión del terreno o entradas de agua.
- **Excavación a media sección**, siendo la vía más eficaz desde el punto de vista geotécnico, con una distancia de desfase de unos 20 metros entre avance y destroza.

ESTABILIZACIÓN DE LA SOLERA

- **Contrabóveda de hormigón**.
- El **bulonado** de la base del hastial permite lograr una mejor resistencia frente a cargas horizontales, sin llegar a la eficacia de la contrabóveda.
- **Pata de elefante**, en excavación por fases en terreno realmente malo. Supone una prolongación en sentido horizontal del sostenimiento, aumentando la superficie de aplicación. Permite una excavación de destroza sin descalzar el sostenimiento puesto en el avance.

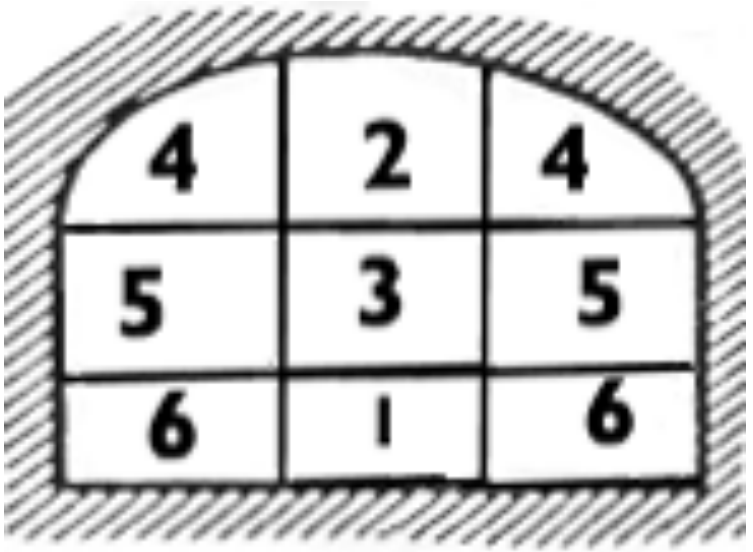
MÉTODOS DE EJECUCIÓN DE TÚNELES

EJECUCIÓN DE TÚNELES EN TERRENOS BLANDOS

EXCAVACIÓN POR FASES: Partición de la sección en fases (atenuación de problemas de sostenimiento). Cada fase de excavación se sostiene antes de ensanchar.

MÉTODO AUSTRIACO TRADICIONAL

- Ejecución de galerías de avance en clave y solera de la galería respectivamente. (Facilitan la observación directa del terreno que se va a excavar).
- Ampliación de la clave. Entibación con madera en avances cortos (1,5 – 2 m). La extracción del material por la galería excavada en solera (pozos de comunicación).
- Excavación de los hastiales y colocación del sostenimiento definitivo.



METODO AUSTRIACO

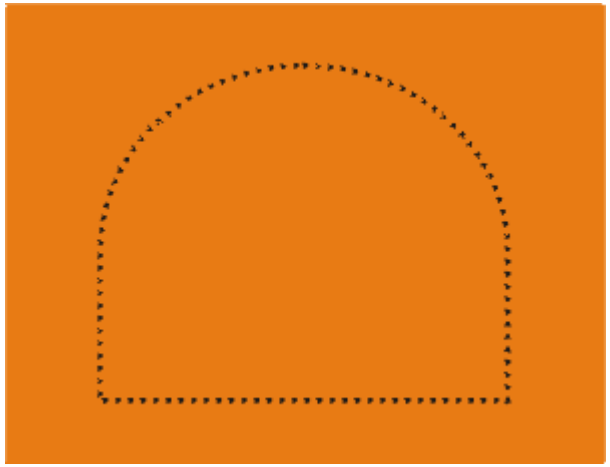
MÉTODOS DE EJECUCIÓN DE TÚNELES

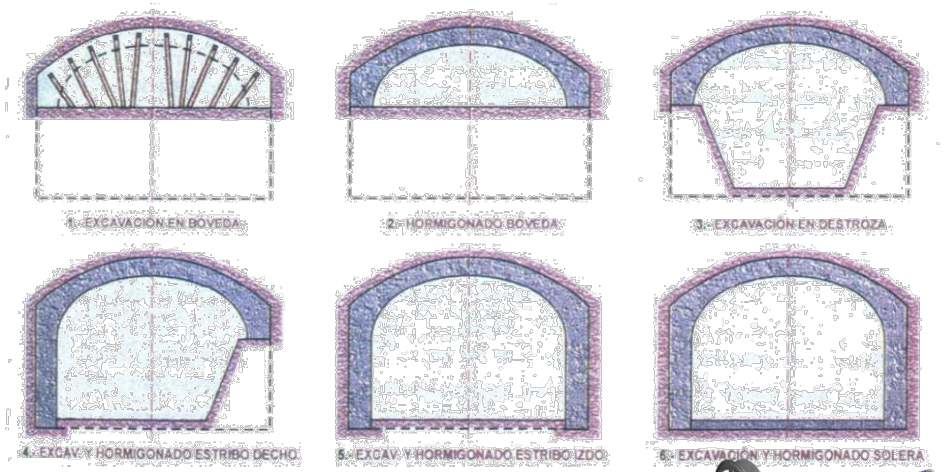
EJECUCIÓN DE TÚNELES EN TERRENOS BLANDOS

MÉTODO TRADICIONAL (BELGA/MADRID)

Variantes del Método Austriaco, iniciado sólo con galería en clave y ciertas diferencias. Para terrenos lo suficientemente competentes como para soportar el descalce de parte de la bóveda para ejecutar la excavación por bataches.*

- Excavación en mina.
- Avance con entibación.
- Hormigonado de la bóveda.
- Destroza.
- Hormigonado hastiales.
- Hormigonado solera.





***Batache:** Excavación por pequeños tramos alternos, para reducir los peligros a la propia excavación o edificios colindantes.

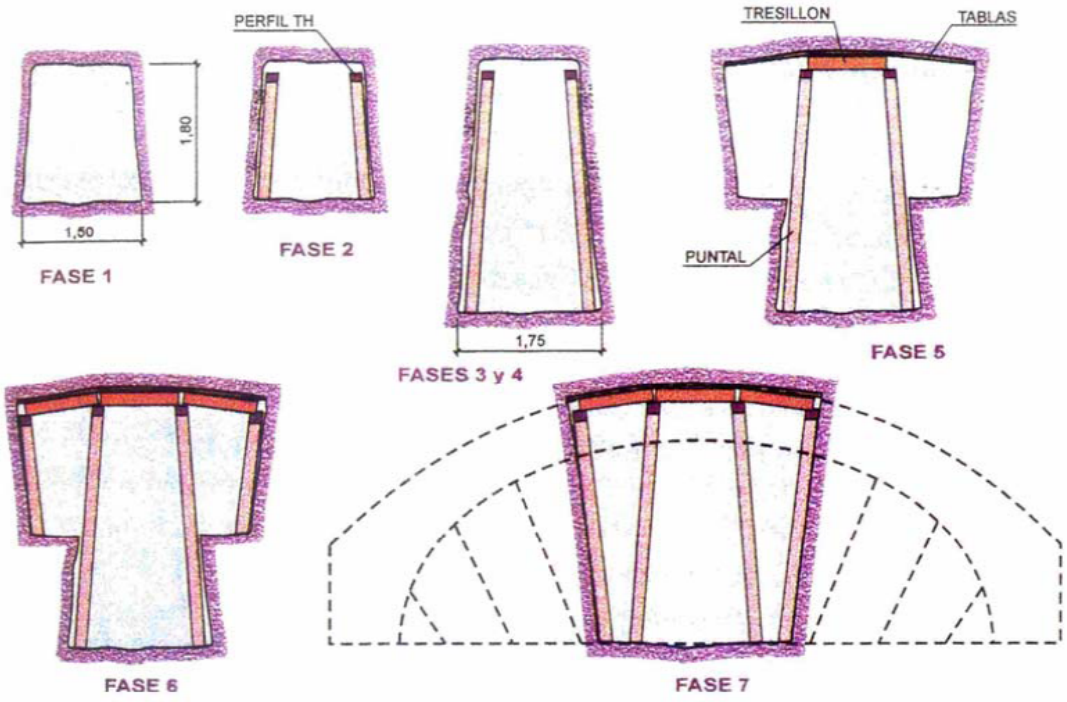
http://www.youtube.com/watch?v=_l_Spldmkw0

http://www.youtube.com/watch?v=uRZbKqM4TUs&feature=related

MÉTODOS DE EJECUCIÓN DE TÚNELES

EJECUCIÓN DE TÚNELES EN TERRENOS BLANDOS

MÉTODO TRADICIONAL (BELGA/MADRID)



EJECUCIÓN DE LA BÓVEDA

http://www.santfeliu.cat/directori/ProjecteSoterrament/Estudio%20Informativo%20Integracion%20del%20Ferrocarril%20en%20Sant%20Feliu%20de%20Llobregat/01%20Memoria%20y%20Anejos/Anejos/09.%20Tuneles.pdf

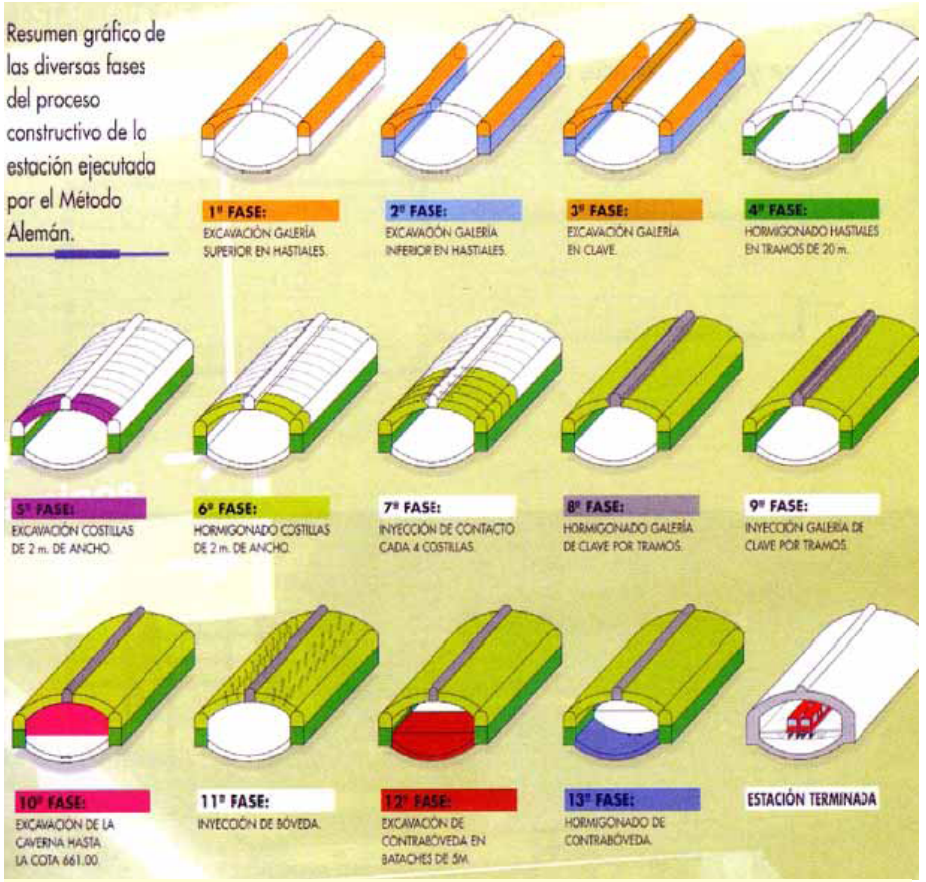
MÉTODOS DE EJECUCIÓN DE TÚNELES

EJECUCIÓN DE TÚNELES EN TERRENOS BLANDOS

MÉTODO ALEMÁN

Similar al método Belga, pero más estricto en lo referente a seguridad y estabilidad.

- Excavación dos galerías laterales.
- Hormigonado de sus hastiales.
- Continúa según el método Belga.



http://www.geocontrol.es/pdf/tunelesuelos.pdf

http://www.youtube.com/watch?v=S0HA7avKQXw

MÉTODOS DE EJECUCIÓN DE TÚNELES

EJECUCIÓN DE TÚNELES EN TERRENOS BLANDOS

PREBÓVEDA

Para suelos duros o rocas blandas, apto en ciudades.
Realizar un precorte mecánico en el avance a partir del frente del túnel, tomando como referencia el perímetro de la sección transversal. La ranura generada tras el corte se rellena de hormigón proyectado (gunita) de fraguado rápido (prebóveda).

NUEVO MÉTODO AUSTRIACO

Excavación de túneles en terrenos medios – duros. Emplea de bulones, gunita y cerchas metálicas como elementos de sostenimiento.

Aplicación de un sostenimiento primario tras la excavación, pasado un tiempo se aplica si se requiere un sostenimiento secundario. A más blando sea el terreno, mayor premura en la colocación de ambos. En terrenos blandos, no se puede plantear en sección completa.

MÉTODOS DE EJECUCIÓN DE TÚNELES

EJECUCIÓN DE TÚNELES EN TERRENOS BLANDOS

MÉTODO BERNOLD

Para terrenos cohesivos, no muy duros y en rocas de mala calidad.

Inmediatamente después de realizar la excavación se colocan de cerchas de montaje sobre las que se coloca la chapa Bernold), respetando espesor del revestimiento. Seguidamente se hormigona tras la chapa. Las cerchas se podrán reutilizar. Es habitual gunitar la superficie de la chapa también.

http://www.durofelguera.com

EJEMPLOS DE SOSTENIMIENTOS APLICADOS A TÚNELES REALES

EJECUCIÓN DE TÚNELES EN TERRENOS BLANDOS

La Generalitat prohíbe construir túneles con el método utilizado para el metro del Carmel

Los técnicos deciden que se derriben tres edificios más con graves daños en su estructura

FRANCESC ARROYO - Barcelona - 05/02/2005

Vota ☆☆☆☆☆ | Resultado ★★★★½ 126 votos | Twittear 0 | Recomendar

En Cataluña no se construirá ningún túnel más con el método utilizado en el Carmel, donde se han producido dos hundimientos que han acarreado el desalojo de más de mil personas, el derribo de un bloque de viviendas y dos locales y exigirá el derribo de tres bloques más. El método empleado, llamado "austriaco", aprovecha la resistencia de los propios materiales del subsuelo y sólo cuando éste es débil se establecen refuerzos. El consejero de Política Territorial del Gobierno catalán, Joaquim Nadal, anunció ayer que los refuerzos serán preceptivos siempre, sean o no necesarios según los estudios previos.

- Un sistema sólo aconsejado para los terrenos más rocosos
- Disculpas y responsabilidades
- Chapuza e ineficacia

La noticia en otros webs

webs en español
en otros idiomas

El método austriaco de construcción de túneles en su estado puro no será utilizado nunca más en Barcelona. La utilización de este sistema ha sido objeto de polémica porque es el empleado en la ampliación de la línea 5 del metro barcelonés, donde se han producido dos hundimientos en uno de los túneles (auxiliar para maniobras). El primero se produjo la pasada semana y se llevó por delante las viviendas de 12 familias. El segundo se produjo anteayer, cuando se daba por hecho que el terreno estaba asentado.

El método austriaco puro está prohibido en Madrid. No obstante, Nadal precisó que los terrenos de Madrid y Barcelona no pueden ser comparados en modo alguno. En el caso del Carmel, una montaña con materiales muy diversos, no se podía recurrir a una

PARA SUSCRIPTORES
edición en PDF
Descubre nuestro visor de la edición im
Permite visualizarla y descargarla
ver demo

publicidad
Orona
1ª empresa del sector
a nivel mundial certifica
en ECODISEÑO
www.orona-group.com

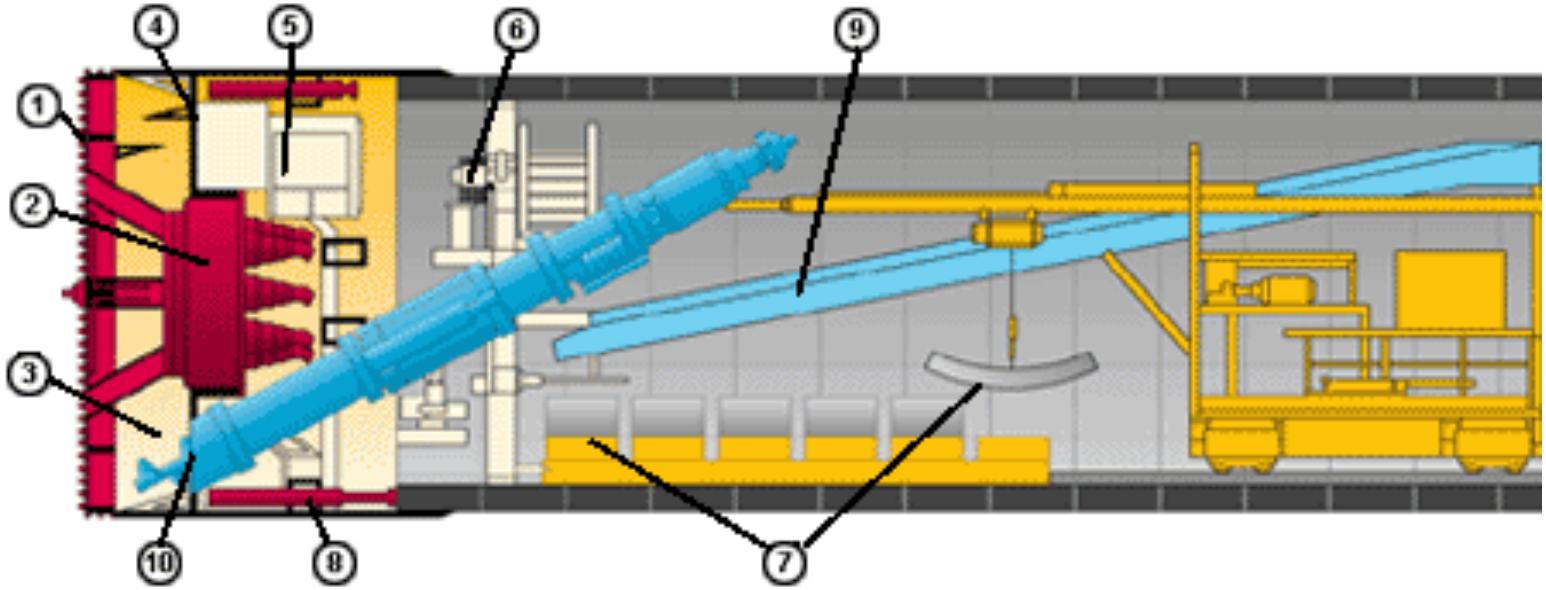
Última Hora
fwd @gomezj: Frank-Walter St
en la foto) supera a Angela Merl

http://www.elpais.com/articulo/espana/Generalitat/prohibe/construir/tuneles/metodo/utilizado/metro/Carmel/elpepiesp/20050205elpepinac_20/Tes

MÉTODOS DE EJECUCIÓN DE TÚNELES

EJECUCIÓN DE TÚNELES EN DUROS

ESCUDOS (YA ESTUDIADOS)



1. Rueda de Corte.
2. Accionamiento.
3. Cámara de excavación.
4. Sensor de presión.
5. Esclusa de aire comprimido.
6. Erector de dovelas.
7. Dovelas.
8. Cilindros de empuje.
9. Cinta transportadoras
10. Tornillo sinfín de extracción.

MÉTODOS DE EJECUCIÓN DE TÚNELES

EJECUCIÓN DE TÚNELES EN TERRENOS DUROS-MEDIOS

AVANCE

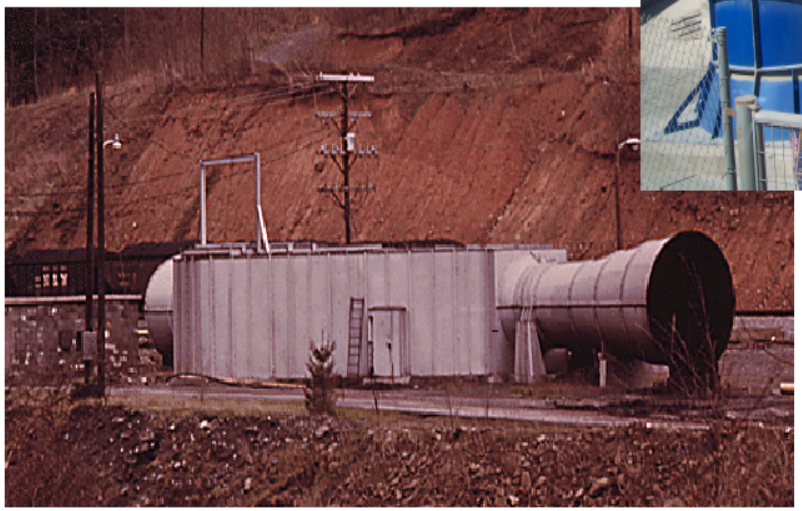
- Perforación y voladura.
- Minadores.
- Topos.

SOSTENIMIENTO

- Bulones.
- Hormigón proyectado (gunita).
- Cerchas metálicas.

Aplicación del Nuevo Método Austriaco, pudiendo plantearse la sección completa. En caso de no ser roca excesivamente competente, se puede recurrir a la prebóveda o chapa Bernold

ANIMACIÓN FLASH BASTANTE ILUSTRATIVA DEL CICLO DE AVANCE CONVENCIONAL EN TÚNEL:
http://www.euskalyvasca.com/multi_infog_detalle.html?contentName=cont_multimedia.infografia.construccion_tunel



VENTILACIÓN

VENTILACIÓN. GENERALIDADES

OBJETO

Conducir hasta el frente de la labor el caudal de aire limpio requerido para la respiración, la combustión de vehículos Diesel, dilución de contaminantes y, en la medida de lo posible, reducción de la temperatura y eliminación del polvo.

AIRE PURO, AIRE LIMPIO/FRESCO, AIRE VICIADO

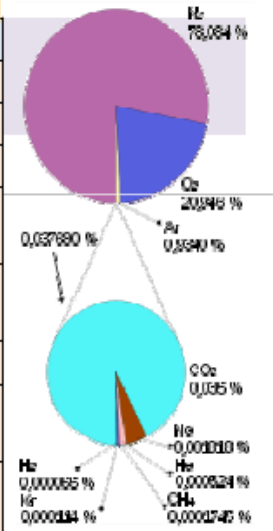
AIRE PURO SECO:

Mezcla de Oxígeno (~ 21%). Nitrógeno (~ 79%). y otros gases (<1%).

Estos porcentajes deben afectarse por la presencia de vapor de agua

"Composición del aire puro seco"
FUENTE: Suárez Sánchez, A.

Componente	%
Nitrógeno	78,1
Oxígeno	20,9
Argón	0,93
Dióxido de Carbono	0,03
Monóxido de Carbono	0,00001
Ozono	0,000002
Dióxido de azufre	0,00000002
Dióxido de nitrógeno	0,0000001
Óxido nítrico	0,00000006



AIRE LIMPIO

Adecuado para la respiración (% de Oxígeno próximo al 21% teórico)El aire en las labores de fondo de saco (cerradas: avance de túneles y galerías), se compone de gases, vapores y polvo en suspensión que deberán adecuarse para la respiración de las personas.

AIRE VICIADO

Aquel en el que el porcentaje de Oxígeno respirable se ha visto desplazado o la presencia de determinados gases o vapores genera molestias en los operarios. Si empeora, se podrá hablar de ambiente "irrespirable", "tóxico",...

VENTILACIÓN. GENERALIDADES

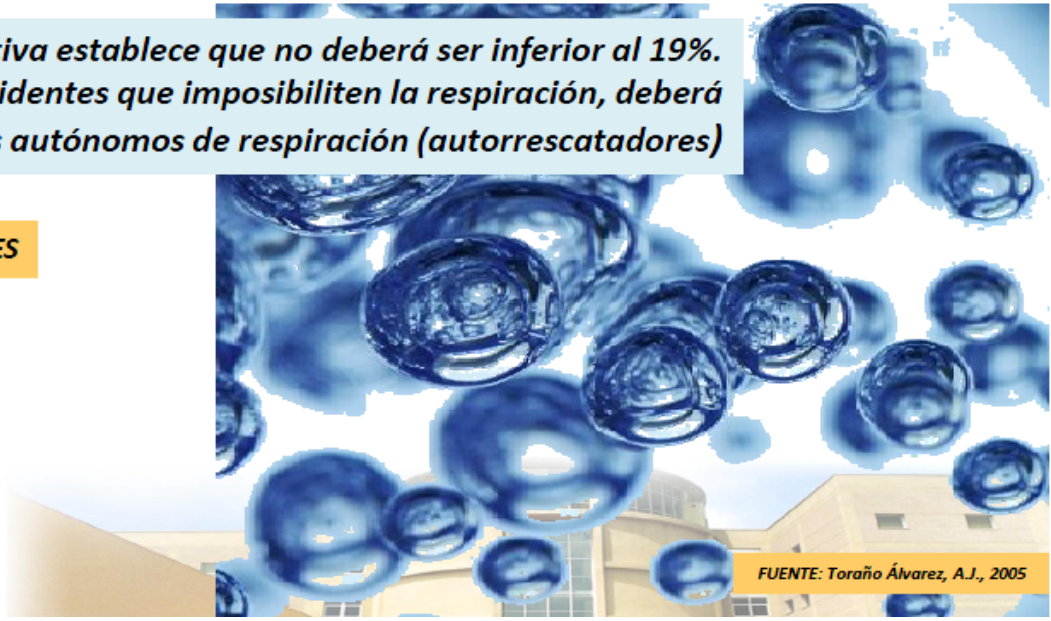
RESPIRACIÓN, REQUERIMIENTOS

- CONDICIONES NORMALES: 7 l/min de aire – 0,25 l/min de Oxígeno
- DESARROLLO DE ESFUERZO: 60 l/min – 2,5 l/min de Oxígeno

EFECTOS DE LA DISMINUCIÓN DEL PORCENTAJE DE OXÍGENO EN EL AIRE

- 21-18%: No altera el ritmo respiratorio.
- 18-9%: Aceleración del pulso y la respiración. Vómitos.
- 9-6%: Excitación intensa, síncopes, coma.
- 5-3%: Muerte rápida.

La normativa establece que no deberá ser inferior al 19%. En el caso de accidentes que imposibiliten la respiración, deberá recurrirse a equipos autónomos de respiración (autorrescatadores)



FUENTE: Toraño Álvarez, A.J., 2005

CAUSAS DE DISMINUCIÓN DEL OXÍGENO EN LAS LABORES

- Respiración,
- Oxidación de minerales
- Putrefacción de madera
- Voladuras
- Motores...

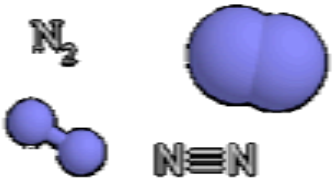
LA ATMÓSFERA EN LA MINA

GASES ANÓXICOS

No provocan un efecto directo sobre el organismo, pero pueden desplazar el Oxígeno, haciendo que la atmósfera no sea apta.

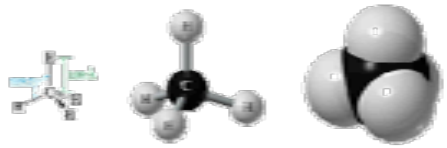
NITRÓGENO (N_2)

- Incoloro, inodoro e insípido. Un exceso de Nitrógeno puede proceder de determinadas formaciones rocosas (minería de las potasas).



METANO (CH_4)

- Presente en terrenos del carbonífero. Efecto en la respiración similar al Nitrógeno, si bien por su menor densidad se acumula en las partes altas de las labores, empobreciendo la atmófera en oxígeno. Tiene naturaleza inflamable y explosiva.



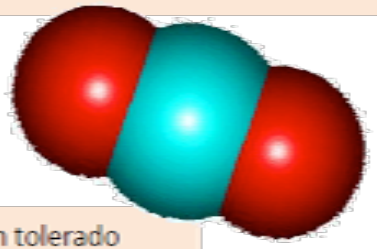
EFECTOS DEL GRISÚ, DEL QUE EL METANO ES COMPONENTE FUNDAMENTAL:

- **0-5%:** arde, combustión simple hasta desaparecer la fuente de inflamación
- **5-16%:** explota. Máxima magnitud, 8,5-9,5%.
- **>16%:** asfixia. Combustión simple incluso tras desaparecer el foco

GASES ASFIXIANTES

CO_2

- Gas incoloro, olor y sabor ligeramente ácido, soluble en agua, irritante (mucosas/ojos), tiende a acumulares en la parte baja de las labores. Procedente de la respiración, **motores Diesel, voladuras,** oxidación de materia orgánica e incendios.



- 0,5%: Bien tolerado
- 0,5-5%: Síntomas, cuesta respirar.
- 5-10%: Posible coma.
- 20-25%: Muerte rápida

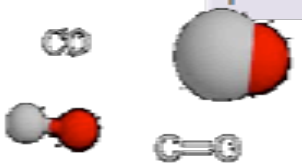
LA ATMÓSFERA EN LA MINA

GASES TÓXICOS

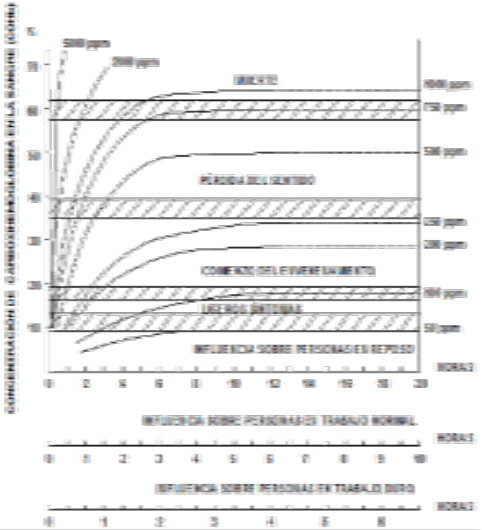
Atacan órganos, al metabolismo o al sistema nervioso

CO

- Incoloro, inodoro e insípido de densidad similar al aire. Procedente de combustiones incompletas de sustancias con carbono, oxidación, putrefacción, voladuras y motores Diesel. Muy tóxico.
- Se combina con la hemoglobina (7 veces más afín que el oxígeno) produciendo carboxihemoglobina, imposibilitando la oxigenación.



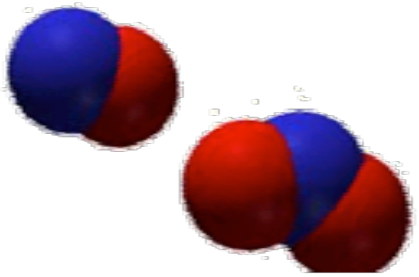
- 5ppm: Tolerado
- 100-500 ppm: dolores de cabeza y vómitos.
- 1000 ppm: síntomas graves en 30-45 minutos.
- 10000 ppm: muerte en minutos.



Efectos fisiológicos del monóxido de Carbono. Norma VDI 2.053 para ventilación de túneles. (1.969). Modificado de López Jimeno et al. (1.999)

NOx

- Vapores nitrosos, mezcla de diferentes óxidos de Nitrógeno, destacando el Monóxido y el Dióxido. Producidos fundamentalmente en la combustión de motores Diesel (a altas temperaturas) y en voladuras . El monóxido es incoloro, inodoro e insípido, combinándose rápidamente con el oxígeno para dar NO2, gas marrón rojizo y maloliente, muy pernicioso.



EFECTOS DEL NO2:

- 60 ppm: irritación de garganta
- 100-150 ppm: tos, síntomas graves en 30 minutos.
- 250 ppm: muerte en minutos

FUENTE: Toraño Álvarez, A.J., 2005

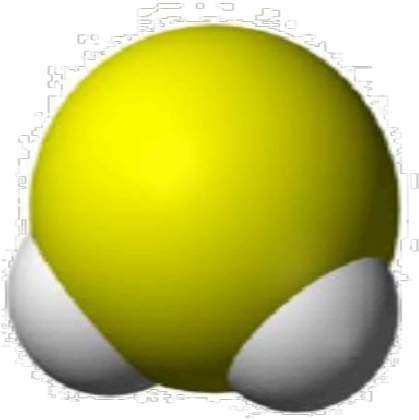
LA ATMÓSFERA EN LA MINA

GASES TÓXICOS

Atacan órganos, al metabolismo o al sistema nervioso

SH_2

- Gas incoloro, con olor a huevos podridos. Procede de la descomposición de menas sulfuradas. Suele presentarse en zonas de aguas estancadas de la mina, siendo peligroso pisarlas por poder inhalarlo.
  - 50-30 ppm: conjuntivitis, irritación vías respiratorias.
  - 500-1000 ppm: intoxicación, inconsciencia.
  - 1000-2000 ppm: muerte en minutos



GASES INFLAMABLES/EXPLOSIVOS

Peligrosos entre dos niveles determinados (superior e inferior) de concentración). La ventilación debe garantizar la dilución para evitar alcanzar dichos niveles.

H_2

- Altamente explosivo entre el 4 y el 75%. Puede desprenderse en motores de acumuladores, sobre todo en las salas de recarga; puede aparecer también en incendios o combustiones incompletas

CO

- Mezclas explosivas entre el 12,5 y 74%

CH_4

- **0-5%:** arde, combustión simple hasta desaparecer la fuente de inflamación
- **5-16%:** explota. Máxima magnitud, 8,5-9,5%.
- **>16%:** asfixia. Combustión simple incluso tras desaparecer el foco

OTROS GASES Y VAPORES PELIGROSOS(CETONAS, ALDEHIDOS, HC POLINUCLEARES, PIROBENCENOS...)

FUENTE: Toraño Álvarez, A.I., 2005

LA ATMÓSFERA EN LA MINA (ITC 04.07.02)

LÍMITES ADMISIBLES

CO	50 ppm
CO_2	5000 ppm (0,5%)
$NO+NO_2$	10 ppm
SH_2	10 ppm
SO_2	5ppm
H_2	1000 ppm (0,10%)
CH_4	15000 ppm (1,5%)

- CONCENTRACIÓN MÁXIMA ADMISIBLE DURANTE 8 HORAS DE TRABAJO, SEGÚN LAS ITC

- LÍMITE MÁXIMO ADMISIBLE PARA PERIODOS CORTOS

- Se basa en el ppio. de Isotoxicidad (se admite que el riesgo es proporcional al tiempo de exposición por la concentración, estableciendo niveles de isotoxicidad o isopeligrosidad), permitiendo acciones puntuales de extrema importancia (Ej: apagar conato de incendio).

CO	100 ppm
CO_2	12500 ppm (1,25%)
$NO+NO_2$	25 ppm
SH_2	50 ppm
SO_2	10 ppm
H_2	10000 ppm: 1,00%
CH_4	25000 ppm: 2,50%

FUENTE: Toraño Álvarez, A.J., 2005

LA ATMÓSFERA EN LA MINA

El POLVO

1 mg/m³	Poco contaminado
5 mg/m³	Moderadamente contaminado
10 mg/m³	Contaminado
20 mg/m³	Muy contaminado

FUENTE: Toraño Álvarez, A.I., 2005

Valores de referencia: 7 mg/m3 en el avance de minador con roca blanda, 5 mg/m3 en perforación de barrenos en dicho material.

Las partículas de menor tamaño son más peligrosas: persisten durante más tiempo en el aire y pueden penetrar hasta lugares más profundos de los bronquios.

Es por ello que no suele medirse el total del polvo atmosférico, sino el "polvo respirable" (**La fracción másica de las partículas inhaladas que penetran en las vías respiratorias no ciliadas**).

Tamaño de las partículas, Capacidad de penetración pulmonar	
> 50 micras	No pueden inhalarse
50-10 micras	Quedan atrapadas en la nariz y vías respiratorias altas.
10-5 micras	Se alojan en la nasofaringe, faringe y tráquea
5-0,5 micras	Penetran hasta el alveolo pulmonar

El tamaño y la naturaleza del polvo determinan sus efectos. El de carbón es explosivo, ciertos minerales son precursores de polvos tóxicos **(Mercurio, plomo, asbesto, cobre),** y los de otros, pese a no ser en si nocivos, si lo son al estar pulverizados (arcillas, silicatos, ...)

LA ATMÓSFERA EN LA MINA

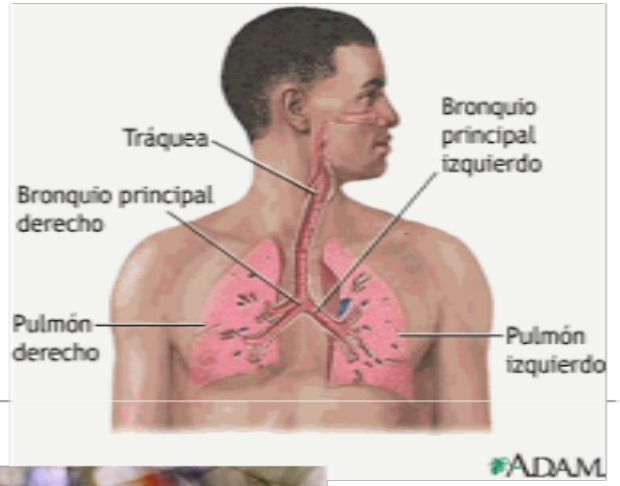
El POLVO

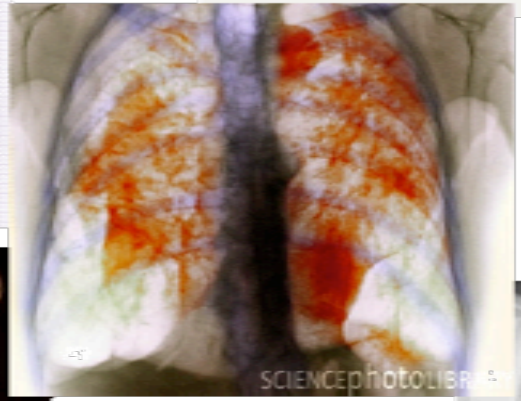
LAS NEUMOCONIOSIS

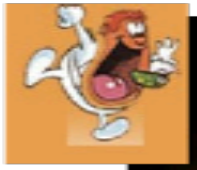
Se definen las neumoconiosis como «acumulación de polvo en los pulmones y la reacción tisular patológica ante su presencia».

Las **neumoconiosis** se pueden clasificar en: **silicosis, silicatosis** (incluye asbestosis), **neumoconiosis de los trabajadores del carbón** y **otras** neumoconiosis.

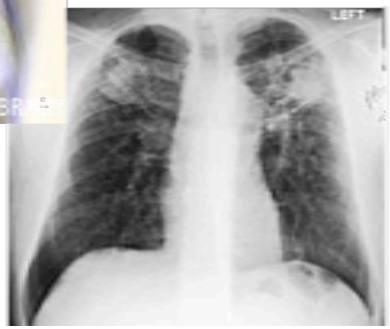
Quedan fuera los depósitos de polvo sin respuesta patológica (antracosis) y las respuestas patológicas no asociadas a depósito de polvo (mecanismos inmunológicos y otros).







Macrófago envolviendo partícula de asbesto



LA ATMÓSFERA EN LA MINA

El POLVO

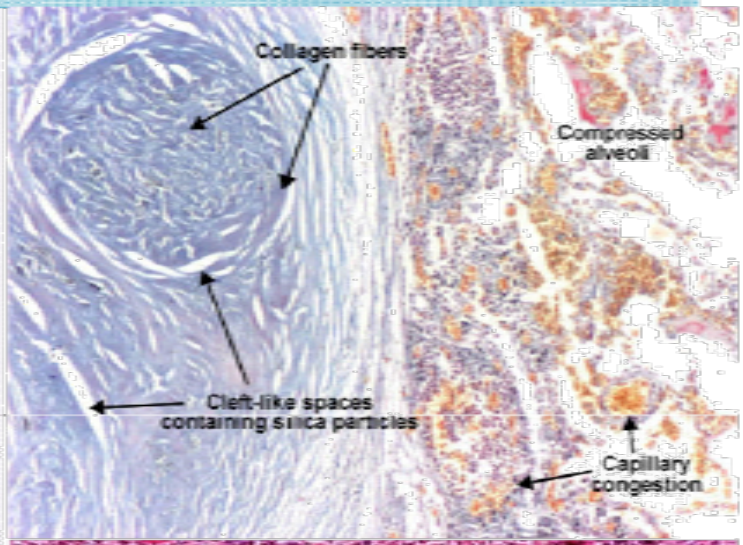
LA SILICOSIS

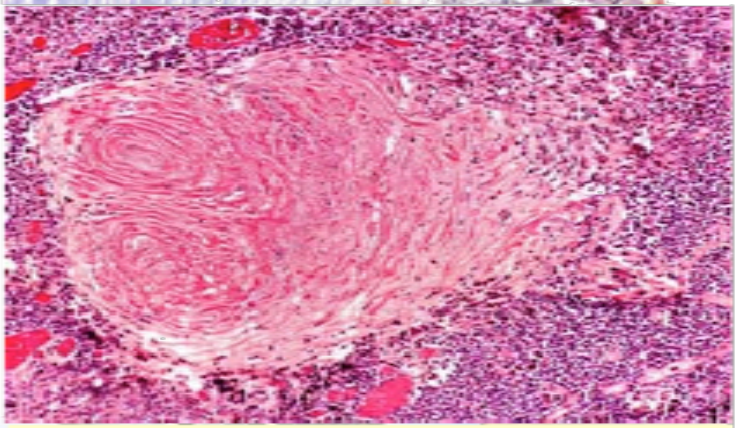
La silicosis es un tipo de fibrosis pulmonar de causa conocida.

Las partículas menores de 5 micrómetros que alcanzan el saco alveolar, depositándose en su pared por difusión o sedimentación. Las partículas pueden llegar al intersticio alveolar y quedar retenidas. Serán éstas las que van a producir la enfermedad.

El poder patógeno de la sílice tiene relación con el tamaño de las partículas, la forma y la cantidad. Son las formas cristalinas de SiO2 (principalmente el cuarzo) las causantes de la enfermedad. Las partículas recientemente fracturadas son más activas.

Los **macrófagos alveolares** (residentes y reclutados) tienen un papel central en la generación de las lesiones por inhalación de sílice, desencadenando una cascada de eventos, a nivel molecular y celular (fagocitación de la partícula, muerte del macrófago y segregación de sustancias que favorecen la reiteración del proceso).



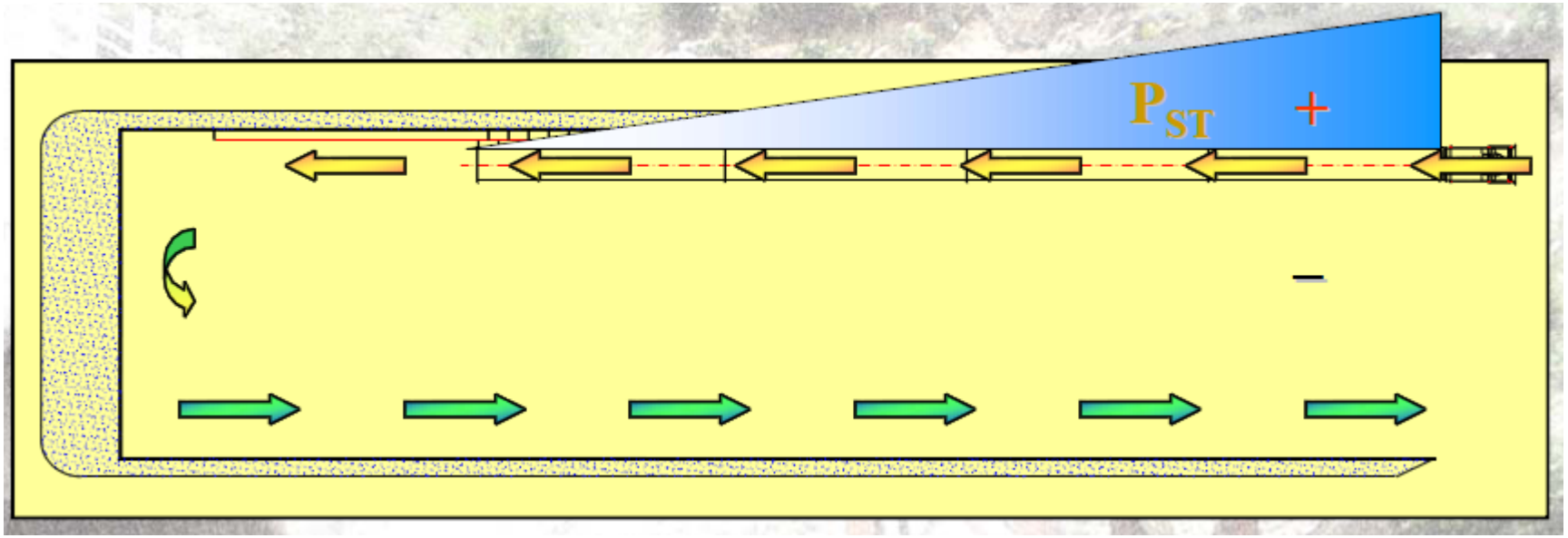


http://www.youtube.com/watch?v=vWQnS2zOMEg

VENTILACIÓN SECUNDARIA

CLASES DE VENTILACIÓN SECUNDARIA

VENTILACIÓN SOPLANTE



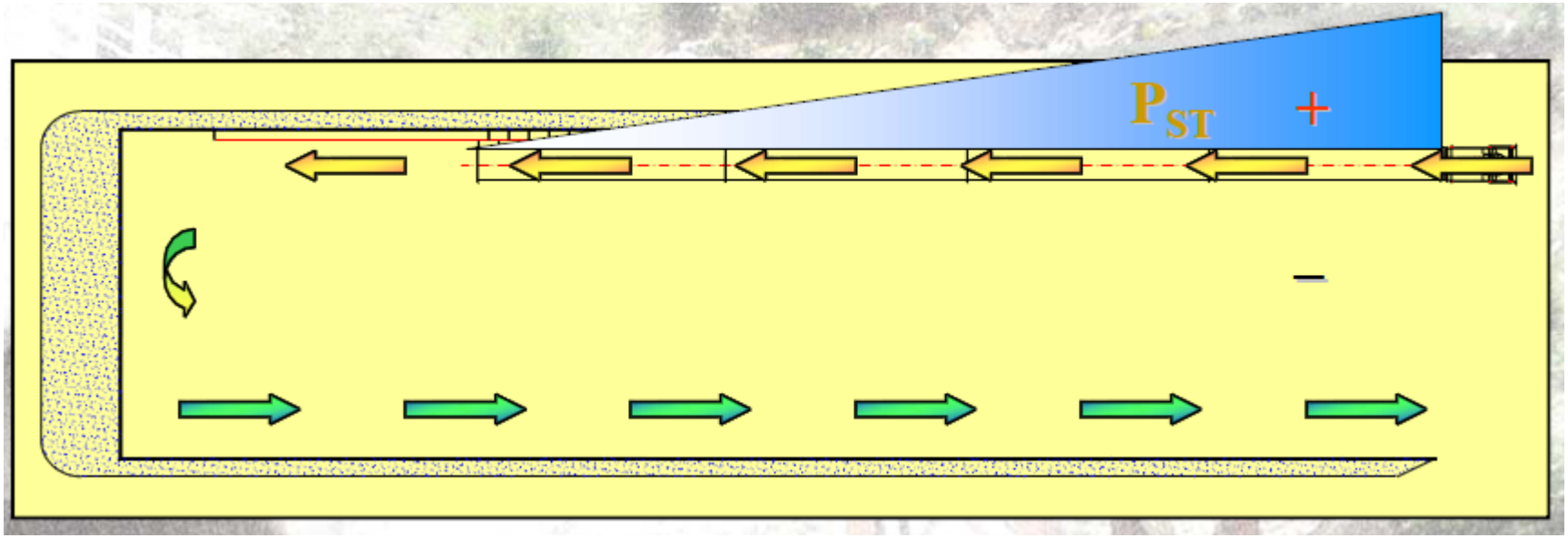
CARACTERÍSTICAS

- El aire circula por el interior de la tubería hacia el frente.
- **La presión en el interior de la tubería es mayor que la presión atmosférica en el túnel/labor**

VENTILACIÓN SECUNDARIA

CLASES DE VENTILACIÓN SEGUNDARIA

VENTILACIÓN SOPLANTE



VENTAJAS

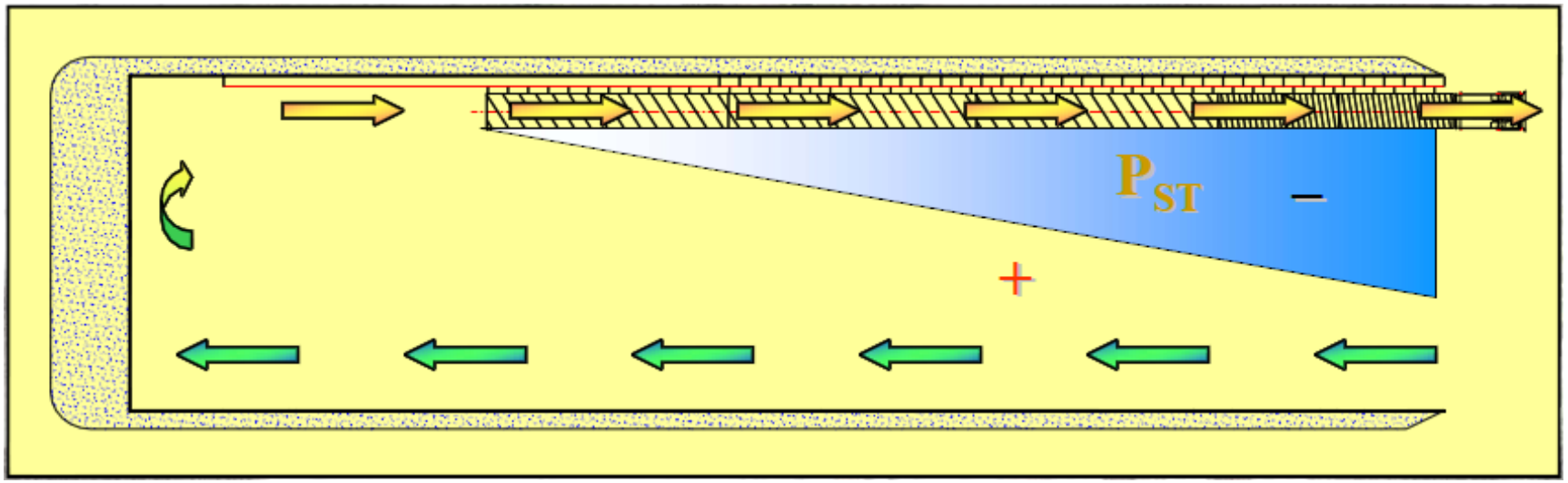
- AIRE PURO EN EL FRENTE MEJORANDO LA CONDICION DE LA ZONA DE TRABAJO.
- UTILIZACION DE TUBERIAS DE LONA, FACILES DE INSTALAR.
- MENOR PERDIDA DE CARGA EN LA INSTALACION (BAJA RESISTENCIA AL PASO DEL AIRE)

FUENTE: Talleres Zitrón

VENTILACIÓN SECUNDARIA

CLASES DE VENTILACIÓN SEGUNDARIA

VENTILACIÓN ASPIRANTE



CARACTERÍSTICAS

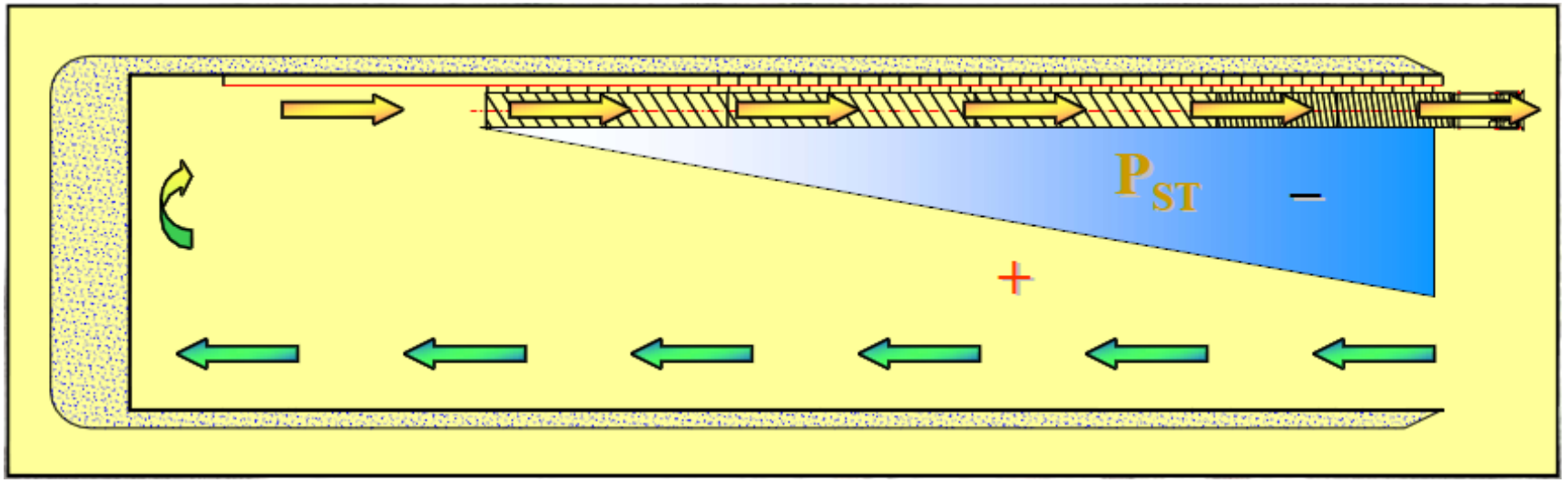
- LA CORRIENTE CIRCULA DESDE EL FRENTE AL EXTERIOR O A LA CONEXIÓN CON EL CIRCUITO DE CIRCULACIÓN PRINCIPAL DE LA MINAPOR EL INTERIOR DE LA TUBERIA.
- EN EL INTERIOR DE LA TUBERÍA SE GENERA UNA DEPRESIÓN, CAUSANTE DE LA CIRCULACIÓN DEL AIRE.

FUENTE: Talleres Zitrón

VENTILACIÓN SECUNDARIA

CLASES DE VENTILACIÓN SECUNDARIA

VENTILACIÓN ASPIRANTE



DESVENTAJAS

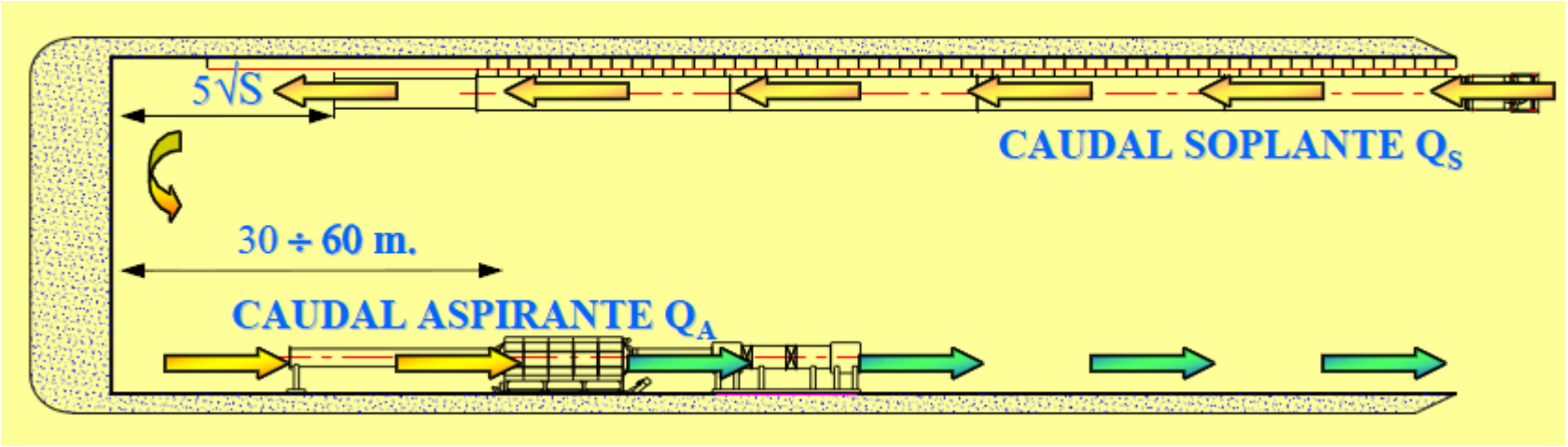
- EL AIRE QUE LLEGA AL FRENTE NO ES PURO, DADO QUE RECORRE TODO EL TÚNEL
- LAS TUBERIAS FLEXIBLES OFRECEN MAS RESISTENCIA , AL TENER QUE SER REFORZADAS.
- MAYOR PERDIDA DE CARGA DE LA INSTALACION.
- MAYOR POTENCIA INSTALADA.

FUENTE: Talleres Zitrón

VENTILACIÓN SECUNDARIA

CLASES DE VENTILACIÓN SECUNDARIA

VENTILACIÓN SOPLANTE-ASPIRANTE



CARACTERÍSTICAS

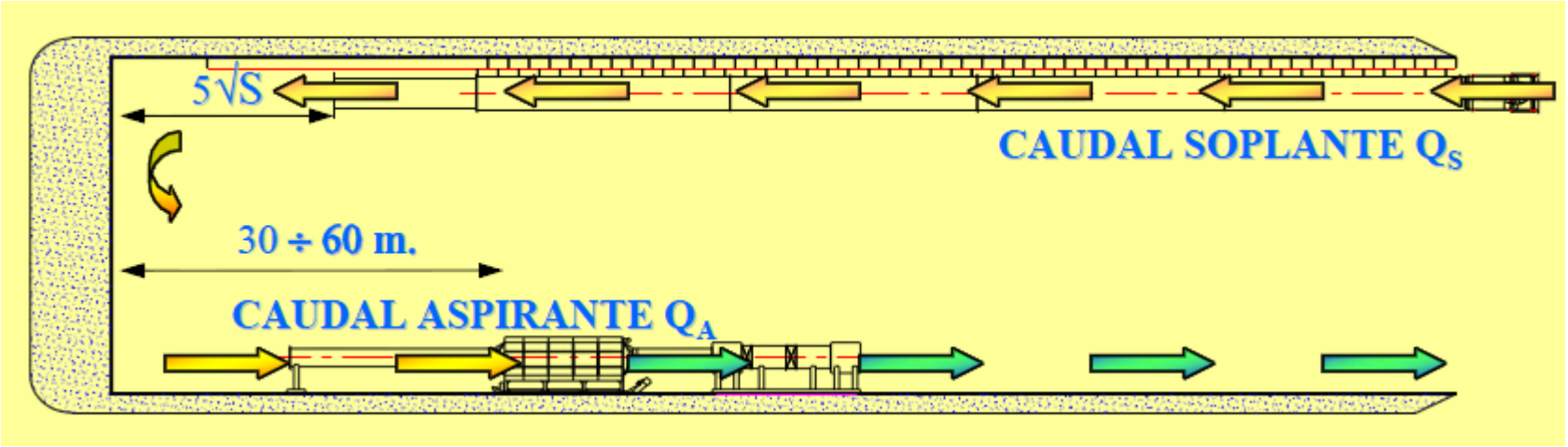
UTILIZADA PRINCIPALMENTE PARA EL AVANCE CON ROZADORAS.
ASPIRANTE DEL FRENTE CON CAPTADOR DE POLVO.
VENTILACION SOPLANTE AL FRENTE.
SE SUELEN TENER RELACIONES Q_A= (2/3 – ¾)Qs

FUENTE: Talleres Zitrón

VENTILACIÓN SECUNDARIA

CLASES DE VENTILACIÓN SECUNDARIA

VENTILACIÓN SOPLANTE-ASPIRANTE



VENTAJAS

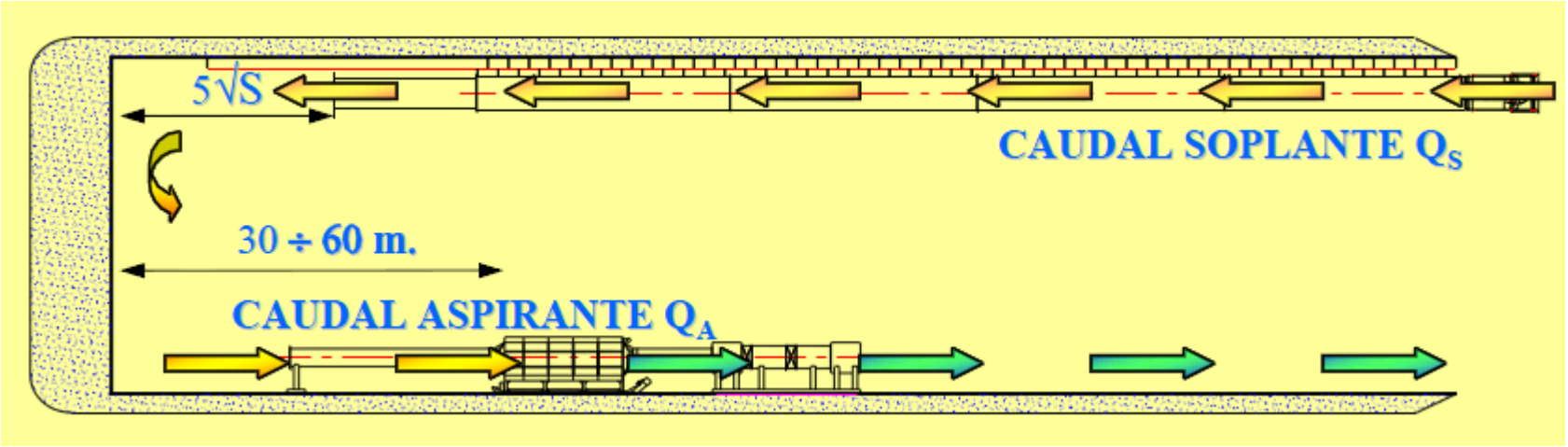
- AIRE PURO EN EL FRENTE MEJORANDO LA CONDICION DE LA ZONA DE TRABAJO.
- UTILIZACION DE TUBERIAS DE LONA, FACILES DE INSTALAR.
- BAJA PERDIDA DE CARGA EN LA INSTALACION SOPLANTE (BAJA RESISTENCIA AL PASO DEL AIRE).
- FRENTE DE TRABAJO MUY LIMPIO.
- CAPTACION DE POLVO EN EL FRENTE.

FUENTE: Talleres Zitrón

VENTILACIÓN SECUNDARIA

CLASES DE VENTILACIÓN SECUNDARIA

VENTILACIÓN SOPLANTE-ASPIRANTE



INCONVENIENTES

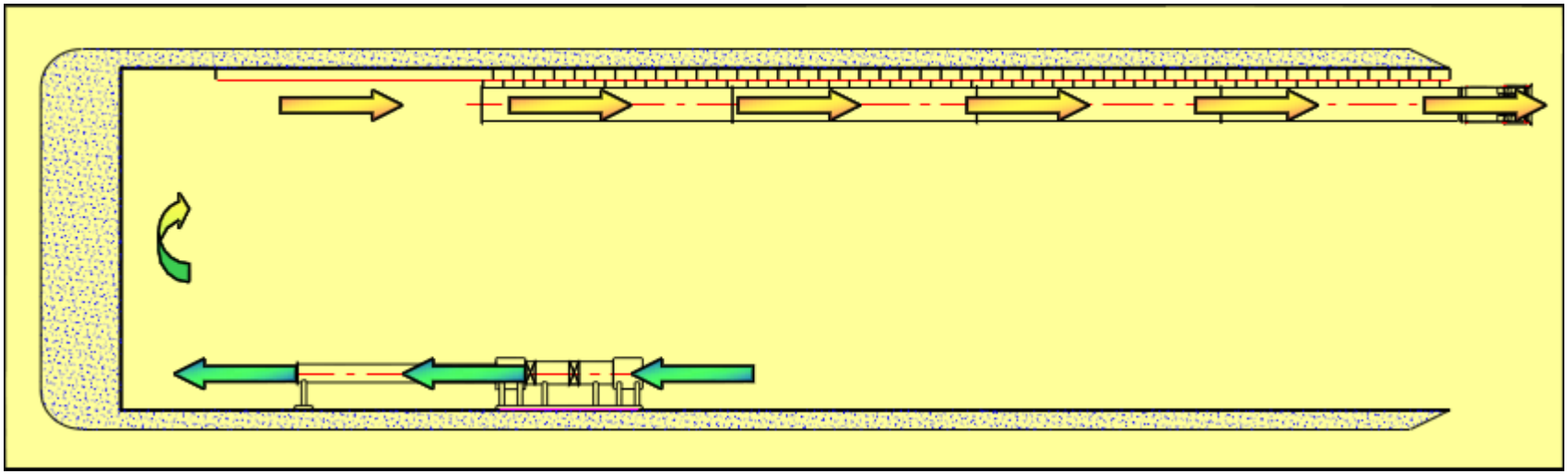
- LOS HUMOS SE TRASLADAN A LO LARGO DEL TÚNEL O LABOR
- SE TARDA MÁS TIEMPO EN ELIMINAR LOS HUMOS DE LOS EQUIPOS DIESEL

FUENTE: Talleres Zitrón

VENTILACIÓN SECUNDARIA

CLASES DE VENTILACIÓN SEGUNDARIA

VENTILACIÓN ASPIRANTE AL FRNETE CON APOYO DE VENTILACIÓN SOPLANTE



CARACTERÍSTICAS

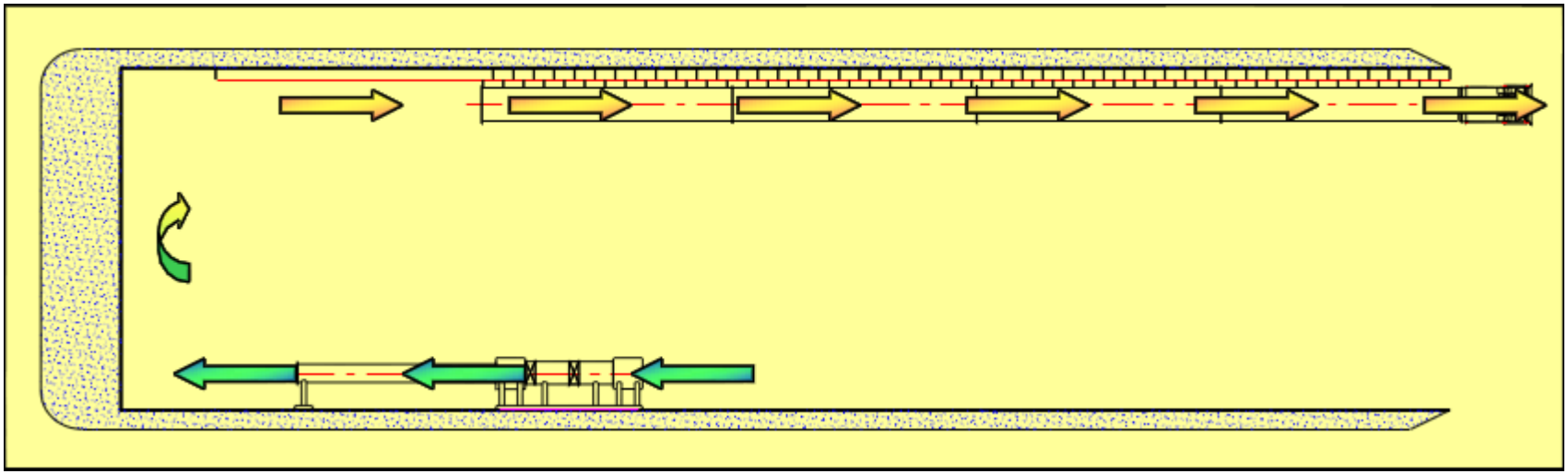
- **VENTILACION ASPIRANTE AL FRENTE.**
  - **SOPLANTE AL FRENTE.**
- **SISTEMA MUY UTILIZADO EN EL AVANCE DE GALERIAS MINERAS PARA REMOVER LOS AIRES DEL FRENTE.**

FUENTE: Talleres Zitrón

VENTILACIÓN SECUNDARIA

CLASES DE VENTILACIÓN SEGUNDARIA

VENTILACIÓN ASPIRANTE AL FRNETE CON APOYO DE VENTILACIÓN SOPLANTE



VENTAJAS

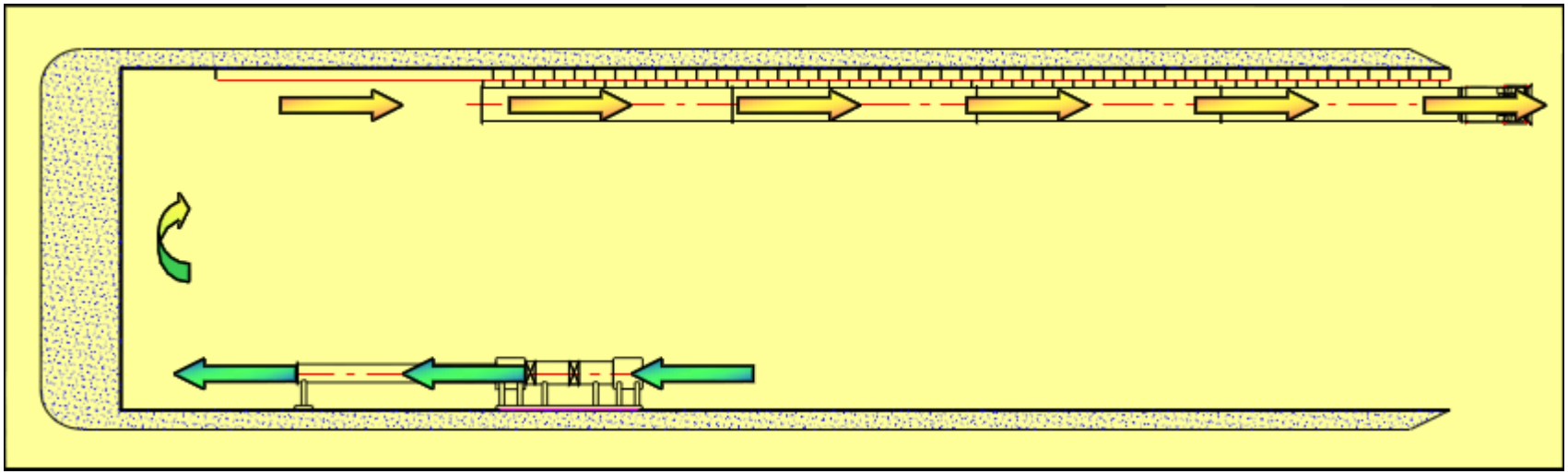
- RÁPIDA ELIMINACIÓN DE LOS HUMOS Y GASES EN CASO DE VOLADURA

FUENTE: Talleres Zitrón

VENTILACIÓN SECUNDARIA

CLASES DE VENTILACIÓN SEGUNDARIA

VENTILACIÓN ASPIRANTE AL FRNETE CON APOYO DE VENTILACIÓN SOPLANTE



INCONVENIENTES

- **EL AIRE QUE LLEGA AL FRENTE NO ES PURO, AL TENER QUE DESPLAZARSE POR EL TÚNEL O LABOR.**
- **LAS TUBERÍAS FLEXIBLES OFRECEN MÁS RESISTENCIA, AL TENER QUE SER REFORZADAS.**
- **MAYOR PÉRDIDA DE CARGA**
- **MAYOR POTENCIA INSTALADA**
- **PROBLEMAS DE DECANTACIÓN DE POLVO EN LA TUBERÍA**

FUENTE: Talleres Zitrón

VENTILACIÓN SECUNDARIA

DETERMINACIÓN DE LA POTENCIA DEL VENTILADOR

- Definido el caudal requerido en el frente Qf, se estima la presión media en la tubería

PRESIÓN DINÁMICA DEL FRENTE

$$P_f = \gamma \cdot \frac{V_F^{\,2}}{2g} = \frac{\gamma}{2g}\left[\frac{Q_F}{\pi (D/2)^2}\right]^2$$

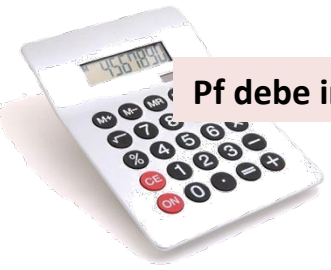
Resultado obtenido en Pascales, para expresarlo en mm columna de agua, debe dividirse por 10.

- Esta presión media nos permite calcular el caudal de fugas y el caudal del ventilador

$$Q_v - Q_f = \theta \cdot (P_f)^{1/2} nl$$

- **Q= coeficiente de fugas de la instalación.**
- **l= longitud del tramo de tubería**
- **1/2=Régimen de fuga (0,5 representa turbulento)**
- **n= número de tramos**

Pf debe introducirse en mm de columna de agua



FUENTE: Toraño Álvarez, A.J.

VENTILACIÓN SECUNDARIA

DETERMINACIÓN DE LA POTENCIA DEL VENTILADOR

$$Q_v - Q_f = \theta \cdot (P_f)^{1/2} nl$$

Coeficiente de fugas (θ)	Calidad de la instalación
1×10^{-6}	Excelente
$0{,}5 \times 10^{-5}$	Buena
1×10^{-5}	Muy Buena
$0{,}5 \times 10^{-4}$	Regular
$0{,}5 \times 10^{-3}$	Mala
1×10^{-3}	Muy Mala

FUENTE: Toraño Álvarez, A.J.

VENTILACIÓN SECUNDARIA

DETERMINACIÓN DE LA POTENCIA DEL VENTILADOR

- **Supuesto un caudal medio** $Q = \sqrt{Q_v \cdot Q_F}$ **la pérdida de carga en la tubería será:**

$$\Delta X = nrlQ^2$$

r= resistividad o resistencia lineal en un conducto de ventilación (ver transparencia siguiente). Debe introducirse en Kilomurgues.

La pérdida de carga es igual al producto de la Resistencia total del tramo (en este caso de tramo de tubería), por el cuadrado del caudal circulante por la misma.

- **El punto de funcionamiento del ventilador es:**

$$Q_v = Q_f + \theta(P_f)^{1/2}$$

$$\Delta H = \Delta X + P_f$$

Pf= La Presión dinámica en el frente, representa la energía gastada en el retorno del aire a través del túnel o galería.

FUENTE: Toraño Álvarez, A.J.

VENTILACIÓN SECUNDARIA

DETERMINACIÓN DE LA POTENCIA DEL VENTILADOR

- **Las tuberías de canalización del aire en fondo de saco pueden ser flexibles (soplantes lisos o aspirantes reforzados con aros de acero) o rígidas (tuberías metálicas).**

- **El kilomurgue es la resistencia al paso de 1 m3/s en un conducto que da lugar a la pérdida de carga de 1 mm de columna de agua.**

- **La resistencia lineal de un conducto de ventilación se calcula por la fórmula:**

$$r = 15{,}3\lambda \, P / S^3$$

r= resistencia lineal en m/m, P = perímetro en m, S= sección recta en m^2

- **Si se opera con el sistema internacional:**

$$r = 0{,}153 \cdot \lambda \cdot \frac{P}{S^3}$$

r= resistencia lineal en Ns^2/m^9, P = perímetro en m, S= sección recta en m^2

ESTA FÓRMULA ES APLICABLE TANTO A LA S TUBERÍAS, COMO A LOS TÚNELES O GALERÍAS

FUENTE: Toraño Álvarez, A.J.

VENTILACIÓN SECUNDARIA

DETERMINACIÓN DE LA POTENCIA DEL VENTILADOR

$$r = 15{,}3\lambda \, P/S^3 \qquad r = 0{,}153 \cdot \lambda \cdot \frac{P}{S^3}$$

Valores típicos de λ

λ = 0.024 tubería rígida o flexible soplante

λ = 0.080 tubería flexible armada soplante

λ = 0.107 tubería flexible armada aspirante

λ = 0.050 túnel carretero con pared gunitada

λ = 0.300 galería de mina tradicional entibada con cuadro metálico

Valores de r para distintos materiales y diámetros de tubería (Evita realizar todo el cálculo para la tubería)

Ø tubería mm	Metálica sop./asp. (μ/m)	Flexible sop. (μ/m)	Flexible asp. (μ/m)
150	-	-	2900
300	900	1100	1800
400	260	260	800
500	70	70	260
600	28	30	120
700	15	13,5	65
800	8	8	25
900	4	4,6	-
1000	2,2	3	8
1100	1,2	1,8	3,6
1200	0,73	1,32	2
1300	0,4	0,8	1,5
1400	0,22	0,70	1,10
1500	0,20	0,45	0,80
1600	0,15	0,36	0,50
1700	0,12	0,26	0,35
1800	-	0,20	0,20
1900	-	0,153	-
2000	-	0,130	0,14
2100	-	0,115	-
2200	-	0,084	-
2300	-	0,073	-
2400	-	0,062	-
2500	-	0,044	-
2600	-	0,042	-
2700	-	0,040	-
2800	-	0,034	-

VENTILACIÓN SECUNDARIA

DETERMINACIÓN DE LA POTENCIA DEL VENTILADOR

Al seleccionar el modelo del ventilador del catálogo se escogerá aquel cuya curva quede por encima del punto de funcionamiento requerido, ya que será el que satisfaga las demandas.

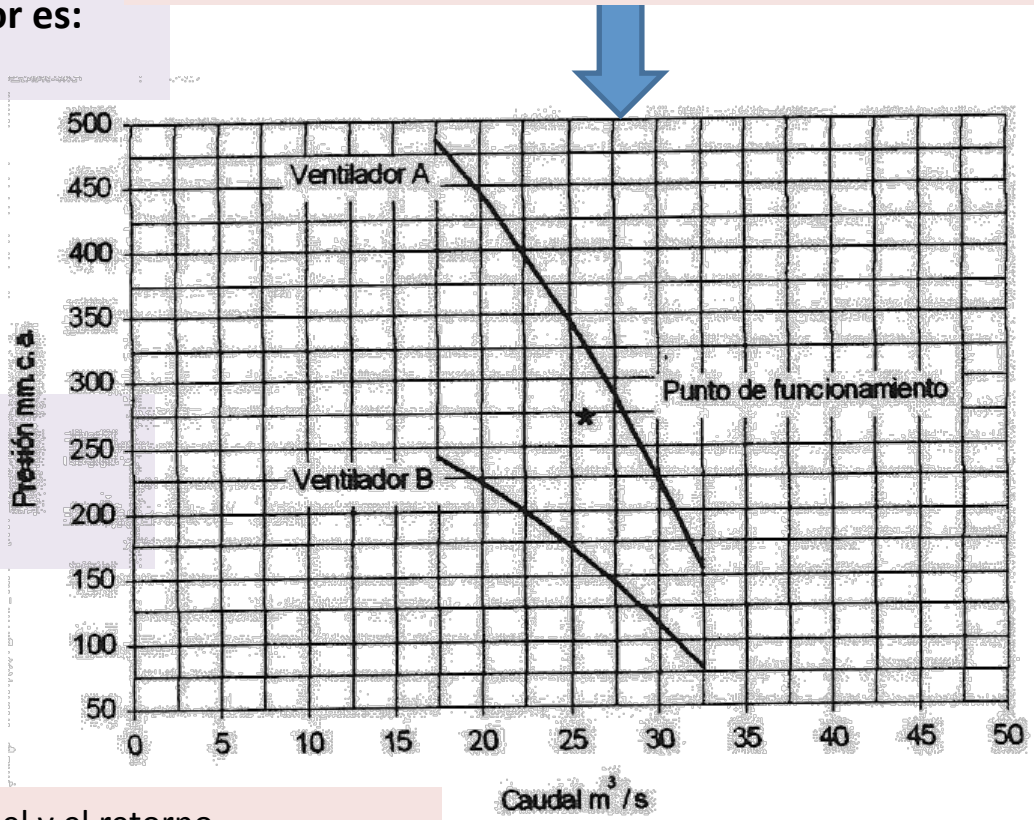
El punto de funcionamiento del ventilador es:

$$Q_v = Q_f + \theta(P_f)^{1/2}$$

$$\Delta H = \Delta X + P_f$$

La potencia del ventilador será:

$$P = \Delta H \cdot Q / \eta$$



H= pérdida total de carga en el túnel y el retorno.
Q= caudal total (requerido en el frente y pérdidas de caudal)
h= Eficiencia del equipo

FUENTE: Toraño Álvarez, A.J.

VENTILACIÓN SECUNDARIA

I.T.C 04.7.01: CIRCULACIÓN DE LA CORRIENTE DE AIRE

Todas las labores subterráneas accesibles deben estar recorridas por una corriente regular de aire, suficiente y en armonía con las condiciones del trabajo y del criadero.

- El aire exterior introducido estará exento de gases, vapores y polvos nocivos o peligrosos.
- El caudal mínimo de aire de cada labor, mina o cuartel independiente será función del número de personas presentes en el relevo más numeroso a razón de 40 litros por persona y segundo. El reparto de aire en cada taller será proporcional a los efectivos de cada uno de ellos. Caso de existir semovientes, se calcularán 120 litros por segundo y unidad.
- En las minas con ventilación natural, se dispondrá de medios de ventilación artificial para regularizarla cuando no sea capaz de cumplir las condiciones exigidas.
- Las galerías serán accesibles en todos sus puntos, incluso a los equipos de salvamento provistos de sus aparatos respiratorios.
- En las labores en fondo de saco en actividad, de más de 15 metros en horizontal o de 5 metros en pendiente, se establecerá una circulación secundaria con conducción independiente, donde para el caso de más de 300 metros en horizontal o de 50 metros en pendiente, se solicitará la autorización de la autoridad minera competente.
- Siempre que sea posible, la dirección de la corriente de ventilación será tal que en caso de parada de los ventiladores generales la corriente natural conserve el mismo sentido, evitando la inversión.

VENTILACIÓN SECUNDARIA

I.T.C 04.7.01: CIRCULACIÓN DE LA CORRIENTE DE AIRE

Los pozos o galerías deben ser distintos para entrada y salida de aire. Sólo en casos excepcionales y en las labores preparatorias, la entrada y salida de aire podrá hacerse por un mismo pozo o galería, con la debida separación y con arreglo al proyecto que el explotador presente a la autoridad minera competente y las condiciones que ésta fije, a la vista del mismo.

Si las galerías de ventilación atravesasen rellenos, éstos se conservarán impermeables, evitando el arrastre de polvo. Los rellenos de los tajos de arranque se llevarán a distancia conveniente de los frentes, a fin de que la corriente sea activa e impida la acumulación de gases o polvos nocivos.

La velocidad de la corriente de ventilación no será superior a 8 m/s., salvo en los pozos, traviesas y retornos principales que no se utilicen normalmente para transporte de materiales o circulación de personal ó a propuesta razonada del explotador y autorización de la autoridad minera competente.

VENTILACIÓN SECUNDARIA

I.T.C 04.7.02: CONCENTRACIONES LÍMITE DE GASES, TEMPERATURA, HUMEDAD Y CLIMA.

La corriente de ventilación establecida deberá ser capaz de diluir y expulsar los polvos y gases nocivos, suministrar aire respirable e impedir la elevación de la temperatura de las labores, que ***no excederá de 33 °C*** de temperatura equivalente en ningún lugar donde regularmente trabaje el personal.

La temperatura equivalente del cuartel: $T_{equivalente} = 0,9 \times T_{húmeda} + 0,1 \times T_{\sec a}$

- En los trabajos subterráneos con elevadas temperaturas se tomarán éstas diariamente, en los sitios en los que la temperatura equivalente excede de 30 °C, anotándolas en un registro. Además se medirá la temperatura del aire a la entrada y salida general.
- En casos especiales podrá trabajarse a temperatura equivalente superior a 33 ° C, previa autorización especial de la autoridad minera y en las condiciones fijadas por ella. También podrá trabajarse a temperaturas equivalentes superiores a 33 ° C en casos urgentes, lo que se realizará con las debidas precauciones y bajo el control constante de personal técnico.

VENTILACIÓN SECUNDARIA

I.T.C 04.7.03: CONDUCCIÓN DE LA CORRIENTE DE AIRE: VENTILADORES PRINCIPALES Y PUERTAS.

- **Ventiladores principales:**
  - Cuando la ventilación natural sea insuficiente para mantener las exigencias generales de ventilación, se instalarán ventiladores principales.
  - En las minas de carbón será siempre obligatorio el empleo de ventiladores principales.
  - El régimen de marcha, el arranque o parada, y las medidas a tomar en caso de parada accidental de los ventiladores principales, tanto del exterior como del interior, será objeto de una disposición interna de seguridad.
  - Cuando los ventiladores principales no sean objeto de vigilancia permanente, deben preverse aparatos que señalen su parada accidental en locales ocupados permanentemente.

VENTILACIÓN SECUNDARIA

I.T.C 04.7.03: CONDUCCIÓN DE LA CORRIENTE DE AIRE: VENTILADORES PRINCIPALES Y PUERTAS.

➢ Puertas de ventilación:

- Las labores se dispondrán de manera que se evite, en lo posible, el empleo de puertas para dirigir o dividir la corriente de aire. Las puertas destinadas a repartir la ventilación se establecerán de modo que aseguren el paso de un volumen de aire regulado según las necesidades, y se cierren a favor de la corriente.
- Las puertas principales de ventilación deberán ser dobles e ignífugas, cuando constituyan la única separación entre las corrientes principales de entrada y retorno de la mina, debiendo instalarse convenientemente espaciadas para que, durante su utilización como paso, una permanezca siempre cerrada.
- Las puertas estarán señalizadas. Queda prohibida la circulación simultánea de personas y trenes por la misma puerta, a no ser que dispongan de pasos distintos.
- Toda persona que haya abierto una puerta de ventilación debe asegurarse que ésta queda cerrada. Excepto durante el paso de los trenes, queda prohibido fijarlas en posición abierta. Si ya no cumplieran su objetivo, aunque sea temporalmente, deberán retirarse.
- Las puertas de socorro previstas para hacer frente a determinadas eventualidades -fuegos, explosiones, etc.- se mantendrán normalmente sacadas de sus goznes y se dispondrán de forma que puedan instalarse rápidamente.

VENTILACIÓN SECUNDARIA

EJEMPLO

- **Túnel de 500 m de longitud con sección excavada de 100 m², ejecutado mediante avance (sección de 76 m²) y destroza (sección de 24 m²), con perforación y voladura. La potenciaDiesel instalada es de 2380 Cv, con un factor de simultaneidad del 60%. El número de operarios será de 20. Para la estimación del caudal requerido para la dilución del tapón de gases de la voladura, se seguirán las prescripciones de la normativa francesa (300 l/(s·m²)).**

CAUDAL DE AIRE NECESARIO

- **Caudal para el personal: (ITC 04.07.1, 40 l/persona)**

$$Q_1 = \frac{20\,personas \cdot 40\,\frac{l \cdot persona}{s}}{1000} = 0{,}8 m^3/s$$

- **Caudal por máquinas diesel:**

NOTA: La normativa de túneles recomienda 0,066 (m^3/s)·P_{kw}

$$Q_2 = 2380 cv \cdot 0{,}736\,\frac{kw}{cv} \cdot 0{,}066\,\frac{m^3}{s} \cdot 0{,}60 = 69{,}36 m^3/s$$

VENTILACIÓN SECUNDARIA

EJEMPLO

CAUDAL DE AIRE NECESARIO

Caudal para la dilución de humos de la voladura

$$Q_1 = \frac{300(l/s)\cdot 76m^2}{s} = 22{,}8m^3/s$$

Al actuar simultáneamente durante la operación equipos y operarios, los requerimientos de caudal se suman, ya que es una demanda simultánea

$$Q_1 + Q_2 = 0{,}8 + 69{,}36 < 22{,}8 = Q_3$$

Tras comparar el caudal requerido para los operarios y la dilución de los gases de escape de los equipos Diesel con el requerido para la dilución del tapón de gases de la voladura, al ser mayor la suma de los primeros, es ese el caudal resultante requerido. De haber sido mayor el caudal para la dilución de gases, ése sería el resultante a considerar.

En caso de haber aplicado un cálculo basado en el consumo específico de explosivo, debiendo tener en cuenta la expresión exponencial que liga las concentraciones inicial y final de los diversos gases, par un tiempo de dilución de media hora, los caudales requeridos hubiesen sido de 3,85 m^3/s, valor muy inferior al adoptado por condiciones de enunciado

¿El caudal obtenido proporciona una velocidad de circulación del aire en el retorno conforme a la ITC 04.7.01? 0,92 está comprendido entre 0,2 y 8 m/s, por lo que el caudal calculado cumplirá dicha condición

$$v = \frac{Q}{s} = \frac{0{,}8 + 69{,}36}{76} = \frac{70{,}16}{76} = 0{,}92\frac{m}{s}$$

MODIFICADO DE : Toraño Álvarez, A.J.

VENTILACIÓN SECUNDARIA

EJEMPLO

FUGAS

VELOCIDAD:

$$V_F = \frac{Q_F}{s} = \frac{Q_F}{\pi \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2} = \frac{70{,}16}{\pi \cdot \left(\frac{1{,}6}{2}\right)^2} = 34{,}89 m/s$$

Diámetro de la tubería, 1600 mm.

PRESIÓN DINÁMICA

$$P_F = \gamma \frac{V^2}{2g} = 13 \frac{N}{m^3} \cdot \frac{34{,}89^2}{2 \cdot 9{,}81} = 806{,}58 Pascales$$

Peso específico del aire

FUENTE: Toraño Álvarez, A.J.

VENTILACIÓN SECUNDARIA

EJEMPLO

FUGAS

TIPO DE INSTALACIÓN : REGULAR

$$P_F = \gamma \frac{V^2}{2g} = 13 \frac{N}{m^3} \cdot \frac{34{,}89^2}{2 \cdot 9{,}81} = 806{,}58 Pascales = 80{,}66 mmc.agua$$

Coeficiente de fugas (θ)	Calidad de la instalación
1×10^{-6}	Excelente
$0{,}5 \times 10^{-5}$	Buena
1×10^{-5}	Muy Buena
$0{,}5 \times 10^{-4}$	Regular
$0{,}5 \times 10^{-3}$	Mala
1×10^{-3}	Muy Mala

$$Q_v - Q_f = \theta \cdot (P_f)^{1/2} nl = 0{,}5 \cdot 10^{-4} \cdot \sqrt{80{,}66} \cdot 1 tramo \cdot 500 m = 0{,}225 m^3 / s$$

FUENTE: Toraño Álvarez, A.J.

VENTILACIÓN SECUNDARIA

EJEMPLO

CAUDAL DE RÉGIMEN DE TRABAJO DEL VENTILADOR

$$Q_v = Q_{FRENTE} + Q_{FUGAS} = Q_F + \theta \cdot (P_f)^{1/2} nl = 70{,}16 + 0{,}225 = 70{,}38 m^3/s$$

PÉRDIDAS DE CARGA

El caudal medio circulante por la tubería a introducir para el cálculo de la pérdida de carga en la misma se determina según la expresión siguiente:

$$Q_{medio} = \sqrt{Q_{VENTILADOR} \cdot Q_{FRENTE}} = \sqrt{Q_v \cdot Q_f} = \sqrt{70{,}16 \cdot 70{,}38} = 70{,}26$$

FUENTE: Toraño Álvarez, A.J.

VENTILACIÓN SECUNDARIA

EJEMPLO

PÉRDIDAS DE CARGA

$$\Delta X = nrlQ^2 = 1tramo \cdot (0{,}36/1000) \cdot 500 \cdot (70{,}26)^2 = 888{,}56 mm_c.a.$$

Ø tubería mm	Metálica sop./asp. (µ/m)	Flexible sop. (µ/m)	Flexible asp. (µ/m)
150	-	-	2900
[illegible]	900	1100	1800
400	260	260	800
500	70	70	260
600	28	30	120
700	15	13,5	65
800	8	8	25
900	[illegible]	4,6	-
1000	2,[illegible]	3	8
1100	1,2	1,8	3,6
1200	0,73	1,32	2
1300	0,4	0,8	1,5
1400	0,22	0,70	1,10
1500	0,20	0,45	0,80
1600	0,15	0,36	0,50
1700	0,12	0,26	0,35

$$\Delta H = \Delta X + P_f = 888{,}56 + 80{,}58 = 969{,}14 mm_c.a.$$

FUENTE: Toraño Álvarez, A.J.

VENTILACIÓN SECUNDARIA

EJEMPLO

PUNTO DE FUNCIONAMIENTO Y POTENCIA DEL VENTILADOR

$$Q_v = Q_{FRENTE} + Q_{FUGAS} = Q_F + \theta \cdot (P_f)^{1/2} nl = 70{,}16 + 0{,}225 = 70{,}38 m^3/s$$

$$\Delta H = \Delta X + P_f = 888{,}56 + 80{,}58 = 969{,}14 mm_c.a. = 9691{,}4 Pa$$

POTENCIA

$$P = \Delta H \cdot Q / \eta = (9691{,}4 Pa \cdot 70{,}38 m^3/s) / 0{,}8 = 852600 W = 852{,}600 kW$$

Debe prestarse especial atención a las unidades. Al introducirlas en Pa y m^3/s, el resultado se obtiene en W

FUENTE: Toraño Álvarez, A.J.

VENTILACIÓN SECUNDARIA

EJEMPLO

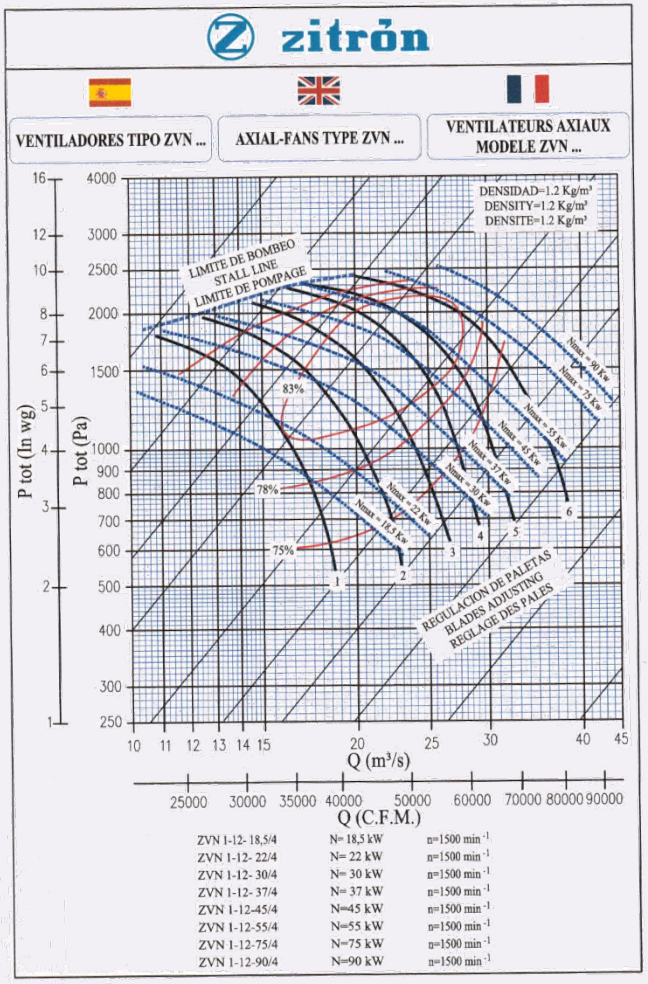
PUNTO DE FUNCIONAMIENTO Y POTENCIA DEL VENTILADOR

PROYECTO DE TÚNEL EN LA AUTOVIA A23 DE MONREPOS EN HUESCA.

VENTILACIÓN SECUNDARIA

EJEMPLO

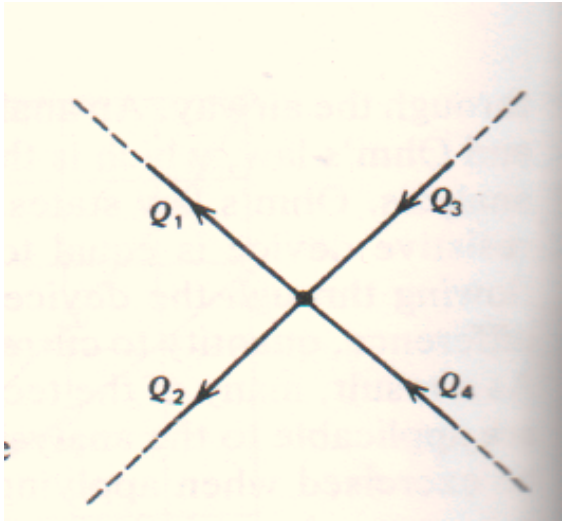
PUNTO DE FUNCIONAMIENTO Y POTENCIA DEL VENTILADOR



VENTILACIÓN PRIMARIA

CIRCUITOS DE VENTILACIÓN

PRIMERA LEY DE KIRCHOFF



$$\Sigma Q = 0$$

$$Q_1 + Q_2 = Q_3 + Q_4$$

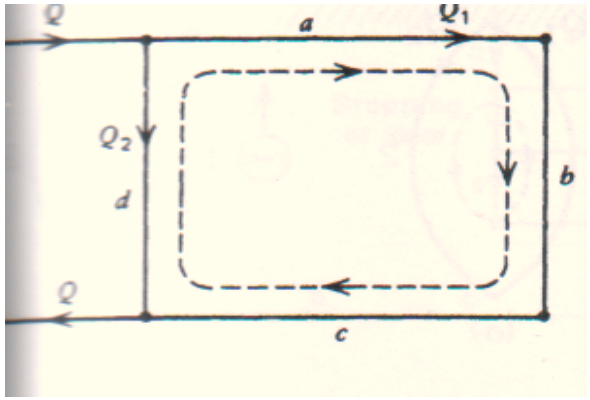
Conocidos los requerimientos de ventilación de las diversas zonas de la mina, debe plantearse el esquema general, estableciéndose el circuito general de ventilación, o lo que es lo mismo, la ventilación primaria de la mina.

EL PLANTEAMIENTO DE LOS CIRCUITOS DE VENTILACIÓN ES SIMILAR AL DE LOS ELÉCTRICOS. PUEDEN DISTINGUIRSE RAMAS Y NODOS

VENTILACIÓN PRIMARIA

CIRCUITOS DE VENTILACIÓN

SEGUNDA LEY DE KIRCHOFF



$$\Sigma H_l = 0$$

$$H_l = H_{l_a} + H_{l_b} + H_{l_c} - H_{l_d} = 0$$

$$\Sigma H_l = R_a|Q_1|Q_1 + R_b|Q_1|Q_1 + R_c|Q_1|Q_1 - R_d|Q_1|Q_1 = 0$$

EL PLANTEAMIENTO DE LOS CIRCUITOS DE VENTILACIÓN ES SIMILARES AL DE LOS ELÉCTRICOS. PUEDEN DISTINGUIRSE RAMAS Y NODOS

VENTILACIÓN PRIMARIA

CIRCUITOS DE VENTILACIÓN

a) Circuitos en serie y circuitos en paralelo

1.º *En los circuitos en serie, las resistencias se suman:*

$$R = R_1 + R_2 + \ldots\ldots + R_n \qquad [3]$$

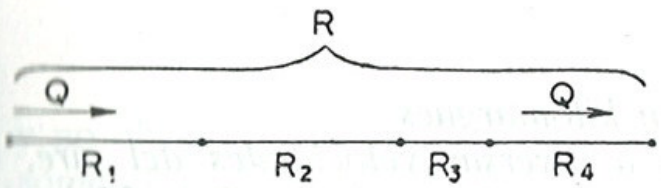


FIG. II-3. — Circuitos en serie.
$(R = R_1 + R_2 + R_3 + R_4)$.

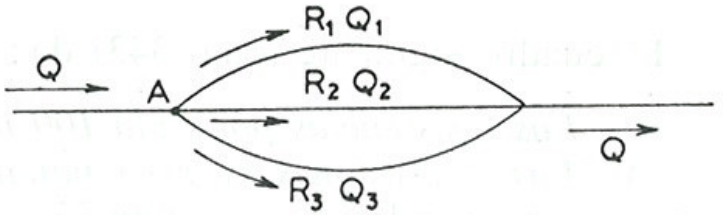


FIG. II-4. — Circuito en paralelo.
$\left(\frac{1}{\sqrt{R}} = \frac{1}{\sqrt{R_1}} + \frac{1}{\sqrt{R_2}} + \frac{1}{\sqrt{R_3}}\right)$

2.º *En los circuitos en paralelo que tengan el mismo punto de partida y el mismo punto de llegada,* se tienen las relaciones:

$$Q = Q_1 + Q_2 + \ldots\ldots + Q_n \qquad [4]$$

$$H = R_1 Q_1^2 = R_2 Q_2^2 = \ldots\ldots = R_n Q_n^2 \qquad [5]$$

FUENTE: VIDAL, A.

VENTILACIÓN PRIMARIA

CIRCUITOS DE VENTILACIÓN SIMPLES

Se define la resistencia equivalente R del conjunto de estos circuitos por la fórmula $H = R\,Q^2$, donde Q es el caudal total. Las relaciones pueden entonces escribirse:

$$Q\sqrt{R} = Q_1\sqrt{R_1} = Q_2\sqrt{R_2} = \ldots\ldots = Q_n\sqrt{R_n}$$

o aún:

$$\frac{Q}{\sqrt{1/R}} = \frac{Q_1}{\sqrt{1/R_1}} = \frac{Q_2}{\sqrt{1/R_2}} = \ldots\ldots$$

$$= \frac{Q_n}{\sqrt{1/R_n}} = \frac{Q_1 + Q_2 + \ldots\ldots + Q_n}{\sqrt{1/R_1} + \sqrt{1/R_2} + \ldots\ldots + \sqrt{1/R_n}} \qquad [6]$$

De las fórmulas [4] y [6] se deduce la relación siguiente, que da el valor de la resistencia equivalente:

$$\boxed{\frac{1}{\sqrt{R}} = \frac{1}{\sqrt{R_1}} + \frac{1}{\sqrt{R_2}} + \ldots\ldots + \frac{1}{\sqrt{R_n}}} \qquad [7]$$

Las relaciones sencillas [3], [4], [5] y [7] se emplean constantemente en los cálculos de ventilación.

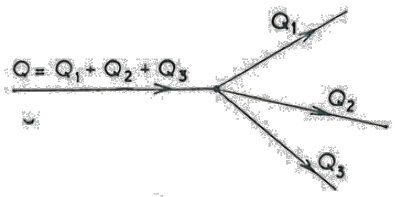


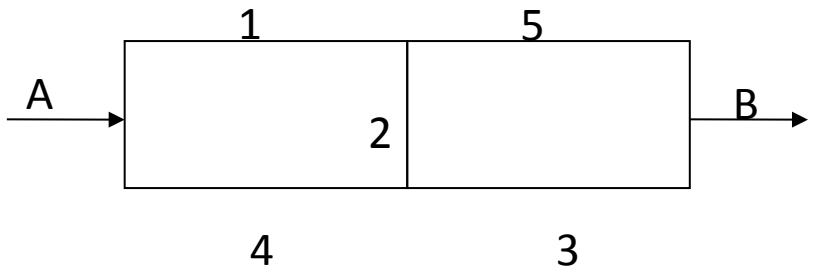
FIG. II-5. — Repartición del gasto de aire.

FUENTE: VIDAL, A.

VENTILACIÓN PRIMARIA

CIRCUITOS DE VENTILACIÓN

CIRCUITO EN DIAGONAL



Propiedades:

1) Igualdad de depresiones de las corrientes principales entre los puntos de bifurcación

$$H_1 = H_4$$

$$H_5 = H_3$$

2) Sentido de flujo en 2 es variable

Existen varios métodos de resolución: (igualación de depresiones, delta estrella, Hardy cross).

Menor depresión entre las dos salidas de el circuito que en los extremos de cuarteles en paralelo (inadecuado en minas propicias a incendio y grisuosas)

VENTILACIÓN PRIMARIA

CURVAS CARACTERÍSTICAS DE UNA MINA

MÉTODO HARDY CROSS, APLICADO AL CALCULO DE VENTILACION

Este método constituye un caso particular de los procedimientos de cálculo denominados de relajamiento y resuelve sistema de ecuaciones simultáneas, partiendo de un ***juego de valores arbitrarios*** que satisfagan algunas de las ecuaciones.

El ajuste a la solución exacta es mediante la reducción de un valor de error, variando los valores para partir nuevamente el cálculo hasta conseguir un residuo mínimo.

FUNDAMENTOS: La ley de circulación de fluido por un conductor:

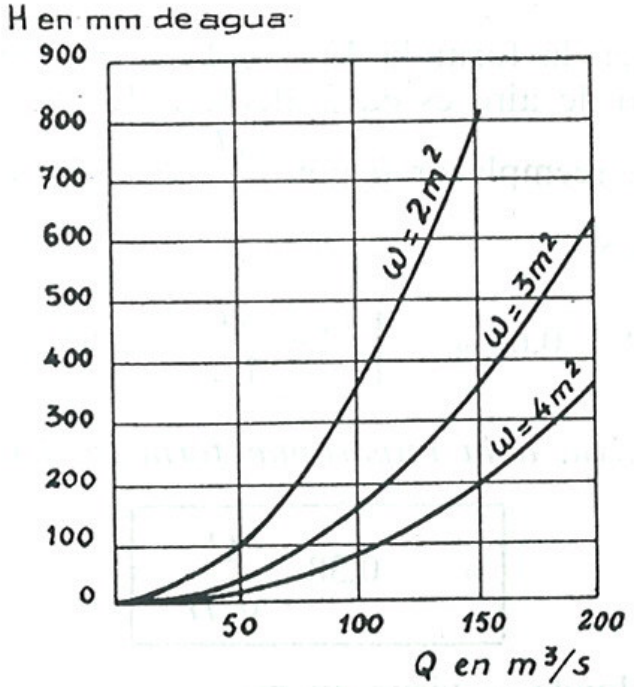
$$\Delta H = R \cdot Q^n$$

DH: Pérdida de presión en el circuito (mm ac)
R: Resistencia del circuito
Q: Caudal circulante (m^3/sg).

Para el cálculo de diferencia de error en la pérdida de carga y en el caudal, derivando respecto a Q, resulta:

$$\frac{dH}{dQ} = n \cdot R \cdot Q^{(n-1)} \rightarrow \Delta Q = \frac{\Delta H}{n \cdot R \cdot Q_a^{(n-1)}}$$

$$\Delta H = \frac{(0,38)^2}{\varpi^2} \cdot Q^2$$



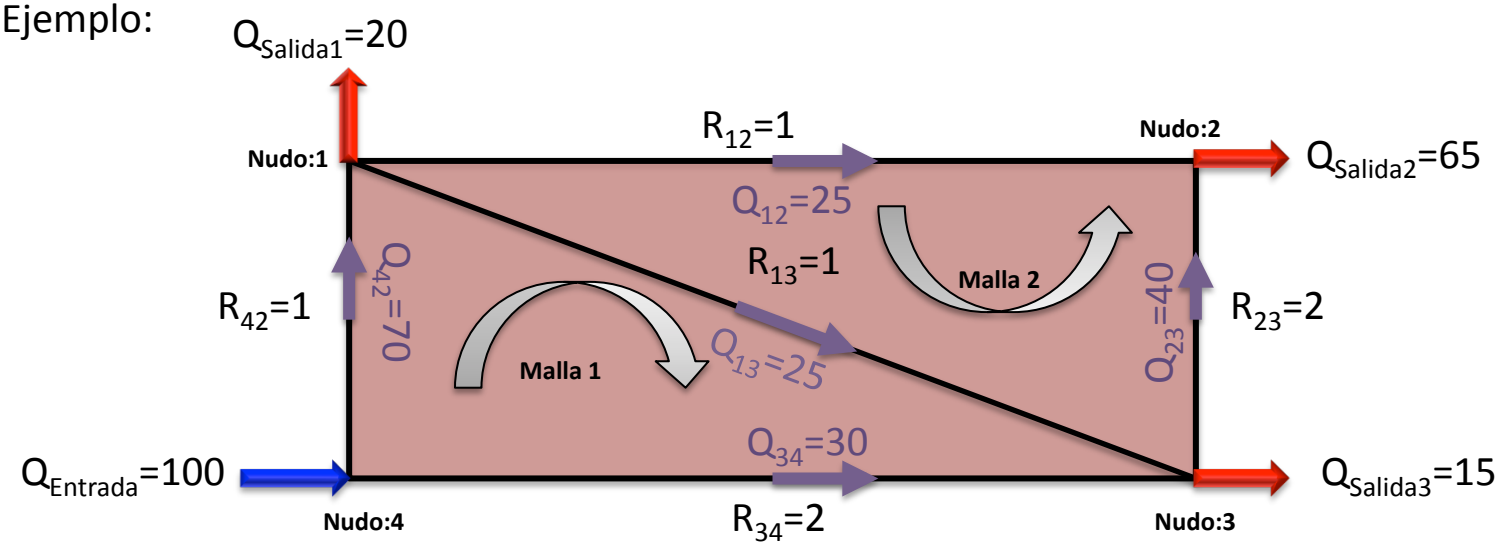
Para un edificio equivalente de 3 m², si se duplica el caudal se cuadriplica la depresión.

VENTILACIÓN PRIMARIA

CURVAS CARACTERÍSTICAS DE UNA MINA

MÉTODO HARDY CROSS, APLICADO AL CALCULO DE VENTILACION

Ejemplo:



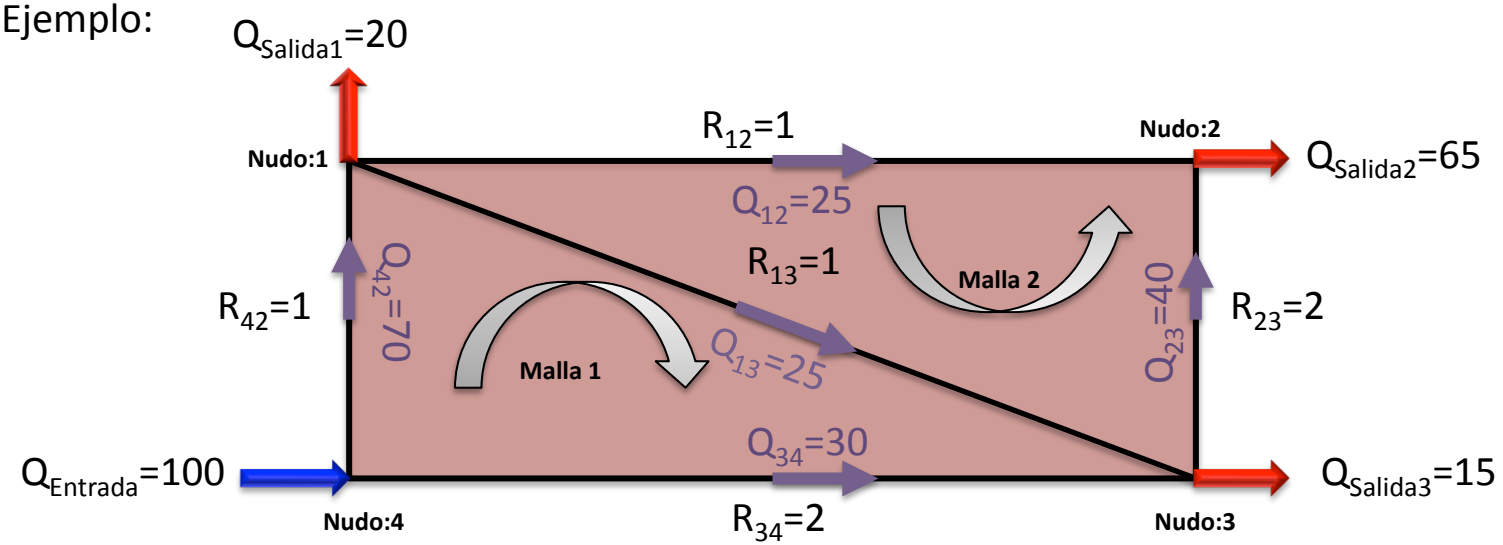
Aplicando criterios, obtengamos ajuste: $\frac{dH}{dQ} = n \cdot R \cdot Q^{(n-1)} \rightarrow \Delta Q = \frac{\Delta H}{n \cdot R \cdot Q_a^{(n-1)}}$

VENTILACIÓN PRIMARIA

CURVAS CARACTERÍSTICAS DE UNA MINA

MÉTODO HARDY CROSS, APLICADO AL CALCULO DE VENTILACION

Ejemplo:



HARDY-CROSS Malla 1:

1 tanteo:

Parámetros		Resietncia (R)	Caudal (Q)	Parámetro característico (n)	Presión (H)	DQ_i (perdida de caudal)	DQ (perdida de caudal)
Malla 1	R_{42}=1		70	2	4900	140	
	R_{13}=1		25	2	625	50	12,01612903
	R_{34}=-2		30	2	-1800	120	
					SDH= 3725	**SDQ= 310**	
Malla 2	R_{13}=1		25	2	625	50	
	R_{23}=2		40	2	3200	160	12,30769231
	R_{12}=-1		25	2	-625	50	
					SDH= 3200	**SDQ= 260**	

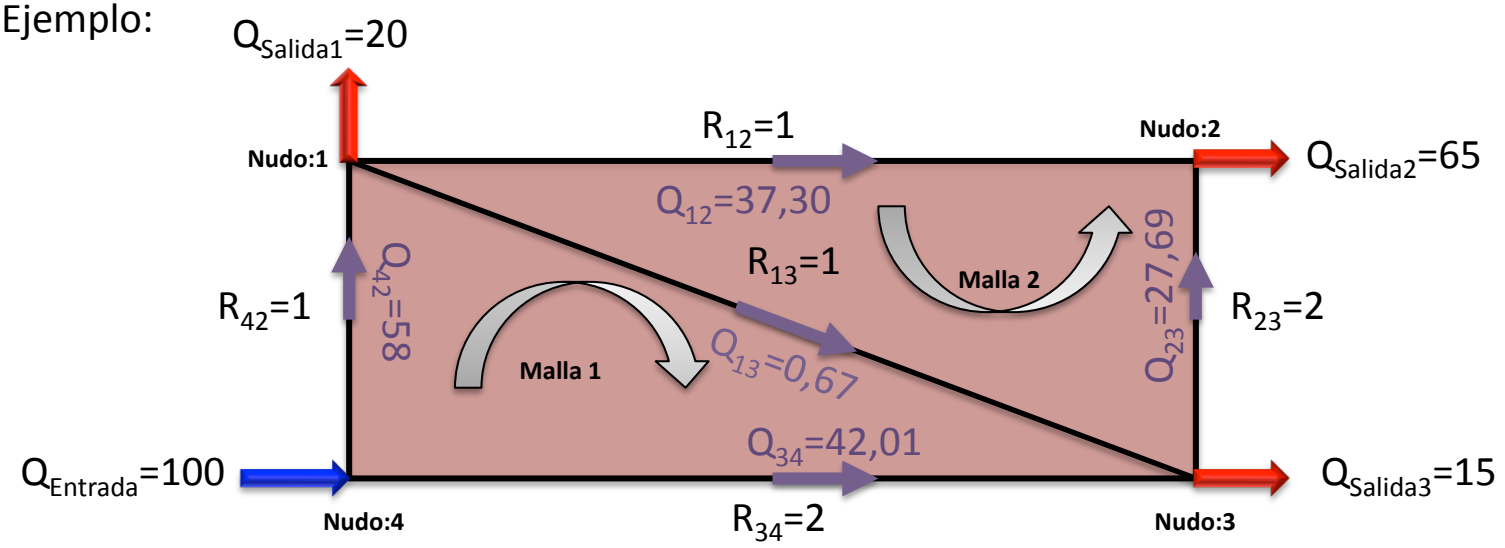
Q_{nuevo} (nuevo caudal)	
Q_{42}=	57,98387097
Q_{13}=	0,67617866
Q_{34}=	42,01612903
Q_{23}=	27,69230769
Q_{12}=	37,30769231

VENTILACIÓN PRIMARIA

CURVAS CARACTERÍSTICAS DE UNA MINA

MÉTODO HARDY CROSS, APLICADO AL CALCULO DE VENTILACION

Ejemplo:



2 tanteo:

Parámetros	Resietncia (R)	Caudal (Q)	Parámetro característico (n)	Presión (H)	DQ_i (perdida de caudal)	DQ (perdida de caudal)	Q_{nuevo} (nuevo caudal)	
Malla 1	R_{42}=1	57,98	2	3362,13	115,97		Q_{42}=	58,57
	R_{13}=1	0,68	2	0,46	1,35	-0,59	Q_{13}=	0,50
	R_{34}=-2	42,02	2	-3530,71	168,06		Q_{34}=	41,43
				SDH= -168,12	**SDQ= 285,38**		Q_{23}=	26,93
Malla 2	R_{13}=1	0,68	2	0,46	1,35		Q_{12}=	38,07
	R_{23}=2	27,69	2	1533,73	110,77	0,76		
	R_{12}=-1	37,31	2	-1391,86	74,62			
				SDH= 142,32	**SDQ= 186,74**			

BUEN RESULTADO

VENTILACIÓN PRIMARIA

TIPOS DE VENTILADORES

Ventilador axial: el rotor lleva un cubo vertical u horizontal sobre el que se han fijado una serie de paletas. El aire entra y sale paralelamente a la máquina, describiendo hélices.

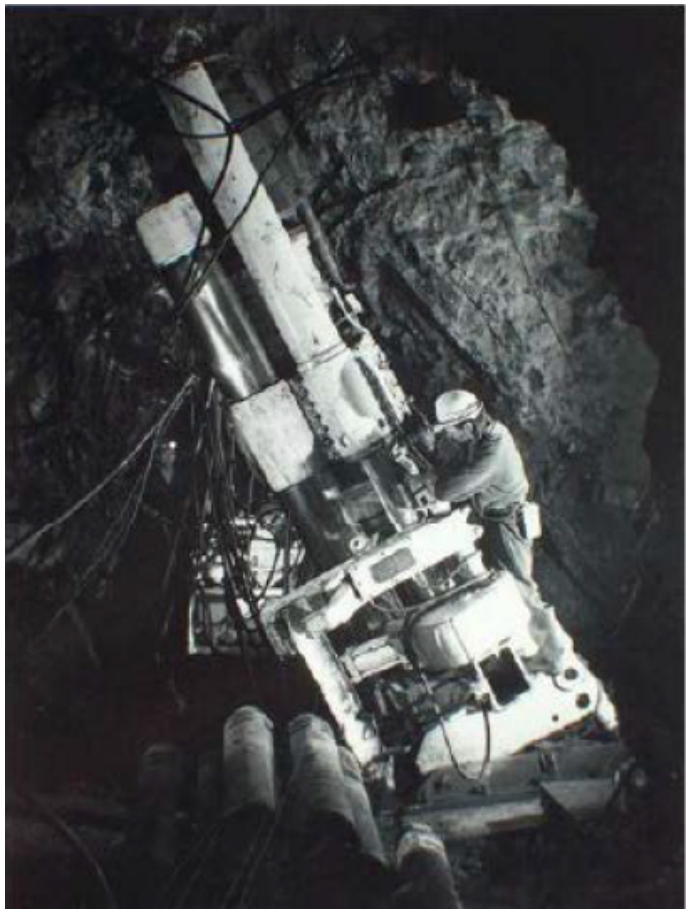
Ventilador centrífugo: El aire es admitido por el oído, orificio que rodea el cubo de un rotor horizontal de paletas. El aire sometido a sobrepresión es impulsado, por la chimenea (difusor), situada en la periferia del rotor, y perpendicularmente a su dirección de entrada.

VENTILACIÓN PRIMARIA

ACOPLAMIENTO DE VENTILADORES

VENTILADORES EN SERIE: Es posible disponer dos ventiladores en serie, obteniéndose entonces una depresión de aproximadamente el doble de la de cada ventilador. Es preciso que los ventiladores sean idénticos: si uno da un caudal superior, el otro trabajaría en condiciones desfavorables, transformándose en calor la diferencia de caudal.

VENTILADORES EN PARALELO: La regulación del sistema no es fácil. Conviene no confundir con la disposición en la que uno de los ventiladores sirve de reserva en caso de accidente, o durante las revisiones



EJECUCIÓN DE CHIMENEAS MEDIANTE RAISE BORING

RAISE BORING (PARA EJECUCIÓN DE LABORES VERTICALES)

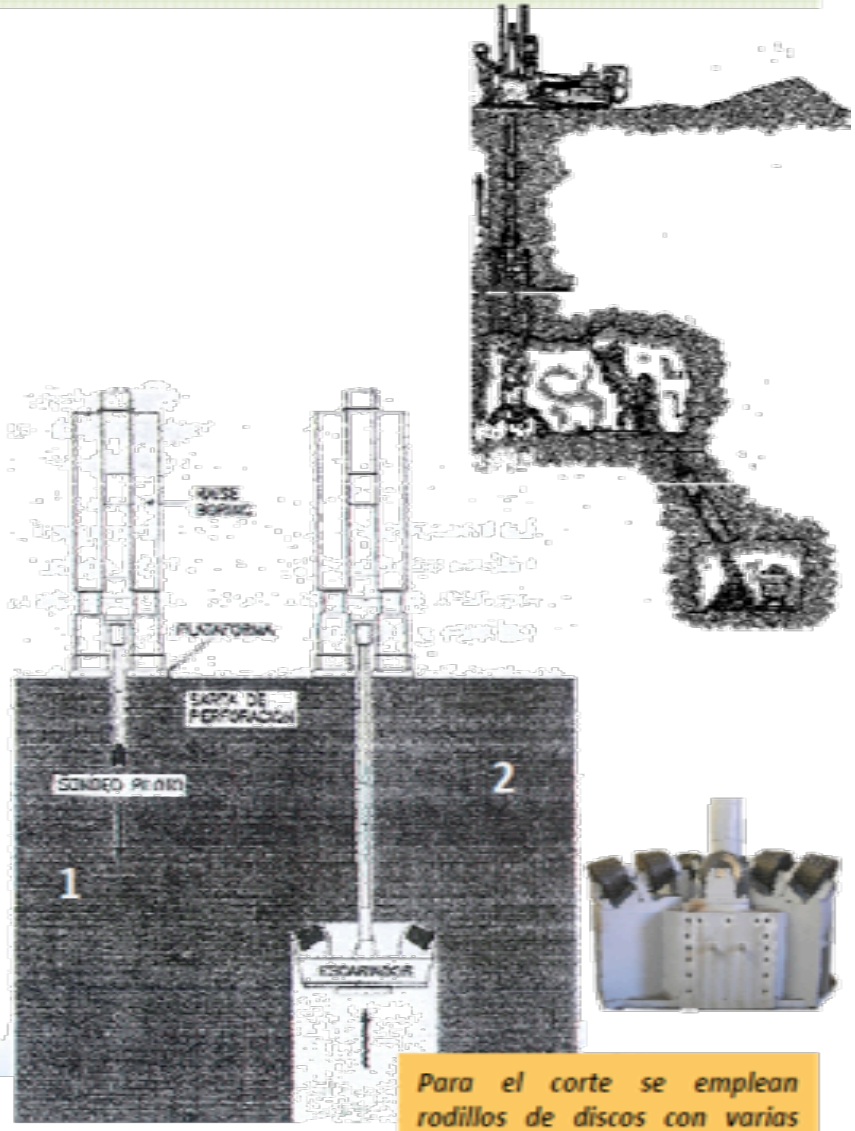
Aplicación de técnicas de sondeo a la ejecución de labores verticales.

1.-**Perforación inicial de un taladro** (frecuentemente con tricono, 225-250 mm de diámetro) hasta el nivel inferior.
2.- Seguidamente se acopla una **cabeza escariadora** que ensanche en sentido ascendente hasta alcanzar el diámetro deseado.

Evacuación de detritus mediante barrido con agua o aire, cayendo los fragmentos menores por gravedad al nivel inferior.

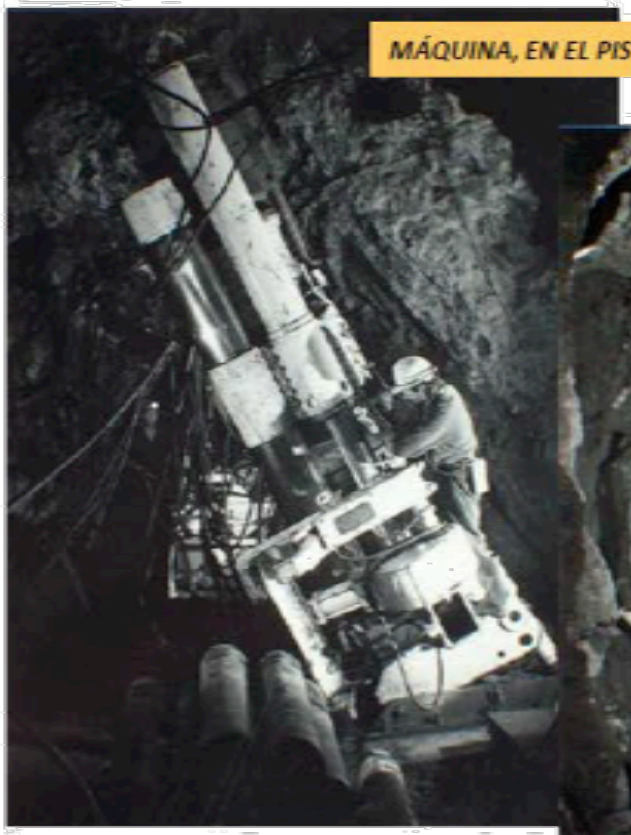
Pendientes de hasta 30º con la vertical, diámetros de hasta 2-3 m, longitudes de casi 300 m.

El Pozo de ventilación de Rustenberg Plate Mine (Sudáfrica), 6,022 m de diámetro, profundidad de 1099 m, se realizón con Raise Boring.



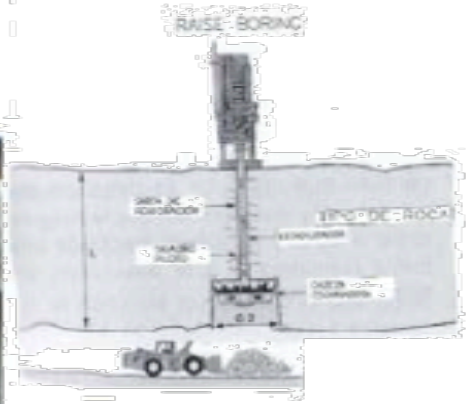
Para el corte se emplean rodillos de discos con varias filas de corte.

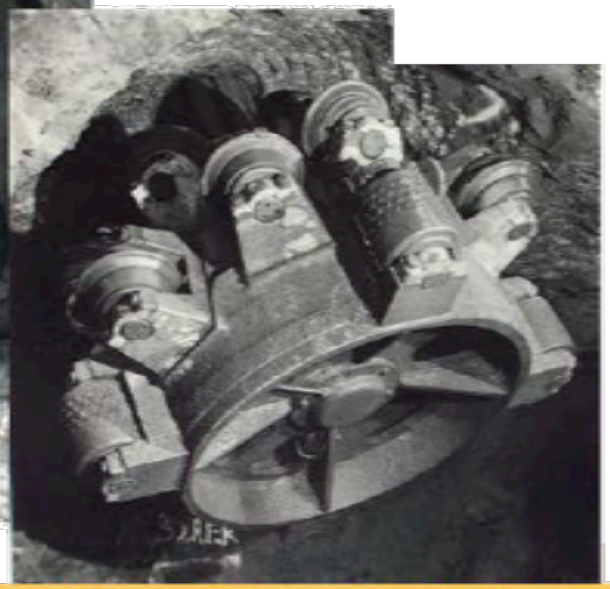
RAISE BORING (PARA EJECUCIÓN DE LABORES VERTICALES). SECUENCIA



MÁQUINA, EN EL PISO SUPERIOR

SARTA DE PERFORACIÓN CON TRICONO , YA EN EL NIVEL INFERIOR





CABEZA ESCARIADORA QUE, ACOPLADA A LA SARTA EN EL ASCENSO ENSANCHARÁ EL HUECO HASTA EL

RAISE BORING (PARA EJECUCIÓN DE LABORES VERTICALES)

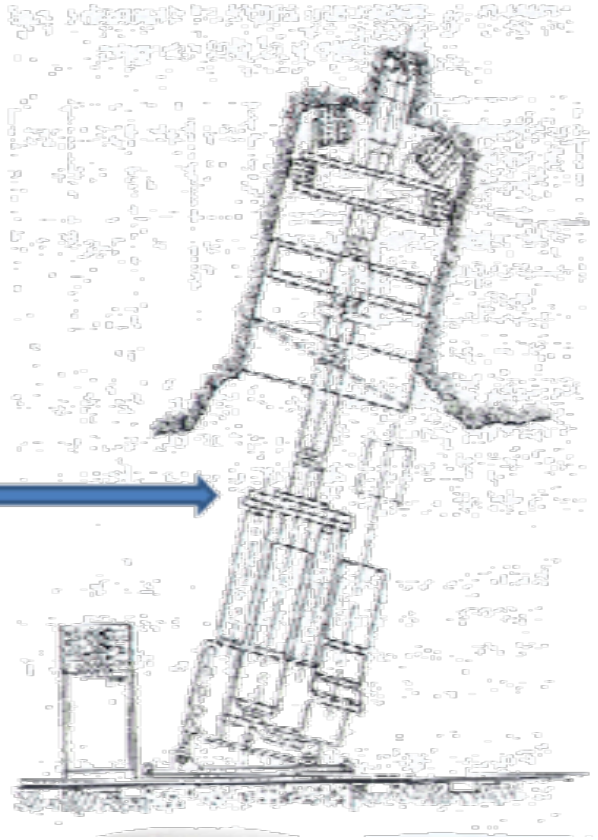
OTRAS VARIANTES DEL RAISE BORING.

- **Raise Boring Reversible:**

Perforación del taladro piloto en sentido ascendente. No necesitará agua o aire para evacuar detritus, pero la evacuación por el espacio entre el varillaje y la pared del taladro piloto es difícil, por lo que se ha de ir a diámetros mayores de éste. Se debe además proteger al perforista y la máquina (intermitencias).

- **Raise Boring para huecos ciegos:**

Avance a plena sección desde un nivel inferior, sin necesidad de barrenos pilotos. Chimeneas de escasa profundidad (menos de 400 m y diámetros iguales o menores de 2 m).



OTRAS FORMAS DE TRANSPORTE

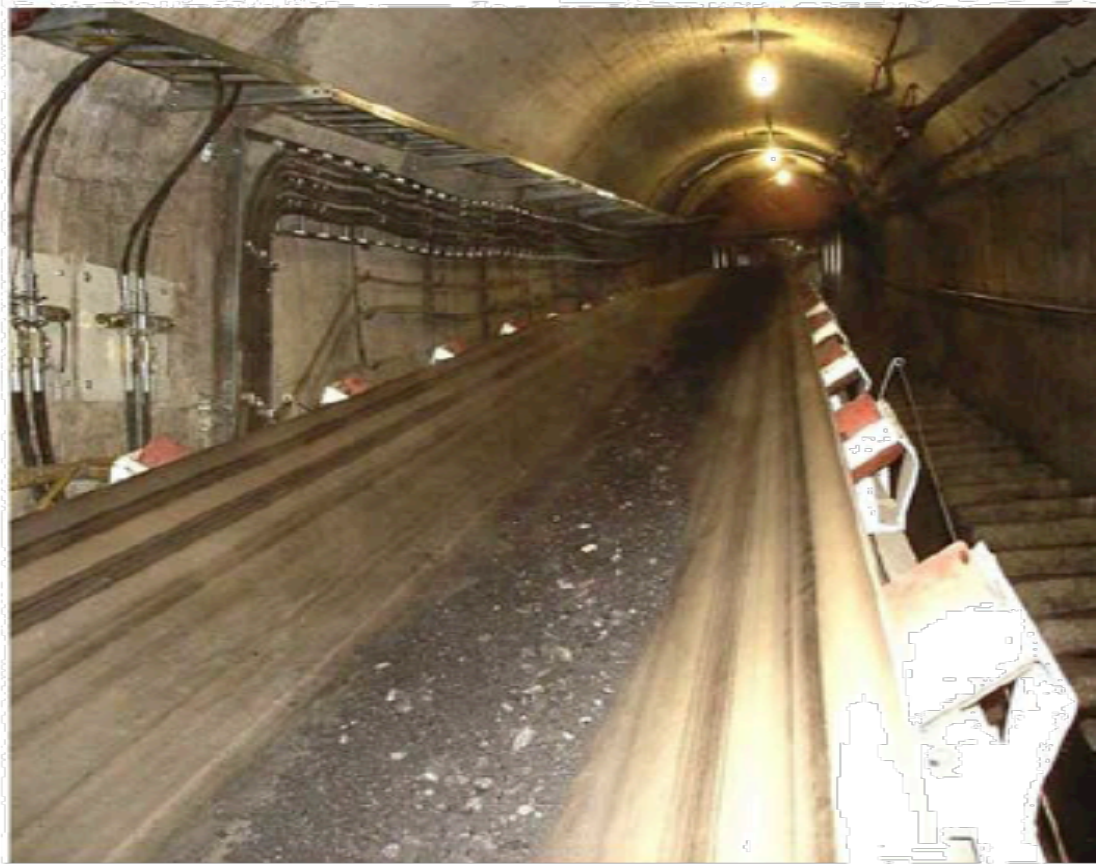
TRANSPORTE MEDIANTE CINTA TRANSPORTADORA

GENERALIDADES

- Sistema basado en cinta sinfín colocada sobre rodillos locos, en forma de artesa, arrastrada por adherencia sobre los rodillos, mediante una cabeza motriz constituida por un tambor o tambores, y un grupo motor-reductor.

- Mientras que el transportador blindado es indicado en talleres y frentes de avance (distancias cortas o en condiciones difíciles), la cinta sirve para recorridos largos en galería.

- Podrá apoyarse en la solera, o ir colgada del techo de la galería (opción con mantenimiento y limpieza más simples, y mejor centrado de la banda).



T. INGLÉS: BELT CONVEYOR

TRANSPORTE MEDIANTE CINTA

GENERALIDADES

- Puede emplearse en planos inclinados de acceso (alternativa a pozos con jaulas y skips).
- Aplicadas igualmente a cielo abierto

- Vida útil entre 10 y 30 años, en función de las condiciones de trabajo y el material.
- Coste instaladas en una mina: 600 Euros/m, incluyendo partes e instalación.
- Coste estimado anual en mantenimiento: 15 Euros/m.

APLICACIÓN DE LA CINTA TRANSPORTADORA A RAMPA INCLINADA DE EXTRACCIÓN

Fuente: "Carga, Transporte y Extracción en Minería Subterránea" Díaz Aguado, M.B. 2006

TRANSPORTE MEDIANTE CINTA TRANSPORTADORA

ÁMBITO DE APLICACIÓN

- Se emplean en el transporte de materiales en gran parte constituidos por granulometrías pequeñas (80-90%), tradicionalmente inferiores a 250 mm (hoy día valor superado).

- Permiten el transporte de materiales de alta densidad, incluso superiores a las 2 Tm/m^3_{suelto}

- Por lo general pendientes inferiores a los 16-18º de pendiente si se trata de cintas convencionales, pero con modificaciones e rebasa dicho límite.

TRANSPORTE MEDIANTE CINTA

CLASIFICACIÓN GENERAL DE CINTAS

TIPO DE CINTA	DESCRIPCIÓN
Cintas fijas	Posición invariable por periodos prolongados. Apoyos fijos o, en minería de interior, dispuestas colgando del techo de la galería
Cintas semifijas	Permiten desplazamientos frecuentes mediante equipos auxiliares, de forma que desde cada posición se explota un bloque o módulo de estéril o mineral. Tratan de adaptarse a un terreno suave siguiendo el trazado de su perfil longitudinal. Consta de elemento de cabeza con su accionamiento motorizado, elemento de cola con el sistema de tensión, y elementos intermedios que van directamente sobre el terreno sobre patines, pueden ser independientes, de 2 ó 3 m de longitud con una separación de 1 m, o estar todos unidos mediante largueros atornillados.
Cintas móviles sobre rodajes	Presentan un tren de rodaje delantero que permite su arrastre tirando de la cola trasera.

TRANSPORTE MEDIANTE CINTA

EJEMPLOS CINTAS (CIELO ABIERTO. AS PONTES)

Materiales a transportar	lignito/estéril/pizarra	
Capacidad de transporte:	5.800 T/h.	
Potencia de cada accmto	460 Kw.	
Velocidad de transporte	5,2 m/seg.	
Ancho de banda	1.600 mm.	
Tipos de banda	1.600 ST 1.600 12+6 X	
	1.600 ST 2.500 14+8 X	
Dimensiones de tambores:	Motrices:	diámetro 1.250 x 2.000
		diámetro 1.000 x 2.000
	De reenvío/tensado:	diámetro 1.000 x 2.000
		diámetro 800 x 2.000
		diámetro 1.250 x 2.000
		diámetro 400 x 2.000
Tipo de guirnaldas:	Superior:	1 rodillo central diámetro 159 x 530
		2 rodillos laterales diámetro 159 x 600
	Inferior:	2 rodillos diámetro 159 x 850
	De carga:	1 rodillo central diámetro 193,7 x 400
		2 rodillos laterales superiores diámetro 193,7 x 380
		2 rodillos laterales inferiores diámetro 193,7 x 300
Ángulo de artesa:	Superior:	45º
	Inferior:	15º
Peso de cada cabeza	149 T.(sin accmto.)	
Peso de cada cola	14 T. (sin accmto.)	
Tensiones:	de alimentación:	20 Kv
	de distribución:	380/6.000 V.
Frecuencia	50 Hz	

"25 cintas completas de 1.600 m/m de ancho (24.000 m.) y 5.800 m³/h de capacidad."

TRANSPORTE MEDIANTE CINTA

EJEMPLOS CINTAS (CIELO ABIERTO. AS PONTES)

Materiales a transportar	cenizas/estéril/pizarra	
Capacidad de transporte:	7.560 m3/h.	
Potencia de cada accmto.	460 Kw	
Velocidad de transporte	5,2 m/seg	
Ancho de banda	1.800 mm.	
Tipos de banda	1.800 ST 3.150 12 + 8 X	
	1.800 ST 3.150 14 + 8 X	
Dimensiones de tambores:	Motrices:	diámetro 1.250 x 2.000
	De reenvío/tensado:	diámetro 1.000 x 2.000
		diámetro 1.250 x 2.000
		400 x 2.000
Tipo de guirnaldas:	Superior:	1 rodillo central diámetro 159 x 530
		1 rodillo lateral diámetro x 700
	Inferior:	2 rodillos diámetro 159 x 950
	De carga:	5 rodillos diámetro 193,7 x 380
Ángulo de artesa:	Superior:	45º
	Inferior:	15º
Peso de cada cabeza	149 T.(sin accmto.)	
Peso de cada cola	14 T. (sin accmto.)	
Peso de cada pontón auxiliar	5 T.	
Tensiones:	de alimentación:	20 Kv
	de distribución:	380/6.000 V.
Frecuencia	50 Hz	
Materiales a transportar	cenizas/estéril/pizarra	
Capacidad de transporte:	7.560 m3/h.	
Potencia de cada accmto.	460 Kw	

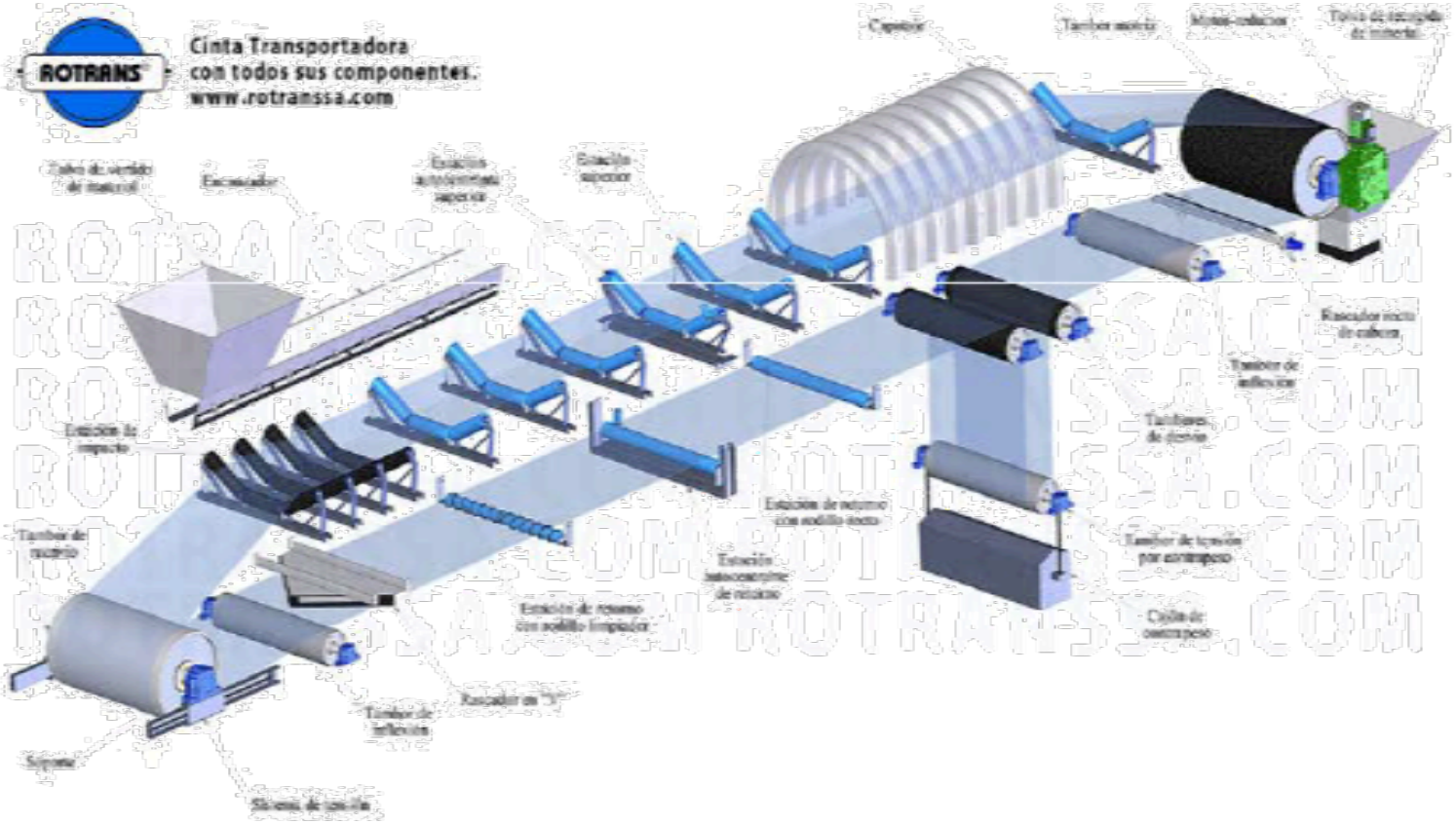
TRANSPORTE MEDIANTE CINTA

EJEMPLOS CINTAS (CIELO ABIERTO. AS PONTES)

Materiales a transportar	carbón/cenizas/estéril/pizarra	
Capacidad de transporte:	11.550 m3/h	
Potencia de cada accmto	1.100 kw	
Velocidad de transporte	5,2 m/seg.	
Ancho de banda	2.200 mm.	
Tipos de banda	2.200 ST 2.000 12+6 X	
	2.200 ST 2.000 14+8 X	
	2.200 ST 2.500 14+8 X	
	2.200 ST 4.000 14+8 X	
	2.200 ST 4.000 14+10 X	
	2.200 ST 5.000 14+10 X	
Dimensiones de los tambores:	Motrices:	diámetro 1.500 x 2.400
		diámetro 1.250 x 2.400
	De reenvío/tensado:	diámetro 500 x 2.600
		diámetro 400 x 2.400
		diámetro 1.250 x 2.400
		diámetro 1.000 x 2.400
Tipo de guirnaldas:	Superior:	1 rodillos central diámetro 159 x 530
		2 rodillos laterales diámetro 159 x 900
	Inferior:	2 rodillos diámetro 159 x1.150
	De carga:	5 rodillos diámetro 193,7 x 460
Ángulo de artesa:	Superior:	45º
	Inferior:	15º
Peso de cada cabeza	324 T.(sin accmto.)	
Peso de cada cola	44 T. (sin accmto.)	
Tensiones:	de alimentación:	20 Kv

TRANSPORTE MEDIANTE CINTA

ESQUEMA CINTA TRANSPORTADORA

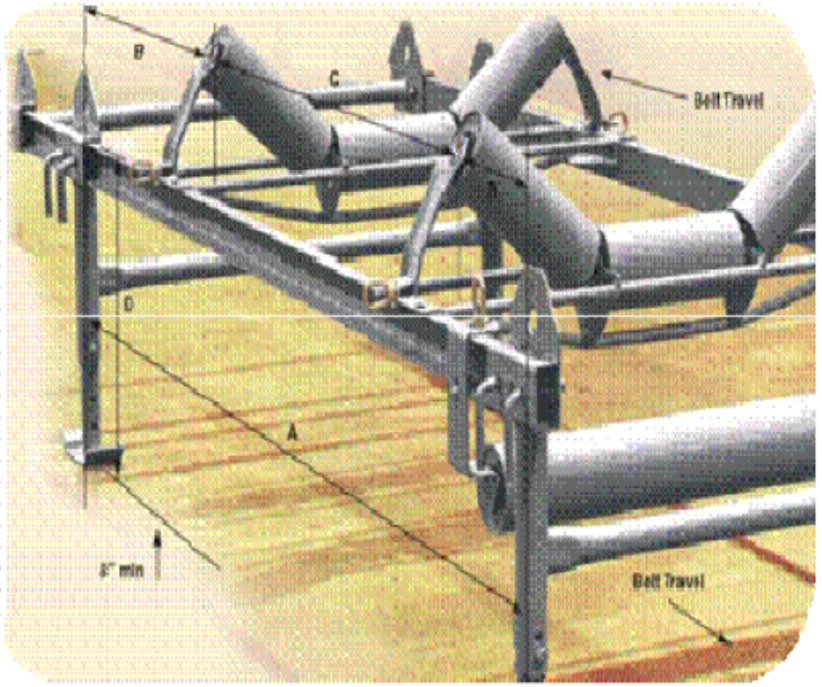


TRANSPORTE MEDIANTE CINTA

PRINCIPALES ELEMENTOS DE LA CINTA TRANSPORTADORA

BASTIDOR:

Estructura metálica que soporta la banda y el resto de elementos la banda así como al resto de elementos de la instalación.



ELEMENTOS DEL BASTIDOR

RODILLOS/CILINDROS: Deben estar más juntos cuanto mayor carga transporte la cinta. Los de la parte inferior suelen ser lisos y los de la parte superior en artesa, aunque no siempre. Su proximidad deberá ser mayor a mayor lo sea la carga que soporte la cinta.

ESTACIÓN SUPERIOR: Soporta el ramal superior de la banda cargada con el escombro.

ESTACIÓN INFERIOR: Soportar el retorno de la banda. Esta operación se realiza en vacío.

ESTRUCTURA DE SOPORTE: Columnas y largueros.

Es habitual la disposición de cilindros recubiertos de goma en la zona de carga (para soportar los impactos)

TRANSPORTE MEDIANTE CINTA

PRINCIPALES ELEMENTOS DE LA CINTA TRANSPORTADORA

BASTIDOR

DISTINTOS TIPOS DE ARTESA

ARTESA EN V (2 CILINDROS): λ normalmente de 30º.

ARTESA DE 3 CILINDROS/3 SECCIONES: λ normalmente entre 20 y 45º (20-30-35-40-45).

ARTESA DE 5 CILINDROS/5 SECCIONES : $\lambda 1$ entre 20º y 55º , y $\lambda 2$ entre 30 y 60º. Comúnmente aplicado en la zona de carga. Los ángulos dependerán de la distribución de la carga, la rigidez y la tensión de la banda.

TRANSPORTE MEDIANTE CINTA

PRINCIPALES ELEMENTOS DE LA CINTA TRANSPORTADORA

BANDA

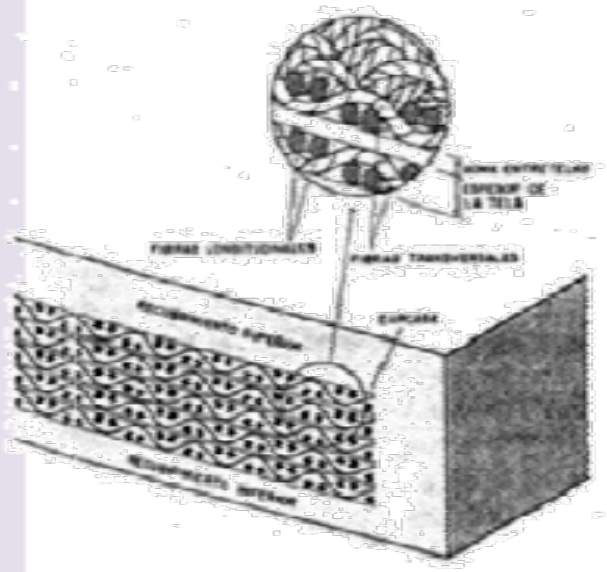
Elemento portante del mineral. Los anchos más habituales en minería van de 800 a 1000 mm (interior), pudiendo superar los 3000 en exteriorFormadas por la carcasa (armadura), gomas de recubrimiento y las uniones.

La **carcasa** o armadura está constituida por:

- Poliamida: a modo de armadura transversal.
- Poliéster: Material textil de elevada tenacidad, estable dimensionalmente y elevada resistencia química y mecánica.
- Cables de acero: aporta elevada resistencia a tracción y estabilidad dimensional.

Recubrimiento: nexo de los elementos de la carcasa. Material con elevada resistencia al desgaste.

Las bandas se construyen en tramos de longitudes estándar. Las técnicas más utilizadas de unión son por son mecanizado y por unión mecánica rápida.



Tradicionalmente eran de algodón, hoy día en el recubrimiento se emplea neopreno o PVC (en atmósferas explosivas) u otros materiales sintéticos. Aumentan la resistencia a abrasión, golpes y humedad, y evita la propagación de llamas.

TRANSPORTE MEDIANTE CINTA

PRINCIPALES ELEMENTOS DE LA CINTA TRANSPORTADORA

ELEMENTOS DE LA CABEZA MOTRIZ

- **Tambores:** Apoyan el accionamiento de la cinta, disminuyendo las tensiones en ella.

- **Reductores**

Acoplamientos: Entre el motor eléctrico y el reductor, sirven para amortiguar las vibraciones y sobrecargas, y asegurar un arranque progresivo.

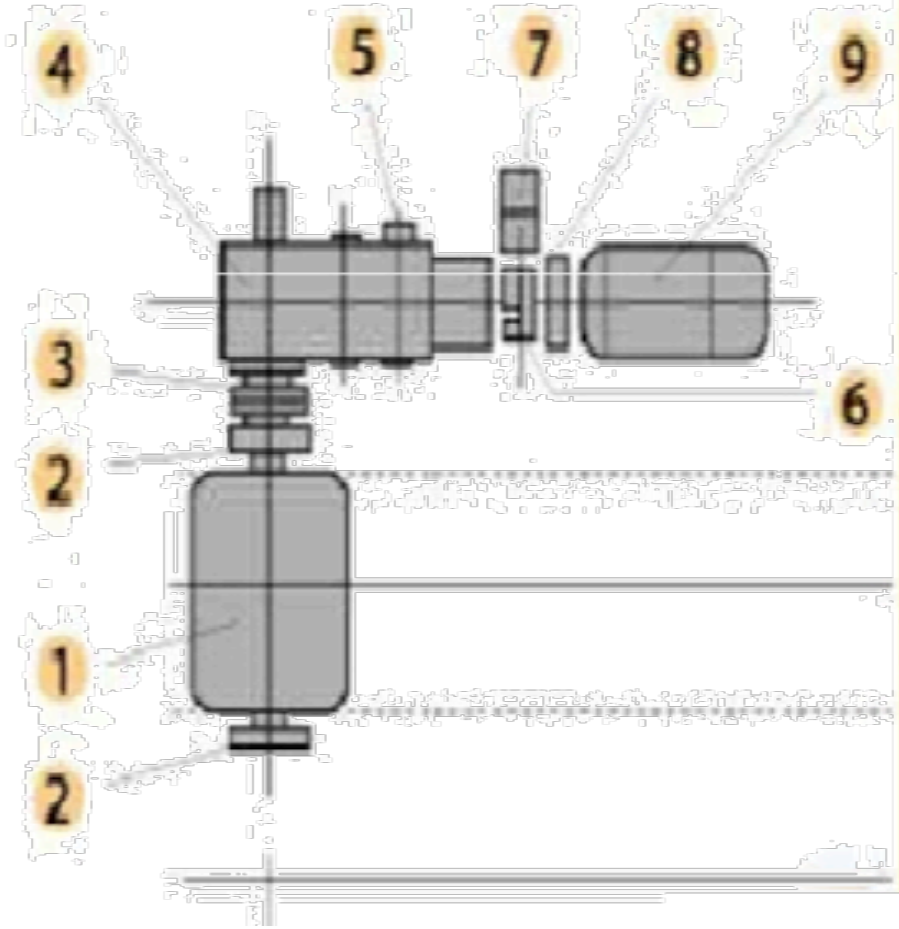
- **Frenos y mecanismos antirretorno:** Los más utilizados son los de disco, que se sitúan en el eje del reductor. En algunos casos, generalmente en cintas descendentes, se montan en el eje del tambor.

- **Dispositivos de tensado:** Mantienen la tensión adecuada en el ramal de retorno durante el arranque, acomodan las variaciones de la longitud de la banda debidas a las dilataciones de la misma y proporcionan un grado de tolerancia en la longitud de la banda instalada.

TRANSPORTE MEDIANTE CINTA

PRINCIPALES ELEMENTOS DE LA CINTA TRANSPORTADORA

ELEMENTOS DE LA CABEZA MOTRIZ



1. Tambor de accionamiento con su eje
2. Cojinetes
3. Acoplamiento de baja velocidad
4. Reductor
5. Mecanismo antirretorno
6. Acoplamiento de alta velocidad
7. Freno
8. Acoplamiento hidráulico
9. Motor

TRANSPORTE MEDIANTE CINTA

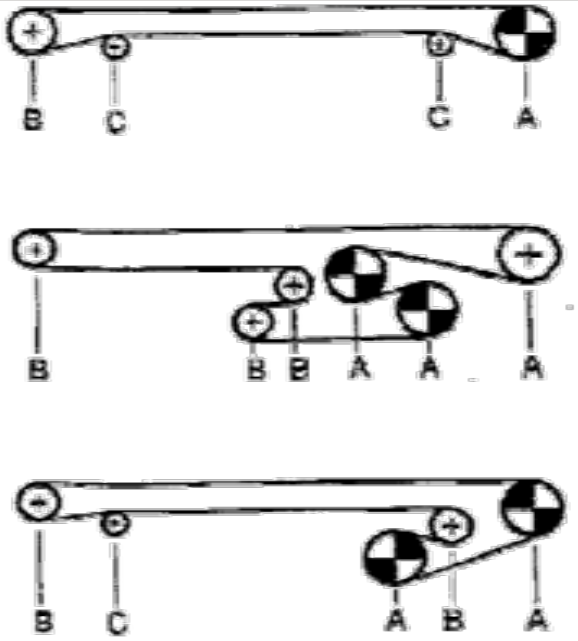
PRINCIPALES ELEMENTOS DE LA CINTA TRANSPORTADORA

TIPOS DE TAMBORES

Tambores motrices/Tambores tipo A: En la zona de altas tensiones de la banda, con ángulo abrazado mayor de 30º.

Tambores de cola/Tambores tipo B : En la zona de baja tensión de la banda, con ángulo abrazado mayor de 30º.

Tambores de guiado o desvío/Tambores tipo C: Ángulo abrazado menor de 30º.



Tipos de Tambores y posible distribución

C_t	TIPO DE BANDA
80	Algodón (B)
90	Poliamida (P)
80 - 105	Poliéster (E)
145	Alma de acero (St)

El diámetro del tambor depende del espesor de los elementos resistentes de la banda: $D >= S \cdot C$

- D= diámetro del tambor .
- S= espesor de los elementos resistentes (catálogo fabricante).
- C=Constante

TRANSPORTE MEDIANTE CINTA

PRINCIPALES ELEMENTOS DE LAS CINTAS TRANSPORTADORAS

CATEGORIA	TIPO DE TAMBOR		
	A	B	C
1	100	—	—
2	125	100	—
3	160	125	100
4	200	160	125
5	250	200	160
6	315	250	200
7	400	315	250
8	500	400	315
9	630	500	400
10	800	630	500
11	1.000	800	630
12	1.250	1.000	800
13	1.400	1.250	1.000
14	1.600	1.250	1.000
15	1.800	1.400	1.250
16	2.000	1.600	1.250

El resultado obtenido en la fórmula anterior se mayorará hasta conseguir un diámetro contenido en los catálogos.
Ej: Tabla de CONTINENTAL.

TRANSPORTE MEDIANTE CINTA

DESVENTAJAS DE LA CINTA TRANSPORTADORA
A pesar de la mejor respuesta frente a pendiente que otras opciones de transporte, posibles limitaciones. Para salvar este problema se han desarrollado cintas **cubiertas o de tipo sandwich,** (Emplean dos cintas enfrentadas que contienen en su interior el material a transportar, permitiendo salvar pendientes de hasta 90º), las **cintas tipo cable** en que la banda está guiada por dos cables sin fin, conducidos a su vez por poleas, las **cintas de tipo tuberías** (pueden trasportar en su interior de manera simultánea dos materiales, permitiendo además salvar mayores curvaturas), o **las cintas transportadoras inclinadas** (dotadas de laterales y racletas).
Limitaciones de curvatura.
Poca versatilidad, transporte en una única dirección.
Debe conocerse de antemano la capacidad, longitud y tramos en que se puede acortar y o alargar, con el fin de adaptar las cintas a galerías y cámaras.
Exige mayores inversiones iniciales.
Aparición de problemas si en el punto de carga se introduce material con agua.
Limitación en el tamaño del material a transportar.

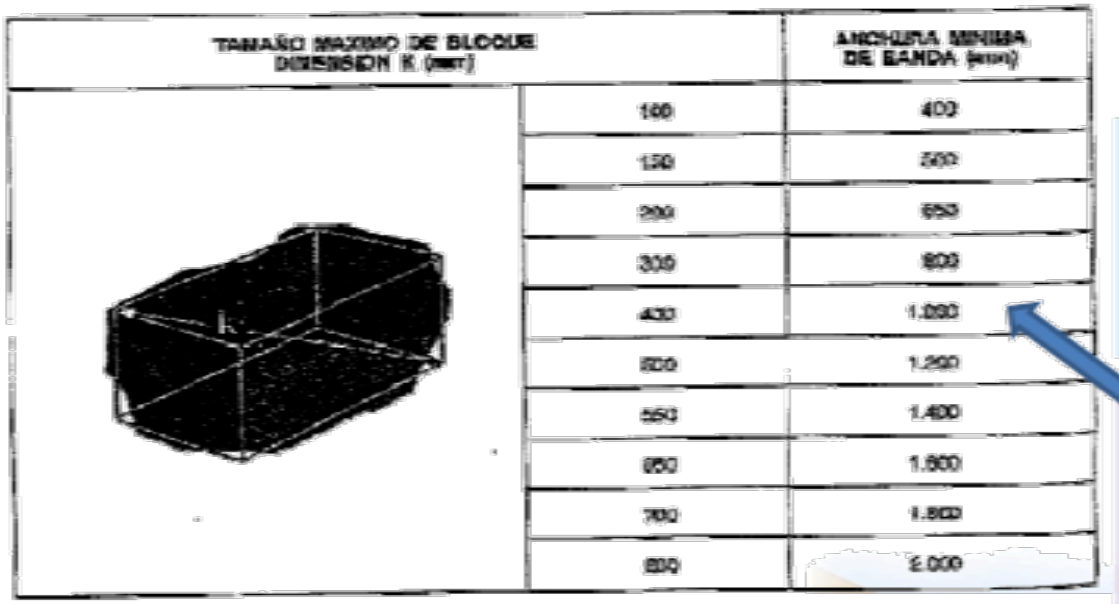
TRANSPORTE MEDIANTE CINTA

CÁLCULOS PARA LA ELECCIÓN DE LA CINTA TRANSPORTADORA

Existen varios métodos de cálculo, se propone uno de los múltiples disponibles.

PASO 1: DETERMINACIÓN DEL ANCHO DE BANDA

A partir de la dimensión máxima de los bloques de mineral a transportar se determina el ancho mínimo de banda conforme a la norma DIN22101.



TAMAÑO MÁXIMO DE BLOQUE DIMENSIÓN K (mm)	ANCHURA MÍNIMA DE BANDA (mm)
100	400
150	500
200	650
300	800
400	1.000
500	1.200
550	1.400
650	1.600
700	1.800
800	2.000

Ej: Para carbón procedente de sutiraje, el tamaño máximo de bloque se supone de K=300 mm (Fuente: Díaz Aguado, M.B., 2006), con lo que el ancho de banda mínimo es de 800.

Por cuestiones prácticas, el tamaño de bloque suele limitarse a un máximo de 400 mm.

TRANSPORTE MEDIANTE CINTA

CÁLCULOS PARA LA ELECCIÓN DE LA CINTA TRANSPORTADORA

PASO 2: DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE TRANSPORTE DE LA BANDA

Dependerá de varios factores (ancho de banda, velocidad, inclinación, material a transportar)

PRIMERA POSIBILIDAD DE CÁLCULO

- Caudal horario de material que se transporta:

$$Q[m^3/h] = 3600 \cdot S \cdot v \cdot C_I \qquad Q[t/h] = 3600 \cdot S \cdot v \cdot C_I \cdot \gamma$$

- V= Velocidad de transporte del mineral, [m/s]
- S= Sección transversal de material transportado
- γ = Densidad de mineral suelto [t/m³]
- C= Coeficiente de reducción, según el ángulo δ de inclinación de la banda

δ	2º	4º	6º	8º	º0º	12º	14º	16º	18º	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Ci	1	0,99	0,98	0,97	0,95	0,93	0,91	0,89	0,85	0,81	0,78	0,76	0,73	0,71	0,68	0,66	0,64	0,61	0,59	0,56

TRANSPORTE MEDIANTE CINTA

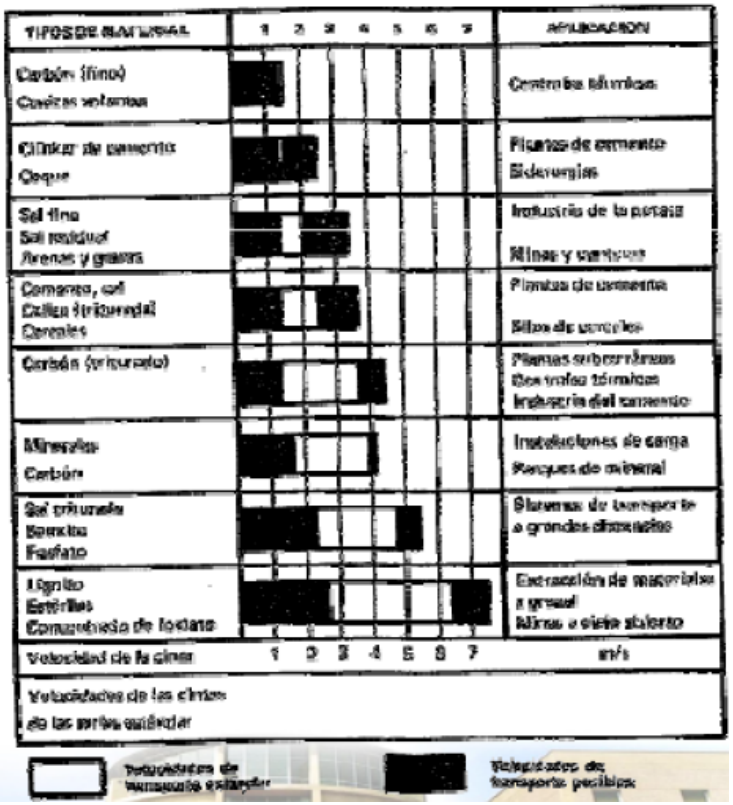
CÁLCULOS PARA LA ELECCIÓN DE LA CINTA TRANSPORTADORA

PASO 2: DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE TRANSPORTE DE LA BANDA

PRIMERA POSIBILIDAD DE CÁLCULO

TIPOS DE MATERIAL	VELOCIDAD
• Fuertemente abrasivo • Fino y ligero • Frágil • Granulometría gruesa, densidad elevada	Velocidad pequeña
• Poco abrasivo • Densidad media • Granulometría media	Velocidad alta

APLICACIONES	VELOCIDAD DE LA CINTA (m/s)
Casos especiales	0,5
Caudales pequeños de material que deben protegerse (cinta de coque)	0,5 - 1,5
Aplicaciones estándar (canteras de grava)	1,5 - 3,5
Flujos elevados a grandes distancias (minería a cielo abierto)	3,5 - 6,5
Aplicaciones especiales. Apiladores	6,5 y mayores



VALORES ORIENTATIVOS DE "v"

TRANSPORTE MEDIANTE CINTA

PASO 2: DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE TRANSPORTE DE LA BANDA

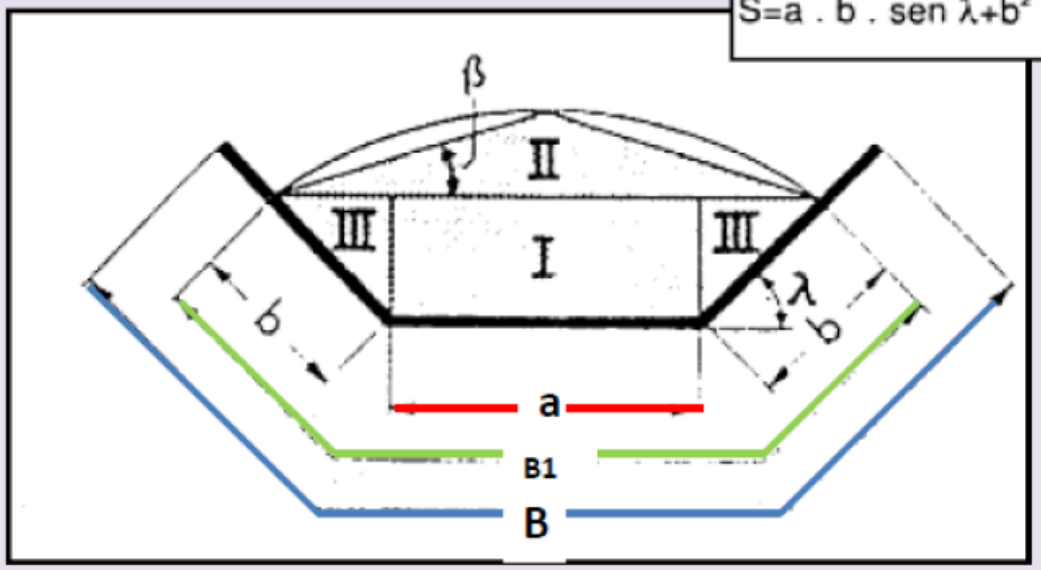
PRIMERA POSIBILIDAD DE CÁLCULO

Existen a su vez dos opciones fundamentales para el cálculo de S, geométrica y estimativa:

DETERMINACIÓN GEOMÉTRICA DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL:

$$S = S_I + S_{II} + 2\,S_{III}$$

$$S = a \cdot b \cdot \operatorname{sen}\lambda + b^2 \cdot \operatorname{sen}\lambda \cdot \cos\lambda + 0{,}067\,(a + 2b \cdot \cos\lambda)^2,$$



donde:

- B = Anchura de la banda (m).
- B_1 = Anchura de la banda ocupada por el material (m)
  - 0,9 B - 0,05 para B ≤ 2 m.
  - B - 0,25 para B > 2 m.
- a = Longitud del rodillo central (m).
- b = Longitud de trabajo de los rodillos laterales (m).
- λ = Ángulo de artesa. Los ángulos utilizados son: 20°- 25°- 30°- 35° - 40° - 45°.
- β = Ángulo de talud dinámico del material. Este se determina en función del ángulo de reposo del material

TRANSPORTE MEDIANTE CINTA

CÁLCULOS PARA LA ELECCIÓN DE LA CINTA TRANSPORTADORA

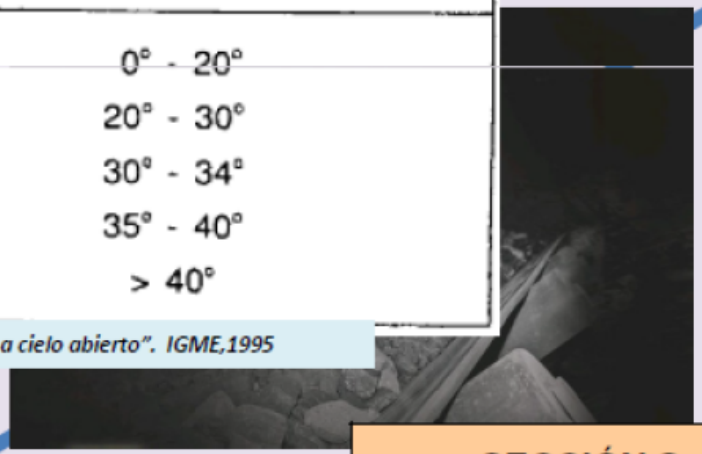
PASO 2: DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE TRANSPORTE DE LA BANDA

PRIMERA POSIBILIDAD DE CÁLCULO

Queda introducir en la fórmula anterior el valor de β, Ángulo de talud dinámico universal, en función del ángulo de reposo del mineral transportado.

β	Angulo de reposo
5°	0° - 20°
10°	20° - 30°
20°	30° - 34°
25°	35° - 40°
30°	> 40°

JENTE: "Manual de arranque, carga y Transporte en Minería a cielo abierto". IGME,1995



ESTIMACIÓN DE LA SECCIÓN:

SECCIÓN S	GRANULOMETRÍA DEL MINERAL
$S=B^2/10$	Mineral en bloques
$S=B^2/11$	Mineral granulado
$S=B^2/12$	Mineral finos

FUENTE: "Fuente: Díaz Aguado, M.B., 2006)

Puede optarse por hacer una estimación a partir del ancho de banda, y el tipo de material vertido.

TRANSPORTE MEDIANTE CINTA

CÁLCULOS PARA LA ELECCIÓN DE LA CINTA TRANSPORTADORA

PASO 2: DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE TRANSPORTE DE LA BANDA

SEGUNDA POSIBILIDAD DE CÁLCULO

La capacidad de transporte de la cinta (Q), puede calcularse en base a la **capacidad máxima** (Q_0) volumen máximo transportable en m3/h, a una velocidad teórica de 1 m/s en horizontal),

Caudal máximo (Q_0, m^3/h)				
Ángulo de talud (β)	Ancho de Banda, B (mm)			
	500	650	800	1000
0º	38	69	108	173
10º	70	126	197	318
30º	86	155	242	390

FUENTE: Fuente: Díaz Aguado, M.B., 2006

IMPORTANTE

- Por definición, Q_0 se establece para v= 1 m/s en horizontal, deberá tenerse en cuenta la velocidad que tenga nuestra cinta a la hora de establecer nuestro Q en base a este valor (multiplicación por v), además de corregir en base a la pendiente
- Este caudal debe reducirse entre el 0 y el 50% por irregularidades y falta de homogeneidad en la distribución del material.

TRANSPORTE MEDIANTE CINTA

CÁLCULOS PARA LA ELECCIÓN DE LA CINTA TRANSPORTADORA

PASO 3. VELOCIDAD MÍNIMA NECESARIA DE LA CINTA

La capacidad real de trabajo de la cinta (Q, en t/h), debe ser menor que la capacidad máxima Teórica para la velocidad propuesta y la pendiente salvada:

$$Q_m[t/h] = Q_0 \cdot v \cdot \gamma \cdot C_I$$

- Proponemos la Capacidad teórica máxima de la cinta, en t/h .(Debemos afectar Q0 de la velocidad máxima, aún por determinar, y del factor de corrección por pendiente correspondiente).

$$Q_{real} < Q_m$$

$$Q_{real}[t/h] < Q_0 \cdot v \cdot \gamma \cdot C_I$$

- Nuestra capacidad real, será inferior a la máxima teórica.

$$v \geq \frac{Q_{real}}{C_1 \cdot Q_0 \cdot \gamma}$$

- Determinamos así la velocidad mínima que deberá tener la cinta. PARA DAR EL CAUDAL ESPERADO, DEBERÁ COMPROBARSE QUE LA VELOCIDAD QUE PROPORCIONE LA CINTA SEA MAYOR QUE ESTA VELOCIDAD MÍNIMA.

TRANSPORTE MEDIANTE CINTA

CÁLCULOS PARA LA ELECCIÓN DE LA CINTA TRANSPORTADORA

PASO 4. CÁLCULO DE LA POTENCIA NECESARIA

Potencia de se determina en función del caudal o capacidad de transporte Q. Una vez comprobado que este caudal puede proporcionarse geométricamente, debe realizarse el cálcuilo de la potencia eléctrica necesaria para mover dicho caudal.

FACTORES A CONSIDERAR

Cálculo del peso total de la carga sobre la banda en Kg (G_L): $$G_L = \frac{Q \cdot L}{3{,}6 \cdot v}$$

Peso por metro lineal de la banda ,G_1: $$G_1 = 15 \cdot B$$

Peso de los rodillos portantes contenidos en 1 metro lineal de cinta, G_2:

$$G_2 = \frac{Peso_rodillos_superiores_por_perfil(kg)}{Espaciamiento_entre_perfiles}$$

Peso de los rodillos de retorno en un metro lineal de cinta, G_3: $$G_3 = \frac{Peso_rodillos_retorno_por_perfil(kg)}{Espaciamiento_entre_perfiles}$$

Q= Caudal en t/h. L= longitud del ramal de ida. v= velocidad de la cinta (m/s). B= ancho de la banda en m.

TRANSPORTE MEDIANTE CINTA

CÁLCULOS PARA LA ELECCIÓN DE LA CINTA TRANSPORTADORA

PASO 4. CÁLCULO DE LA POTENCIA NECESARIA

Pesos de los órganos giratorios del ramal superior

Anchura de banda (mm)	Diámetro del rodillo (mm)	PESOS (kg)			
		1 sección	2 secciones	3 secciones	5 secciones
300	89,9	3,2	4,1		
400	88,9 108 133	3,9 5,0 7,8	4,7 6,6 8,7	5,4 7,3 9,6	
500	88,9 108 133	4,5 6,6 8,9	5,5 7,8 10,4	6,1 8,4 11,1	
650	88,9 108 133	5,5 8,0 10,8	6,3 9,0 12,1	7,0 9,8 13,1	
800	88,9 108 133	6,7 9,6 13,3	7,4 10,5 14,2	8,3 11,8 15,6	9,6 12,4 16,3
1.000	108 133 159	11,3 15,5 21,5	10,2 17,8 24,7	12,6 18,2 26,0	14,2 18,9 28,0
1.200	108 133 159	14,2 19,3 26,1	15,0 20,5 28,0	16,2 22,0 24,6	18,3 21,7 31,9
1.400	133 159	21,8 29,3	23,3 31,6	25,0 33,5	24,3 35,0
1.600	133 159	25,1 33,4	26,5 35,0	28,0 38,7	28,5 39,2
1.800	133 159	27,8 37,8	29,1 38,6	30,7 42,4	31,5 42,9
2.000	133 159 193,7	30,2 40,2 58,1	31,8 42,3 76,4	33,3 47,0 80,1	33,5 46,5 86,5
2.200	159 193,7	46,5 77,8	48,0 82,6	50,1 83,2	49,5 95,5
2.400	159 193,7	50,7 85,8	51,5 91,4	53,5 93,2	53,8 100,9
2.600	159 193,7		55,1 97,2	57,0 97,6	56,5 107,8
2.800	159 193,7		58,5 103,0	59,1 106,4	60,3 117,0
3.000	159 193,7		63,0 109,0	66,5 112,5	65,4 121,5
3.200	159 193,7		70,0 120,0	71,5 123,0	68,9 126,5

$$G_2 = \frac{Peso_rodillos_superiores_por_perfil(kg)}{Espaciamiento_entre_perfiles}$$

- Tanto el peso de los rodillos superiores como inferiores por sección se obtiene de los catálogos suministrados por los fabricantes. Deberán dividirse por la separación comprendida entre dos secciones para obtener los valores unitarios lineales de que afectar a la cinta.

TRANSPORTE MEDIANTE CINTA

CÁLCULOS PARA LA ELECCIÓN DE LA CINTA TRANSPORTADORA

PASO 4. CÁLCULO DE LA POTENCIA NECESARIA

Pesos de los órganos giratorios del ramal inferior con rodillos de discos (kg)

Anchura de banda (mm)	Diámetro del tubo (mm)	Diámetro del disco (mm)	PESOS (kg)	
			1 sección	2 secciones
400	51	120	4,0	5,0
500	57	133	5,7	6,8
650	51	133	6,8	8,1
800	63,5	150	11,7	13,2
1.000	63,5	150	13,0	14,5
1.200	88,9	180	22,2	23,9
1.400	88,9	180	24,2	25,9
1.600	108	180 215	31,9 42,6	33,9 44,5
1.800	108	180 215	34,3 44,9	36,3 47,3
2.000	108	180 215	39,5 48,8	39,0 51,8
2.200	133	215 250	55,8 73,8	62,0 76,8
2.400	133	215 250	62,4 77,5	67,2 82,0
2.600	133	215 250	68,7 84,9	71,7 87,9
2.800	159	250	130,6	138,2
3.000	159	250	138,4	146,3
3.200	159	250	146,2	154,4

$$G_3 = \frac{Peso_rodillos_retorno_por_perfil(kg)}{Espaciamiento_entre_perfiles}$$

- Tanto el peso de los rodillos superiores como inferiores por sección se obtiene de los catálogos suministrados por los fabricantes. Deberán dividirse por la separación comprendida entre dos secciones para obtener los valores unitarios lineales de que afectar a la cinta.

TRANSPORTE MEDIANTE CINTA

CÁLCULOS PARA LA ELECCIÓN DE LA CINTA TRANSPORTADORA

PASO 4. CÁLCULO DE LA POTENCIA NECESARIA

POTENCIA POR FRICCIÓN DE LOS RODILLOS P_a (CV).

$$P_a = \frac{C \cdot [(2 \cdot G_1 + G_2 + G_3) \cdot L + G_L] \cdot f_1 \cdot v}{75}$$

Para pasar a Kw, se debe multiplicar por 0,736

L(m)	4	6	8	10	16	25	32	40	50	63	80	100	200	400
C	7,6	5,9	5,1	4,5	3,6	2,9	2,6	2,4	2,2	2	1,85	1,7	1,4	1,1

Condiciones de la instalación	f1
Excelentes	0,018
Normales	0,022
Malas	0,030

C= Coeficiente de corrección de potencia en función de la longitud de la banda, incluyendo pérdidas por flexión en tambores y rodillo, y rozamiento en los rascadores (elementos de limpieza).
F1= Coeficiente de rodadura de los rodillos.

TRANSPORTE MEDIANTE CINTA

CÁLCULOS PARA LA ELECCIÓN DE LA CINTA TRANSPORTADORA

PASO 4. CÁLCULO DE LA POTENCIA NECESARIA

POTENCIA REQUERIDA PARA LA ELEVACIÓN DE LA CARGA(CV).

$$P_c = \frac{Q \cdot h}{270}$$

Para pasar a Kw, se debe multiplicar por 0,736

Q= Caudal en t/h. h= desnivel a salvar en m.

TRANSPORTE MEDIANTE CINTA

CÁLCULOS PARA LA ELECCIÓN DE LA CINTA TRANSPORTADORA

PASO 4. CÁLCULO DE LA POTENCIA NECESARIA

POTENCIA EN EL ACCIONAMIENTO(CV).

$$P = P_a + P_c$$

Si dividimos entre dos accionamientos, la potencia por accionamiento será la mitad de la así obtenida.

POTENCIA DEL MOTOR

$$P_M = \frac{P}{\eta}$$

Para pasar a Kw, se debe multiplicar por 0,736

$\eta =$ Rendimiento de la transmisión

En caso de haber dividido entre dos accionamientos, tendríamos 2 Pm', siendo cada una la mitad de la Pm obtenida

TRANSPORTE MEDIANTE CINTA

CÁLCULOS PARA LA ELECCIÓN DE LA CINTA TRANSPORTADORA

PASO 4. CÁLCULO DE LA POTENCIA NECESARIA

POTENCIA EN EL ACCIONAMIENTO(CV).

$$P = P_a + P_c$$

Si dividimos entre dos accionamientos, la potencia por accionamiento será la mitad de la así obtenida.

POTENCIA DEL MOTOR

$$P_M = \frac{P}{\eta}$$

Para pasar a Kw, se debe multiplicar por 0,736

$\eta =$ Rendimiento de la transmisión

En caso de haber dividido entre dos accionamientos, tendríamos 2 Pm', siendo cada una la mitad de la Pm obtenida

TRANSPORTE DISCONTINUO SOBRE VÍA

GENERALIDADES DEL TRANSPORTE DISCONTINUO

- En la práctica totalidad de las explotaciones subterráneas se cuenta con transporte discontinuo, ya que el continuo únicamente es para mineral.

TRANSPORTE DISCONTINUO

- Rodado (camiones bajo perfil)
- Por cabrestante
- Por locomotora

POR MONORRAÍL O SOBRE VÍA

TRANSPORTE DISCONTINUO SOBRE VÍA

BREVE RESEÑA DEL TRANSPORTE POR MONORRAÍL

Similares características al trabajo con ferrocarril. Se tiende a soluciones de este tipo cuando se cumplen las mismas condiciones expuestas en el caso de transporte por vía férrea y además:

Apto con importantes pendientes (no adecuadas para el uso de ferrocarril), y curvas de bajo radio de curvatura.

Pueden ser tanto eléctricos como Diésel.

Se cuenta con un carril de rodadura, formado por un perfil laminado (ej., IPN-155), en barras de 3 m de longitud, colgadas de la entibación metálica mediante cadenas de acero. Las uniones entre perfiles son articuladas. Pueden desarrollarse canoas, o carros, incluso emplearse para el transporte de personal.

TRANSPORTE DISCONTINUO SOBRE VÍA

BREVE RESEÑA DEL TRANSPORTE POR MONORRAÍL

Empleo de barcas o canoas suspendidas del monorrail para transporte de materiales.

TRANSPORTE DISCONTINUO SOBRE VÍA

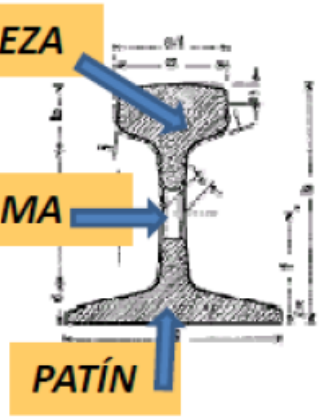
VENTAJAS DEL TRANSPORTE SOBRE VÍA
Posibilidad de adaptación de la capacidad a las necesidades del transporte (añadir más vagones)
Múltiples posibilidades de elementos a transportar en función de qué se enganche a la locomotora

DESVENTAJAS DEL TRANSPORTE SOBRE VÍA
Transporte poco flexible: requiere el tendido previo de vía
Requiere un buen mantenimiento y limpieza de la vía
Existencia de zonas de la mina sin posibilidad de colocación de la vía (malas condiciones de la solera).
Fuente de siniestralidad (enganche, desenganche, descarrilamiento, maniobras incorrectas…)
En el caso de transporte mediante locomotora, limitación de la pendiente (máxima en el entorno del 4%). Es posible encontrar extracción de vagones en planos inclinados mediante cabrestantes.

TRANSPORTE DISCONTINUO SOBRE VÍA

LA VÍA EN LA MINA

El ancho suele ser de 650-600 mm aunque llega a 750 en el caso de locomotoras pesadas y vagones de gran capacidad.



CARRIL: Longitud comprendida entre los 3 y lo 6 m en galerías de explotación, y de 8 a 10 m en generales, uniéndose por placas de hierro atornilladas al alma del carril (eclipses)

TRAVIESAS: De madera (preferible roble, siendo menos costosas otras), acero u hormigón. Se atornillan a los carriles con escarpias o tirafondos

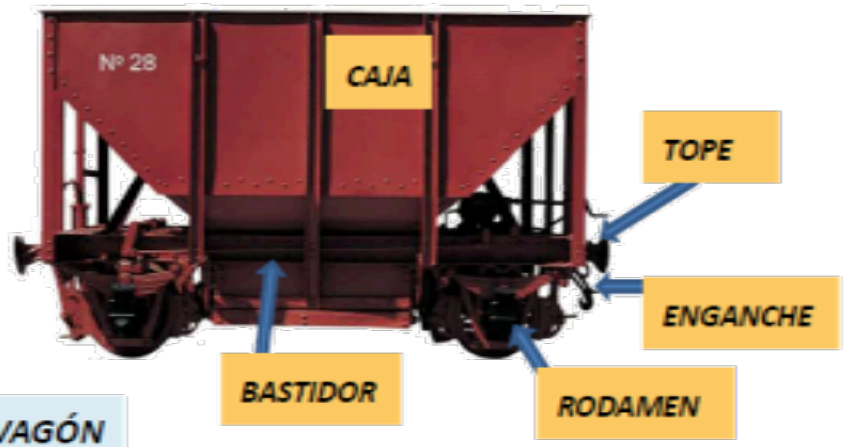
BALASTO: Grava o roca triturada, que debidamente drenada ofrecerá una buena cama para el asiento de las traviesas, ofreciendo estabilidad y oponiendo el conjunto resistencia suficiente a los esfuerzos del tren circulante.

Es conveniente la adecuada colocación y mantenimiento, con comprobaciones periódicas de alineación y nivelación, debido a los importantes esfuerzos que soporta: verticales (peso de vagones y sus movimientos de cabeceo y balanceo), transversales (por la holgura entre rueda y carril y la fuerza centrífuga), y longitudinales (por descarrilamiento) Fuente: Hevia Canga

TRANSPORTE DISCONTINUO SOBRE VÍA

VAGONES

Elementos de transporte discontinuo, empujados manualmente (tareas auxiliares), por locomotora o cabrestante. Cargados por palas de descarga central, por descarga sobre ellos en cargaderos (gravedad), o por elementos de transporte continuo discurrentes sobre ellos.



PARTES DEL VAGÓN

RODAMEN: Ruedas (Torneada cónica para ajustar al carril, con anillos para agujeros para aligerar peso, y dividida en "llanta", "cubo" y pestaña"), eje y piezas de unión.

TOPES: Absorben los golpes que reciben los vagones, principalmente en los arranques y paradas. Rígidos en vagones pequeños, elásticos en los grandes.

CAJA: Contenedor para el transporte de mineral o estéril.

ENGANCHES: Uniones de vagones. Es habitual el sistema anillo-gancho.

IMPORTANTE!

Condicionados por el tamaño de la galería y la jaula; deberán resistir los esfuerzos, la abrasión y la corrosión, y ser de coste adecuado.

TRANSPORTE DISCONTINUO SOBRE VÍA

VAGONES

CLASIFICACIÓN DE LOS VAGONES SEGÚN SU TAMAÑO
Pequeños: hasta 2000 l.
Medianos: 2000-5000 l
Grandes: 5000-12.000, pudiendo llegar a 18000 l.

CLASIFICACIÓN DE LOS VAGONES SEGÚN SU DESCARGA
Vagones cerrados: Al no contar con elementos de vaciado, se emplea el basculador rotativo 1
Vagón basculante de descarga lateral (Por giro o apertura lateral, con fondo inclinado o en dos rampas) 2
Vagón basculante de descarga en el fondo 3

BASCULADOR ROTATIVO

2

3

OTRAS VARIANTES

Vagones para transporte de personal, cubas para transporte de agua, mesillas para transporte de materiales, vagones

TRANSPORTE DISCONTINUO SOBRE VÍA

LOCOMOTORAS

LOCOMOTORA DE TROLE/TROLLEY

Toma la energía de un conductor desnudo de cobre a través de un trole/pantógrafo, retornando la corriente por el carril.

Puede recorrer importantes distancias con mucha carga (potencia >150 KW), con velocidades de hasta 30 Km/h. Aplicada en minería metálica y no metálica, no se emplea en explotaciones de carbón.

LOCOMOTORA DE ACUMULADORES ELÉCTRICOS

Locomotora eléctrica de corriente continua, tomando el motor la energía de una batería (ácida de Pb, o alcalina de Fe-Ni con solución de K) dispuesta en la carcasa metálica. Las hay de 3,5 t, 5 t y 8 t (la más frecuentes), con potencia nominal entre 15-45 W. Debe recargarse previo al consumo del 85% de la batería. En carbón se restringe a minas con menos de un 1% en grisú, estando las baterías en cofres antideflagrantes. Es limpia, y requiere poco mantenimiento.

FUENTE: Fuente: Díaz Aguado, M.B., 2006

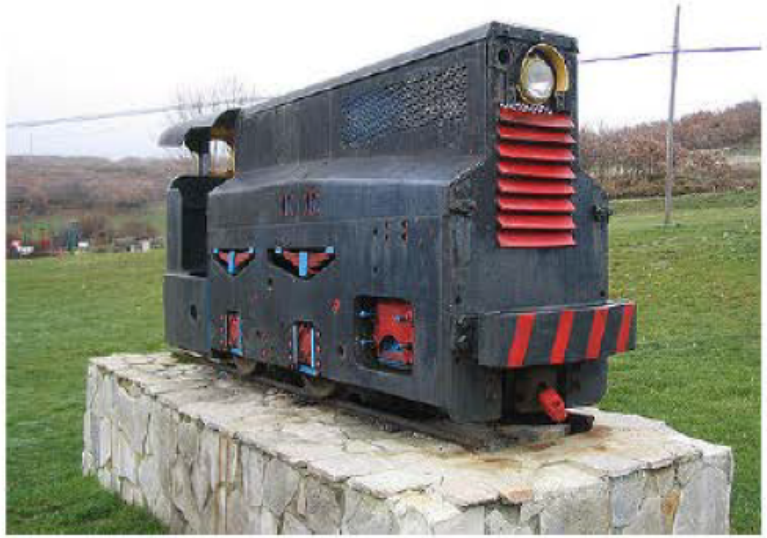
TRANSPORTE DISCONTINUO SOBRE VÍA

LOCOMOTORAS

LOCOMOTORA DE DIESEL

Con motor de combustión interna muy robusto, que presenta desventajas (riesgo de incendio, inflamabilidad del combustible, alta temperatura de los gases de escape, riesgo de intoxicación por los gases de escape y riesgo de inflamación de grisú).

Rango de potencias entre 15 y 150 W, con velocidades de hasta 15 Km/h. En la actualidad en desuso en el interior de minas subterráneas.



LOCOMOTORA DE AIRE COMPRIMIDO

Suelen presentar 1 ó 2 depósitos de aire comprimido. Su potencia siempre es inferior 50 kW, no superando los 14-15 Km/h, con radios máximos de acción de 5 km, debiendo recargarse los depósitos en estaciones habilitadas. Son seguras, presentan malos rendimientos y se reservan a mina de 4ª categoría, en las que no es posible la aplicación de otras locomotoras, y únicamente en guías en carbón o recorridos limitados.

TRANSPORTE DISCONTINUO SOBRE VÍA

INCISO

CATEGORÍAS DE LAS MINAS EN FUNCIÓN DEL GRISÚ

REGLAMENTO GENERAL DE NORMAS BÁSICAS DE SEGURIDAD MINERA
CAPÍTULO IV
Labores subterráneas
4.1. Clasificación

Artículo 24.

Las minas o las zonas en que estas se dividan y las labores subterráneas en General, en que sea posible la existencia de grisú u otros gases inflamables, se clasificaran en una de las cuatro categorías siguientes:

Sin grisú o de primera categoría. - aquellas en las que no se han presentado grisú ni otros gases inflamables.
Débilmente grisuosas o de segunda categoría.- Aquellas en las que puedan desprenderse en cantidad reducida grisú u otros gases inflamables.
Fuertemente grisuosas o de tercera categoría. - aquellas en las que puedan desprenderse, en cantidad abundante grisú u otros gases inflamables.
Con desprendimientos instantáneos de gas o de cuarta categoría. - aquellas en las que puedan desprenderse de forma súbita y masiva el grisú u otros gases inflamables o irrespirables, originando el arrastre violento de cantidades importantes de mineral o de sus rocas encajantes.

http://www.seprema.org/seprema/normativa/leg36.pdf

TRANSPORTE DISCONTINUO: SOBRE VÍA

CONDICIONANTE	ASPECTOS A CONSIDERAR EN LA SELECCIÓN DE LA LOCOMOTORA
GEOMETRÍA	Facilidad de transporte de la locomotora hasta la zona de la mina en que vaya a desarrollar sus funciones, pero principalmente adaptabilidad a la sección, y radio de curvatura. Cumplen mejor las trole, las diesel, y por último las de aire comprimido y de acumuladores
POTENCIA	Las más potentes son las de trole, seguidas de las Diesel, las de acumuladores y por último las de aire comprimido.
SEGURIDAD	Frente a grisú, riesgos de incendio, electrocución, corrientes erráticas y gases. Las más seguras las de aire comprimido, seguidas de acumuladores, y las menos seguras las Diesel y las de trole (hilo desnudo).
CONSIDERACIONES ECONÓMICAS	Coste de capital (las más económicas son las Diesel, las de trole y las de acumuladores), de repuestos (los más económicos son los de las de trole y aire comprimido, los más costosos los de aquellas de acumuladores), de mano de obra (las más caras las Diesel), y de energía (las más económicas suelen ser las de trole y Diesel, las más caras las de aire comprimido, si bien fluctúa).
AUTONOMÍA	Las de aire comprimido y acumuladores son las de menos, seguidas de las Diesel. Las de Trole tendrían autonomía ilimitada si existe tendido y carril de retorno.

SISTEMAS DE EXTRACCIÓN

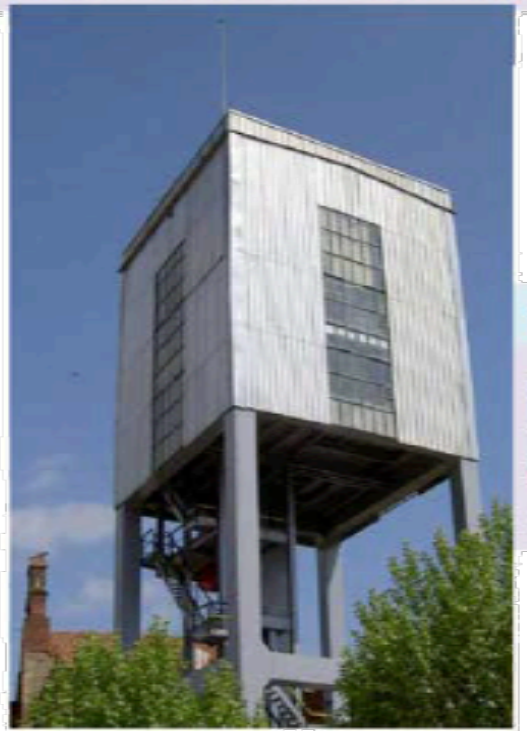
SISTEMAS DE EXTRACCIÓN MEDIANTE POZO VERTICAL

CASTILLETES Y TORRES DE EXTRACCIÓN

CASTILLETE

Estructura de acero u hormigón que aloja en su zona superior poleas de reenvío, por las que pasan los cables de la máquina de extracción (situada en edificio anexo, dispuesto el mismo nivel que la base del castillete), teniendo en su otro extremo suspendidas jaulas o skips.

Castillete de la Mina de Reocín



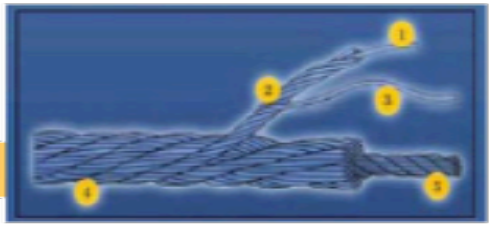
TORRE DE EXTRACCIÓN

Sistema que aloja la máquina de extracción en su parte superior, eliminando la componente transversal de tensiones (se eliminan los tornapuntas). Los cables pasan por la garganta de la/s polea/s de reenvío, manteniendo la disposición vertical de los cables.

SISTEMAS DE EXTRACCIÓN MEDIANTE POZO VERTICAL

CASTILLETES Y TORRES DE EXTRACCIÓN

CABLES



PARTES DEL CABLE DE ACERO: 1-Alambre central, 2-Cordón, 3-Alambre, 4-Cable, 5-Alma

L(m, longitud máxima de cable suspendida)	Cordadas de personal	Cordadas de material
L<=500 m	Cp=9,5	Cp=7,2
L>500 m	Cp=9,5-0,001·L	Cp=7,2-0,0005·L

Cp: COEFICIENTE DE SEGURIDAD DE PROYECTO PARA CABLES DE EXTRACCIÓN (Cables conformes a UNE 22.000, verificados en laboratorio acreditado según la ITC 12.0.01), además de las revisiones según las ITC 04.4.01, UNE 22.000, ET 0014-1-92, ET 0801-1-93 y ET 0802-1-93. Deberán además cumplirse las marcadas por las DIS de la empresa minera (Disposiciones Internas de Seguridad).

DEFINICIÓN DEL COEFICIENTE

Cociente entre la fuerza de rotura total mínima del cable, y la fuerza estática máxima que soportaría en servicio, y que depende del tipo de cordada, la longitud máxima de cable suspendida (medida entre la polea de fricción o bobina de arrollamiento y la posición más baja que alcance el aparato de carga EN EL POZO O PLANO, expresada en metros)

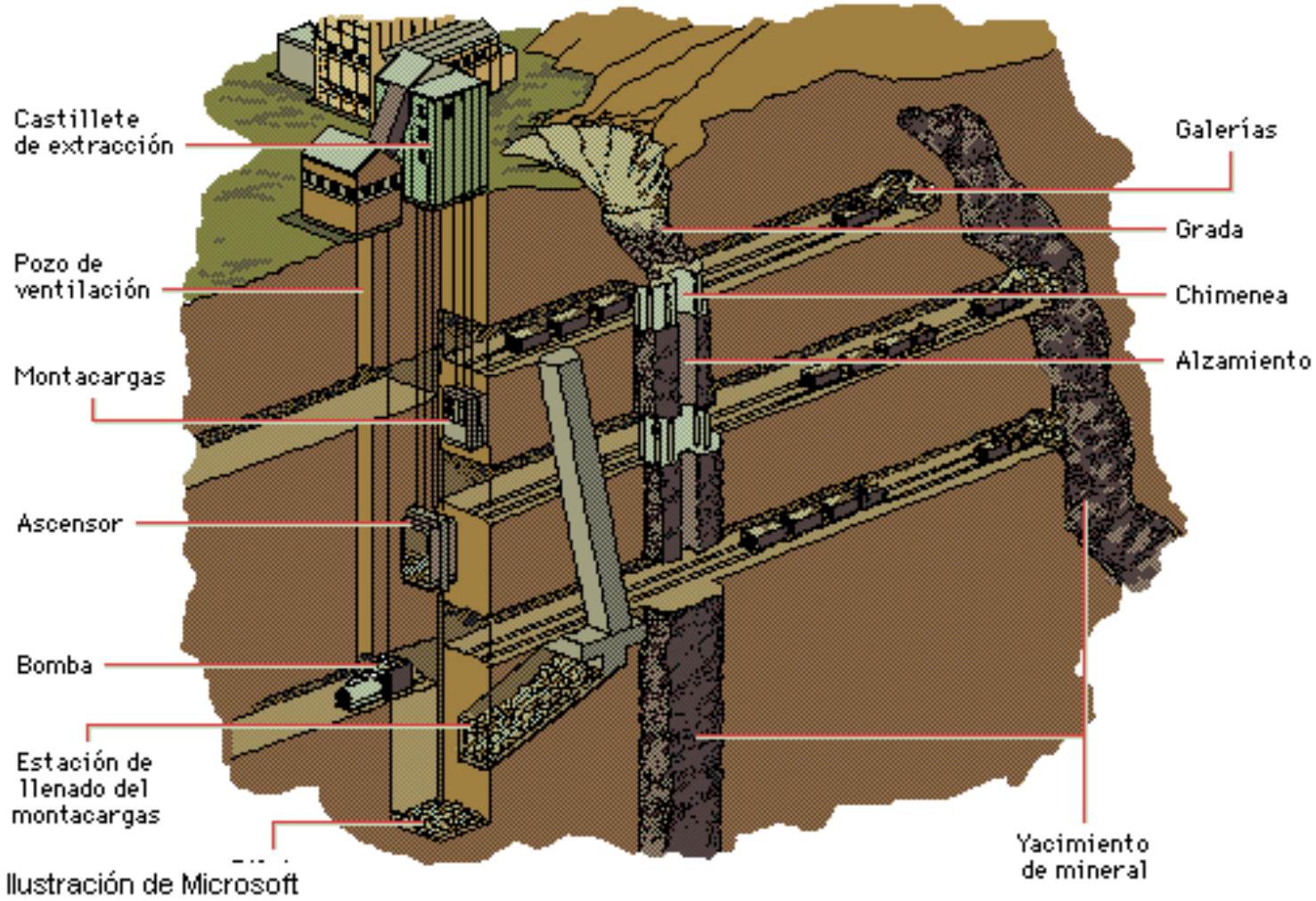


Ilustración de Microsoft

POZOS Y MAQUINARIA DE EXTRACCIÓN

CASTILLETES

POZOS Y MAQUINARÍA DE EXTRACCIÓN

INTRODUCCIÓN.

En minería, los pozos se utilizan como labores de acceso desde la superficie a las minas subterráneas situadas por debajo del nivel freático.

Los pozos pueden ser verticales o inclinados, en este último caso se conocen también como pozos planos, planos inclinados, o simplemente, planos.

El pozo minero puede tener diferentes funciones, no excluyentes entre sí:

- Extracción del mineral del interior de la mina.
- Entrada y salida del personal y el acceso de maquinaria y materiales.
- Entrada o salida de la ventilación.
- Paso para las diversas conducciones necesarias para el funcionamiento de la mina: energía eléctrica, aire comprimido y desagüe.

CASTILLETES

POZOS Y MAQUINARÍA DE EXTRACCIÓN

De todas ellas la más importante es la extracción, siendo el motivo principal de su diseño y construcción. No obstante, lo habitual es que el pozo cumpla con varias de ellas, sobre todo la ventilación. En el caso de minas con más de un pozo es costumbre que uno de ellos se dedique en exclusiva a la extracción y los demás al resto de funciones. Por tal razón aquel se denomina *principal*, *maestro*, o *de extracción* y el resto, *auxiliares*.

Los pozos verticales (o simplemente pozos) son los más empleados. Suelen ser de sección circular, que es la más indicada para resistir el empuje de los terrenos. Sus paredes se recubren de hormigón, para su sostenimiento.

La boca del pozo se denomina *brocal*, su pared es la *caña* y el fondo del pozo recibe el nombre de *caldera*.

CASTILLETES

POZOS Y MAQUINARÍA DE EXTRACCIÓN

Por el interior del pozo circulan uno o dos elementos de transporte, accionados a través de un cable por la máquina de extracción, situada en el exterior de la mina. Los cables van desde la máquina de extracción hasta la vertical del pozo. Allí pasan por unas poleas sujetadas por un castillete y descienden por el interior del pozo. El movimiento es alternativo, de manera que cuando uno sube el otro baja y viceversa.

Figura Nº 1. Pozo vertical.

CASTILLETES

POZOS Y MAQUINARÍA DE EXTRACCIÓN

PERFORACIÓN DE POZOS VERTICALES.

Para la excavación de pozos de gran longitud y sección, se utilizan estructuras metálicas o jumbos de accionamiento neumático o hidráulico que van equipados con 3 ó 4 brazos e igual número de deslizaderas y perforadoras.

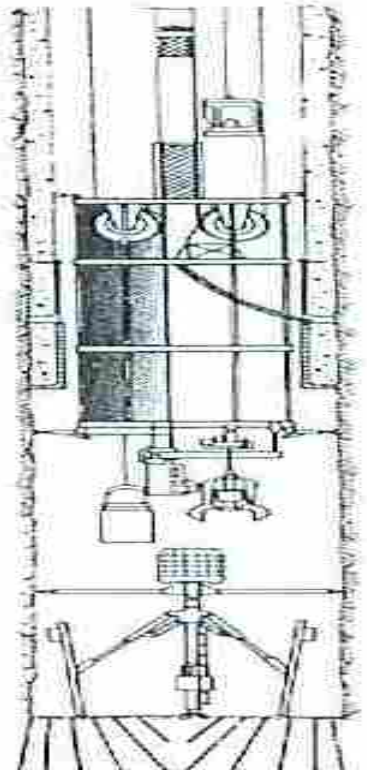


Figura Nº 2. Equipo de profundización de pozos verticales.

CASTILLETES

POZOS Y MAQUINARÍA DE EXTRACCIÓN

Durante el trabajo estos conjuntos se apoyan en el fondo del pozo y se anclan a los hastiales con unos cilindros hidráulicos horizontales. La columna soporte central puede girar 360°, y los brazos que son semejantes a los de los jumbos de túneles pueden variar su inclinación con respecto a la vertical 'y alargarse si son telescópicos.

Una vez perforada y cargada cada pega, el conjunto se pliega y eleva hasta una posición segura, pasando a continuación a la operación de desescombro con cucharas bivalva o retros hidráulicas y cubas.

Un ciclo completo de avance (perforación, voladura, desescombro y colocación de sostenimiento) en la profundización de pozos de 7 m de diámetro, suele durar entre 19 y 24 horas.

CASTILLETES

POZOS Y MAQUINARÍA DE EXTRACCIÓN

Los elementos de transporte usados en los pozos verticales son: la jaula o el skip. La jaula es un cajón, con forma de prisma rectangular recto, abierto por las dos caras laterales más pequeñas (opuestas), con uno o varios pisos, y vías en cada piso. Se utiliza para el transporte de personal, de materiales y del mineral. Sobre las vías se colocan los vagones de mina, que, normalmente, suben llenos y bajan vacíos. La jaula esta dotada de cierres en los laterales abiertos y elementos para retener los vagones cuando está en movimiento.

Por el contrario, el skip es un cajón abierto por arriba, con una compuerta en su parte inferior, que solo se puede utilizar para el transporte de mineral.

CASTILLETES

POZOS Y MAQUINARÍA DE EXTRACCIÓN

El movimiento de las jaulas por el pozo está dirigido por las guiaderas, raíles dispuestos a lo largo de todo el pozo que impiden el movimiento lateral de la jaula. Las jaulas disponen de unas abrazaderas, en forma de U, que envuelven la guiadera para impedir que se separe de la misma.

El pozo se comunica con el resto de la mina a través de los embarques (o enganches). Estos son espacios amplios, hormigonados, situados junto al pozo, del que parten las galerías generales de la mina. En estas zonas se realizan las llamadas *maniobras de embarque*. En el caso de usar jaula, los vagones llenos se introducen en la jaula, que a su vez sacan los vagones vacíos de su interior. En el exterior la maniobra es a la inversa. Se introducen los vacíos que empujan fuera a los llenos. En el caso del skip, en el embarque interior se llena por su parte superior y en el exterior se vacía por la compuerta.

CASTILLETES

POZOS Y MAQUINARÍA DE EXTRACCIÓN

AUTORIZACIÓN DE INSTALACIONES.

El conjunto de las instalaciones inherentes al equipo de un pozo, así como las modificaciones fundamentales que en el mismo se produzcan, precisarán la autorización previa de la autoridad minera, que la concede allado.

CASTILLETES

POZOS Y MAQUINARÍA DE EXTRACCIÓN

ESCALAS.

- Los mecanismos y las escalas, para bajada y subida del personal, serán objeto de revisiones de periodicidad no inferior a un año y cumplirán las prescripciones establecidas en estas instrucciones técnicas.

- Cuando los pozos de extracción estén provistos de escalas, éstas serán rígidas y dispondrán de su propio acceso en todas las plantas en servicio. Un sistema divisorio separará el departamento de escalas del de extracción.

CASTILLETES

POZOS Y MAQUINARÍA DE EXTRACCIÓN

- En los pozos de más de 10 metros de profundidad, la inclinación de las escalas no deberá ser superior a 80°, y se establecerán descansillos de reposo con intervalos máximos de 5 metros, salvo autorización expresa de la autoridad minera en ambos casos.

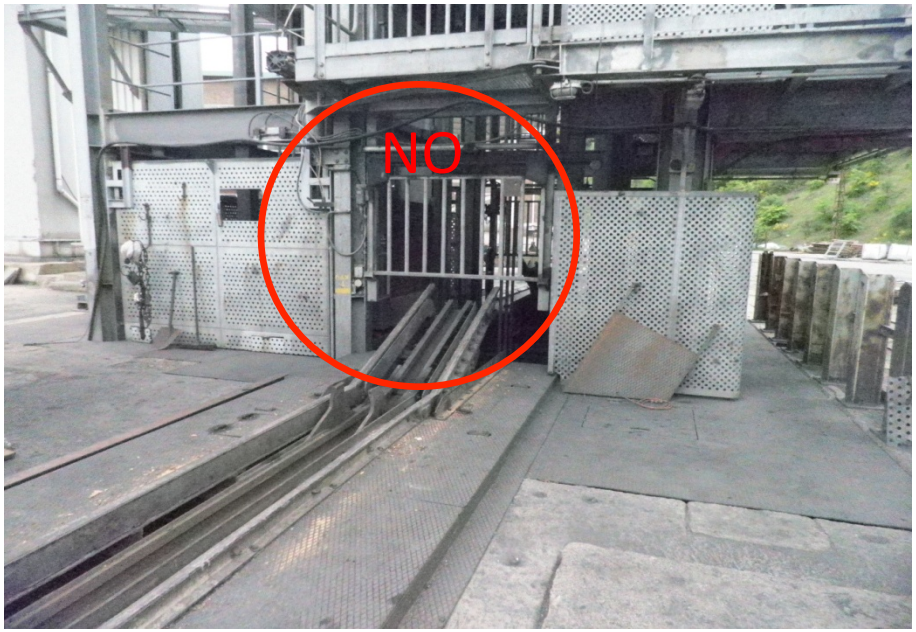
- Toda escala sobrepasará en 0,80 metros su descansillo superior; en su defecto, se colocarán empuñaduras fijas a una altura conveniente por encima de este descansillo.

CASTILLETES

POZOS Y MAQUINARÍA DE EXTRACCIÓN

PROTECCIÓN CONTRA ACCESOS INADVERTIDOS.

En todo pozo con jaulas guiadas, los embarques estarán provistos de barreras o dispositivos apropiados que impidan el acceso a la caña del pozo a personas o vagones cuando la jaula no esté en el embarque.



CASTILLETES

POZOS Y MAQUINARÍA DE EXTRACCIÓN

ILUMINACIÓN.

Todos los embarques en servicio, incluidos los de superficie, estarán bien iluminados por luces fijas.

MANTENER ORDEN Y LIMPIEZA EN EL ENTORNO DEL POZO.

CASTILLETES

POZOS Y MAQUINARÍA DE EXTRACCIÓN

8. COMPORTAMIENTO DE PERSONAL EN EL EMBARQUE.

- El personal en espera de embarcar deberá permanecer a una distancia mínima de 5 metros de la caña del pozo, hasta que reciba la orden de entrar en la jaula, estableciéndose para mayor seguridad, los oportunos dispositivos de señalización.

- Las D.I.S. establecerán la organización de los embarques, el número de personas máximo en cada jaula y el responsable de las entradas y salidas de los relevos.

CASTILLETES

POZOS Y MAQUINARÍA DE EXTRACCIÓN

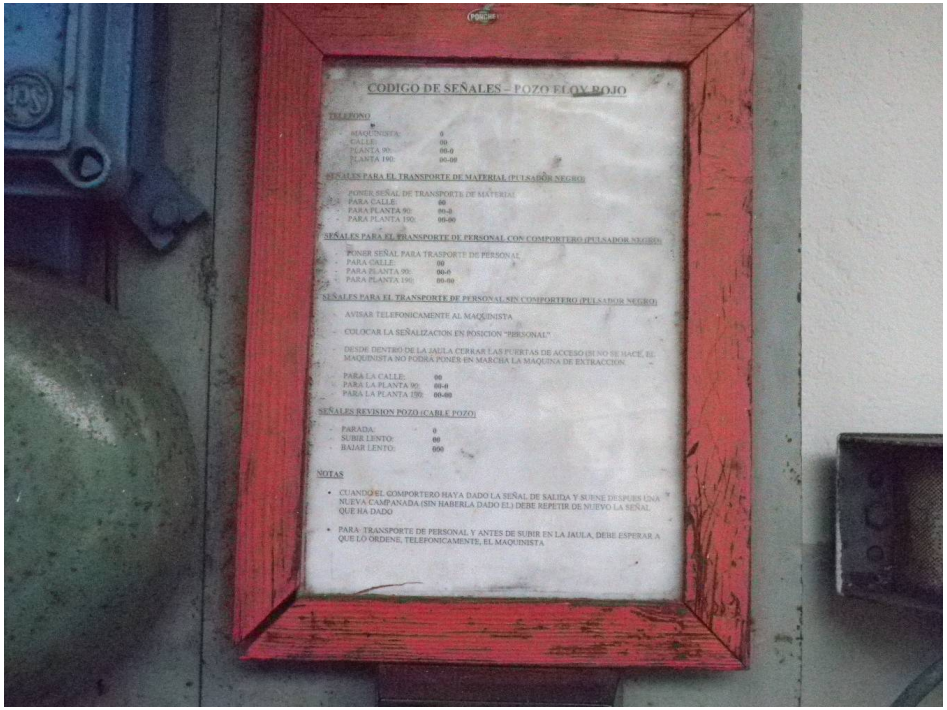
SEÑALIZACIÓN DE MANIOBRAS.

- Todo embarque deberá estar provisto de dispositivos que permitan el intercambio recíproco de señales con el puesto de mando de las maniobras en el pozo. La autoridad minera podrá dispensar los embarques desde los que pueda comunicar verbalmente con este puesto o con otro embarque dotado con los citados dispositivos.

CASTILLETES

POZOS Y MAQUINARÍA DE EXTRACCIÓN

- Se fijará un código de señales y se designarán las personas autorizadas para emitirlas. El código de señales será colocado permanentemente en los distintos embarques y en el puesto de maniobra del maquinista.



CASTILLETES

POZOS Y MAQUINARÍA DE EXTRACCIÓN

- Esta señalización deberá evitar toda confusión entre las señales que correspondan a los diferentes embarques y a los diferentes compartimientos de extracción, así como con cualquier señal de otra procedencia.

- En el código de señales, toda señal debe tener tanto para el que la da como para el que la recibe una significación única, siempre la misma y netamente definida.

- Cuando la señalización sea eléctrica, un mismo cable no puede contener más que los hilos de señalización de una sola máquina de extracción. Toda falta de tensión en el sistema de señales debe poder ser detectada desde el puesto del maquinista.

CASTILLETES

POZOS Y MAQUINARÍA DE EXTRACCIÓN

- Se utilizará una indicación especial para todo transporte de personal. Esta indicación será hecha solamente al principio y al final de una serie de cordadas seguidas de personal, con la condición de que un indicador óptico esté a la vista del maquinista durante toda la duración de la serie de cordadas.

CASTILLETES

POZOS Y MAQUINARÍA DE EXTRACCIÓN

- En todos los pozos con circulación normal de personal, la entrada de éste en la jaula desde un embarque cualquiera estará subordinada a la recepción previa de una indicación permisiva del maquinista. Esta indicación no debe ser dada hasta después de estar frenada la máquina.

- Cuando una jaula esté detenida en un embarque para tomar o dejar personal, su puesta en movimiento estará subordinada a la recepción previa de una señal de marcha emitida desde dicho embarque. En el caso de que el embarque no disponga de embarcador fijo, se precisará el tiempo de espera a observar por el maquinista después de la recepción de señal, debiendo contar con dispositivos capaces de emitir dicha señal.

CASTILLETES

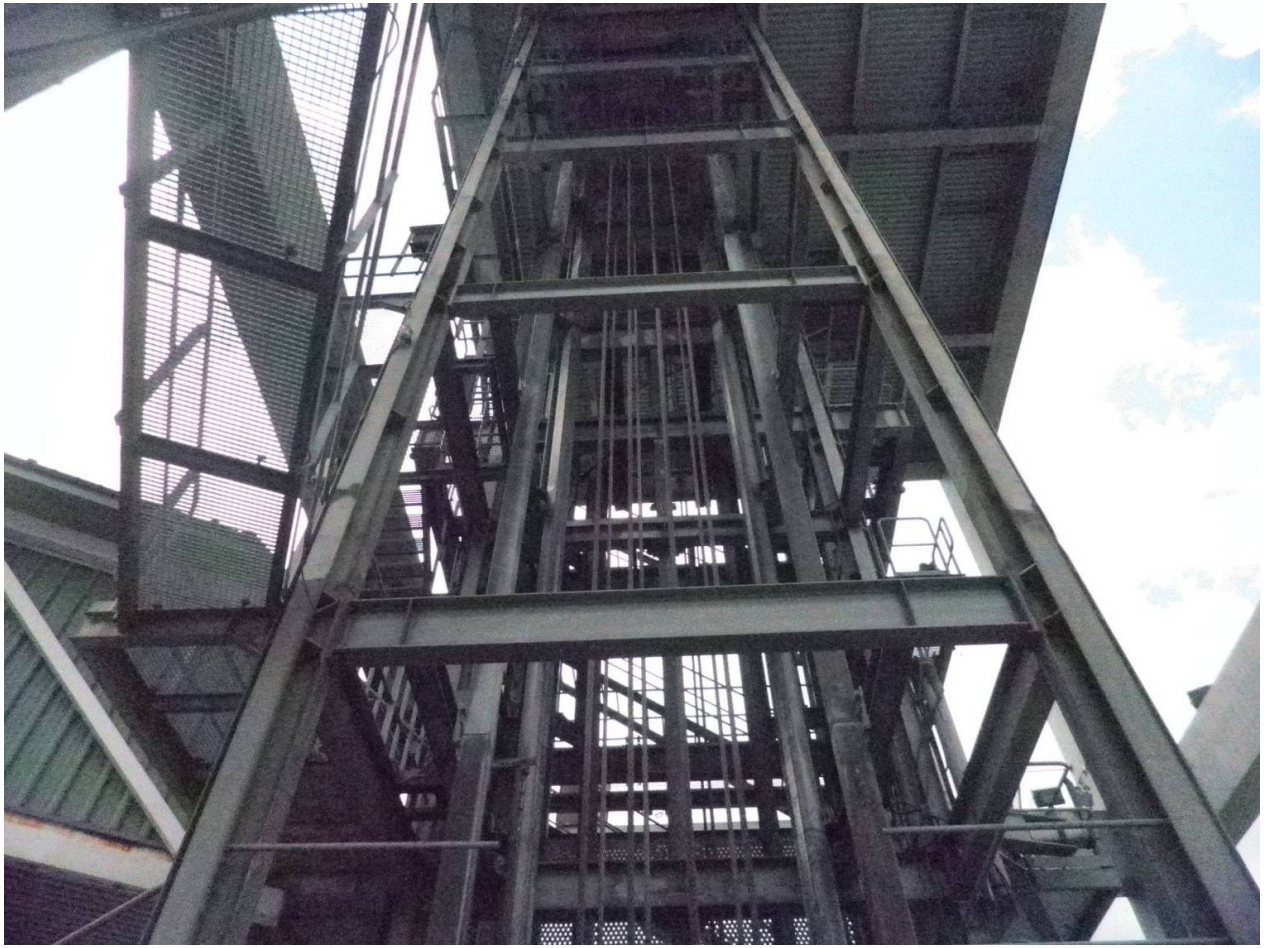
POZOS Y MAQUINARÍA DE EXTRACCIÓN

GUIONAJE.

- El guionaje rígido de los pozos deberá estar sólidamente construido, cuidadosamente alineado y vigilarse frecuentemente. El cálculo del guionaje y de las viguetas que lo soportan se realizará con un coeficiente de seguridad de cuatro sobre la carga estática máxima de la jaula o skip con personal. En el cálculo se supondrá que cada tramo de guionaje resiste independientemente de los demás.
- El guionaje deberá montarse de manera que la jaula o skip que sobrepase accidentalmente el embarque exterior sea detenido por el esfuerzo progresivo del roce antes de alcanzar las poleas.
- Si el pozo dispone de caldera y se emplea para la circulación del relevo sin taquetes o con taquetes ocultos y no existe un dispositivo automático que limite la velocidad de llegada de la jaula al embarque a menos de 1,50 metros/segundo, el guionaje debe disponerse también de forma que la jaula o skip que sobrepase el embarque inferior sea determinado por un esfuerzo progresivo antes de alcanzar el fondo o el nivel del agua si ésta se acumula.

CASTILLETES

POZOS Y MAQUINARÍA DE EXTRACCIÓN



GUIONAJE.

CASTILLETES

POZOS Y MAQUINARÍA DE EXTRACCIÓN

- Si se emplea guionaje de cables, éstos se instalarán en número, calidad y disposición adecuados, para evitar roces o choques de las jaulas o skips entre sí, con el contrapeso o con los parámetros del pozo. El cable del guionaje se calculará con un coeficiente de seguridad mínimo de cinco respecto a su propio peso más el del contrapeso, no debiendo de bajar nunca de tres en servicio.
- La distancia entre dos cables contiguos que guían dos jaulas distintas será como mínimo de 60 centímetros cuando no existan cables de separación, y de 20 centímetros si éstos existen. Estas distancias podrán ser variadas por la autoridad minera cuando la velocidad de las jaulas, en más o en menos, recomiende aumentarlas o disminuirlas.
- En el caso de guionaje rígido, la distancia mínima entre jaulas será de 150 milímetros si el guionaje es lateral.
- En los casos de extracción doble por el mismo pozo, con guionaje rígido, la distancia mínima entre jaulas o skips de distinto sistema será de 350 milímetros.
- La distancia mínima de la jaula a la pared del pozo será, en una instalación nueva, de 150 milímetros.

CASTILLETES

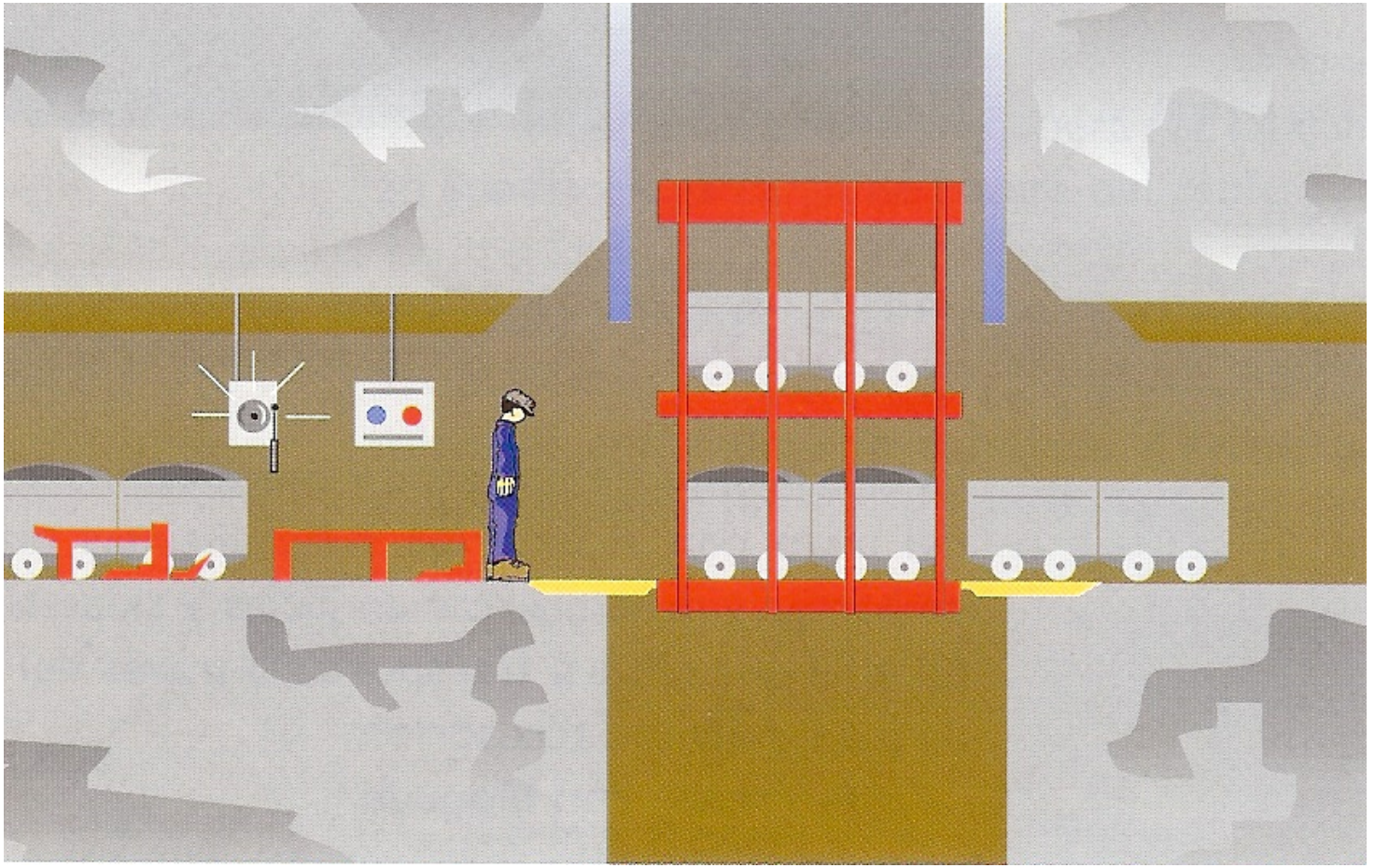
POZOS Y MAQUINARÍA DE EXTRACCIÓN

TAQUETES.

- En el caso de maniobras con personal los taquetes del embarque de las plantas inferiores deben permanecer fuera de posición cuando no exista un dispositivo automático que limite la velocidad de llegada de la jaula al embarque. La velocidad de llegada máxima admitida para taquetes en posición será de 1,50 m/s.
- Los taquetes en las plantas intermedias entre las que se están dando las cordadas deben permanecer siempre fuera de posición.
- Debe preverse un sistema de taquetes en el castillete que actúen siempre que la jaula o skip sobrepase el embarque exterior y que la reciban en el caso de que por estrellarse en las poleas o actuar contra el guionaje convergente el cable de extracción se rompiera.
- Una señalización en la sala de máquinas indicará la posición de los taquetes. Dicha señalización indicará que los mismos están correctamente retirados.

CASTILLETES

POZOS Y MAQUINARÍA DE EXTRACCIÓN



CASTILLETES

POZOS Y MAQUINARÍA DE EXTRACCIÓN

CASTILLETES

POZOS Y MAQUINARÍA DE EXTRACCIÓN

CABLES ELÉCTRICOS Y DE SEÑALIZACIÓN.

Los cables eléctricos que transportan la energía y principalmente los de señalización y telefonía, se instalarán en zonas lo más protegidas posibles contra la caída de vagones, materiales u objetos que pudieran escaparse por la caña del pozo.

TUBERÍAS.

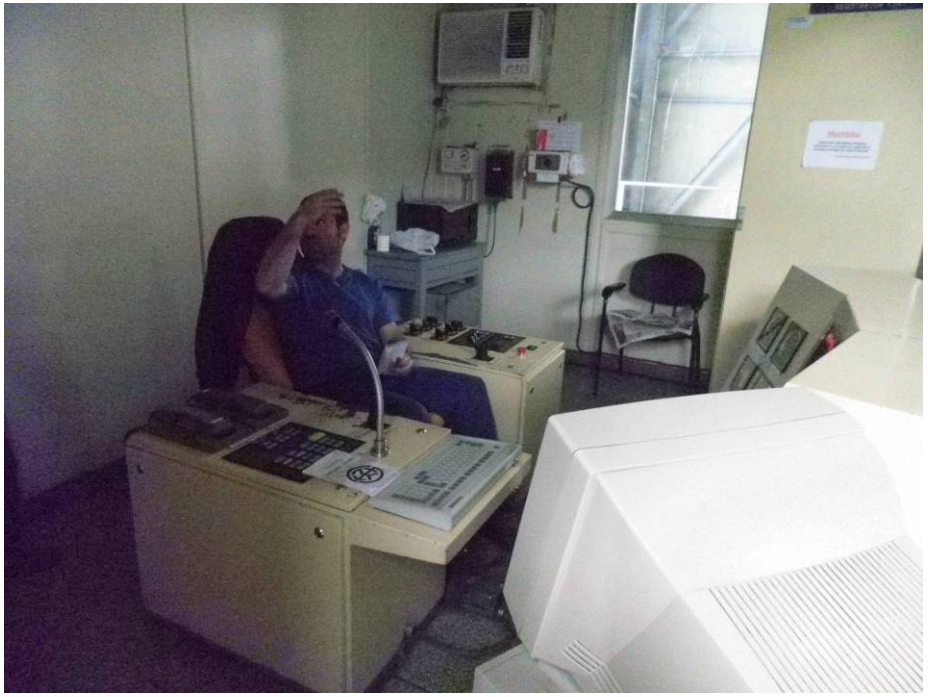
- La instalación de tuberías se hará de forma que sus anclajes soporten los esfuerzos máximos previsibles con coeficiente de seguridad 1,5. Preferiblemente, dispondrán de anclajes independientes de los del guionaje y si fueran los mismos, no harán disminuir el coeficiente de seguridad de aquél por debajo del valor antes establecido.
- La instalación y mantenimiento de tuberías que transporten sólidos, se realizará según disposiciones internas de seguridad, que establecerán el modo de operar en los casos de ser necesario «desatrancar» o reparar las tuberías.

CASTILLETES

POZOS Y MAQUINARÍA DE EXTRACCIÓN

MAQUINISTA.

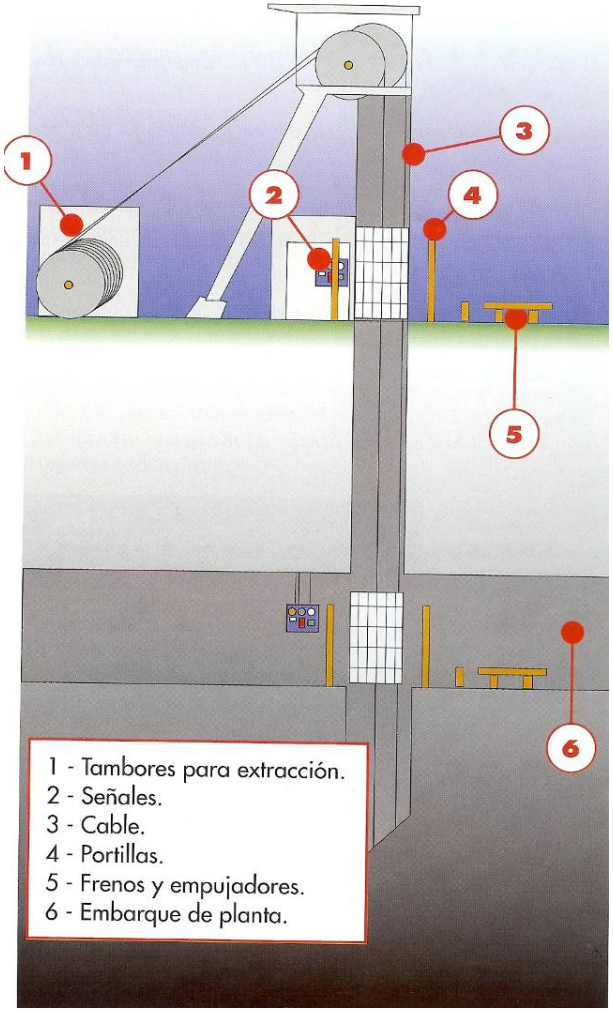
- El acceso a la sala de máquinas estará prohibido a toda persona ajena a su servicio. El maquinista podrá desarrollar su trabajo sin estar sometido a ruidos molestos, y si éstos existieran en el exterior se le ubicará en una cabina debidamente acondicionada.



SALA DE MÁQUINAS.

CASTILLETES

POZOS Y MAQUINARÍA DE EXTRACCIÓN



MAQUINISTA DE EXTRACCIÓN:

- Profesional competente.
- Condiciones psicofísicas acreditadas por certificado médico.
- Carnet de maquinista de extracción, expedido por la A.M.C. (validez 5 años, renovable).
- A partir de los 55 años, validez del carnet 2 años, renovable.

CASTILLETES

POZOS Y MAQUINARÍA DE EXTRACCIÓN

- Cuando no exista dispositivo automático de parada, durante la entrada y salida de los relevos, habrá, además del maquinista, un ayudante capacitado en el manejo de la máquina, que estará siempre en disposición de intervenir en caso necesario.

- A los efectos del párrafo anterior, se entiende por dispositivos automáticos de parada aquellos que impidan que la jaula descendente pueda llegar al fondo a una velocidad superior a 2,5 m/s y a la jaula ascendente alcanzar las poleas.

- Durante la circulación de toda jaula con personal, el maquinista debe permanecer en su puesto de maniobra y poder, en todo momento, actuar sobre la palanca de regulación o los frenos.

- El maquinista no debe dejar nunca su puesto de maniobra sin haber previamente actuado todos los frenos.

CASTILLETES

POZOS Y MAQUINARÍA DE EXTRACCIÓN

FRENOS Y DISPOSITIVOS DE BLOQUEO.

- Las máquinas de extracción dispondrán de dos frenos, uno de maniobra y otro automático de seguridad, sobre el tambor, bobina o polea Koepe. Los mandos estarán dispuestos al alcance del maquinista para que éste pueda accionarlos rápidamente y sin cambiar de sitio.

- El freno de seguridad será del tipo de contrapeso.

CASTILLETES

POZOS Y MAQUINARÍA DE EXTRACCIÓN

- Cada freno será capaz de detener y mantener inmovilizada la máquina incluso en las condiciones más desfavorables.

- Los dos frenos pueden tener los mismos órganos de fricción y de transmisión, pero sus mandos deben ser distintos y distanciados. Uno, al menos, de los frenos debe poder actuar incluso en el caso de falta de suministro de la energía utilizada normalmente para su maniobra.

CASTILLETES

POZOS Y MAQUINARÍA DE EXTRACCIÓN

- El freno de seguridad deberá ejercer su acción sin intervención de engranajes.
- Los mecanismos de los frenos se calcularán con un coeficiente de seguridad mínimo de 5 con relación a la fuerza de frenado máxima utilizada en servicio.
- Cada vez que se realice una revisión o reparación que afecte a los mecanismos de la máquina de extracción, o del castillete, o caña del pozo, o elementos que actúen sobre la regulación y mando de los frenos se darán, igualmente, las cordadas necesarias sin personal para comprobar el correcto funcionamiento de la extracción.

CASTILLETES

POZOS Y MAQUINARÍA DE EXTRACCIÓN

PUESTO DE MANDO DEL MAQUINISTA.

Las máquinas de extracción que sirvan para una circulación normal o excepcional de personal estarán provistas de:

- Un indicador de posición de la jaula o skip en el pozo, situado a la vista del maquinista.

CASTILLETES

POZOS Y MAQUINARÍA DE EXTRACCIÓN

- Un aparato de señalización acústica que anuncie la llegada de la jaula o skip a las proximidades de los embarques extremos en servicio.

Las jaulas que sobrepasen los 6 m/s deberán, además estar provistas de:

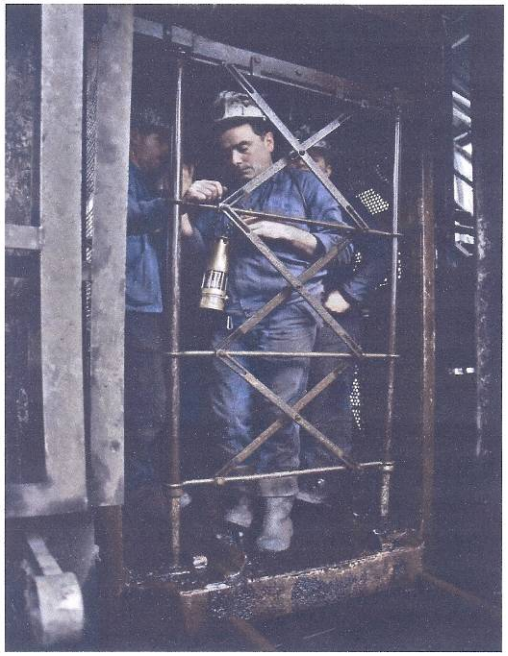
- Un aparato indicador y registrador de la velocidad. Los aparatos de nueva instalación deberán tener también registrador de señales.
- Un cuadro indicador en el que se señale la situación de la maniobra en:
  - Extracción.
  - Personal.
  - U otras que se consideren de interés.

CASTILLETES

POZOS Y MAQUINARÍA DE EXTRACCIÓN

PROTECCIÓN CONTRA CAÍDAS.

- Las jaulas y las plataformas de los skips, cualquiera que sean sus características, dispondrán de elementos que impidan la caída del personal al pozo y le protejan contra la caída de objetos exteriores. Estarán proyectadas de tal manera que si quedasen inmovilizadas accidentalmente en un punto cualquiera de su recorrido permitan que el personal sea evacuado.

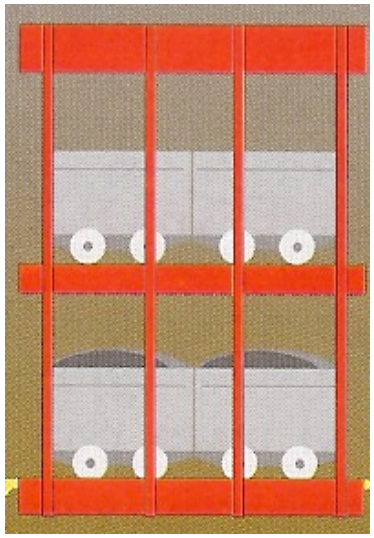


CASTILLETES

POZOS Y MAQUINARÍA DE EXTRACCIÓN

- Igualmente, dispondrán de elementos de sujeción de los vagones o mesillas que transporten o de un sistema de guionaje frontal a lo largo del recorrido que eviten el escape de los mismos durante su transporte.

- Las operaciones de introducción de cargas especiales en las jaulas tales como tuberías, carriles o las que deban ser transportadas suspendidas y que requieran mantener abiertas o retirar las barreras de protección del pozo de forma que el personal tenga que acercarse a menos de 3 metros del brocal exigirán el empleo de cinturones de seguridad.



CASTILLETES

POZOS Y MAQUINARÍA DE EXTRACCIÓN

RESISTENCIA MECÁNICA DE LOS ELEMENTOS DE AMARRE Y SUSPENSIÓN.

- ÓRGANOS DE AMARRE: Deben resistir una carga ≥10 veces la carga estática máxima.
- Los AMARRES Y SUSPENSIONES: Ensayados antes de su puesta en servicio, debe resistir un esfuerzo ≥ 3 veces la carga estática máxima (certificado por laboratorio oficial acreditado).
- Cuando se trate de un CABLE DE EQUILIBRIO el tipo de suspensión debe ser tal que su enganche al cable resista un esfuerzo ≥ 12 veces el peso del cable suspendido de ella.
- NINGUNA PIEZA DE AMARRE puede ser empleada por un tiempo superior a 10 años a partir de su puesta en servicio.
- La UNIÓN DEL CABLE AL AMARRE debe ser tal que resista un esfuerzo superior a la carga de rotura del cable.

CASTILLETES

POZOS Y MAQUINARÍA DE EXTRACCIÓN

AMARRE DEL CABLE A LA JAULA.

CASTILLETES

POZOS Y MAQUINARÍA DE EXTRACCIÓN

AMARRES Y SUSPENSIONES EN INSTALACIONES MULTICABLES.

Cuando la instalación de extracción comprende dos o más cables portadores deben existir dispositivos capaces de igualar sus tensiones en previsión de:

- Repartir correctamente la carga suspendida.
- Uniformizar el desgaste de las gargantas de los elementos de enrollamiento (poleas, Koepe o poleas deflectoras).
- Situar correctamente la jaula en su guionaje.

Para ello dispondrá de:

- La posibilidad de medir la tensión de cada cable.
- Un dispositivo igualador o compensador de tensiones.

CASTILLETES

POZOS Y MAQUINARÍA DE EXTRACCIÓN

CÁLCULO DE LAS JAULAS Y SKIPS.

- El cálculo y proyecto de las jaulas y skips debe tener en cuenta los esfuerzos normales: Carga estática máxima, esfuerzos dinámicos de enjaulado y desenjaulado y, eventualmente, los de colocación sobre taquetes.
- El marco superior de la jaula o skip en el que engarzan el amarre y suspensiones de los cables se calculará con coeficiente de seguridad de 8, siendo este coeficiente la relación del límite de rotura respecto de los esfuerzos normales y el resto de la estructura con coeficiente de seguridad 6.
- La suspensión de cargas de la base de la jaula o la introducción de cargas concentradas en su interior deberá realizarse de forma ordenada y previo conocimiento de las hipótesis de carga y de los desarrollos de cálculo que sirvieron de base para el proyecto de la misma. A tal fin, el Proyectista de la jaula tiene la obligación de entregar al Director facultativo de la mina todos los datos que éste le solicite.

CASTILLETES

POZOS Y MAQUINARÍA DE EXTRACCIÓN

DIMENSIONES DE LOS TAMBORES DE ARROLLAMIENTO.

Los tambores de arrollamiento del cable tendrán la dimensión suficiente para arrollar:

- Tres vueltas de seguridad del cable.
- Los tramos de cable que previsiblemente sea preciso cortar durante la vida del mismo, debido a su alargamiento y a los ensayos de muestras previstos en la ITC 04.4.01.
- La longitud de la cordada más la distancia entre la viga salvapoleas, poleas y el embarque exterior.

CASTILLETES

POZOS Y MAQUINARÍA DE EXTRACCIÓN

CASTILLETES

POZOS Y MAQUINARÍA DE EXTRACCIÓN

OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN.

La presente Instrucción Técnica Complementaria tiene por objeto establecer los requisitos de seguridad aplicables a los cables de acero de cordones empleados como cables de extracción en pozos verticales y planos inclinados en las labores subterráneas realizadas en las actividades que como ámbito de aplicación recoge el artículo 1.o del Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera.

Quedan excluidos de esta ITC los cables planos y los cerrados y semicerrados que serán regulados por una disposición interna de seguridad, aprobada por la autoridad minera competente, quien tendrá en cuenta, lo establecido en el informe de auditoría realizada por el laboratorio oficial acreditado al fabricante, en base a lo establecido en el apartado 2.3, b), de la ITC 12.0.01.

CASTILLETES

POZOS Y MAQUINARÍA DE EXTRACCIÓN

Quedan excluidos de esta ITC los cables que se utilicen en las siguientes instalaciones:

- Pozos y planos inclinados equipados con un torno manual o un cabrestante exclusivo para transporte de material.
- Instalaciones de monorraíl con transporte ligero, excluido personal.
- Estrobos para maniobras de vagones en zonas de embarques en planos inclinados.
- Cables de telemina.

Las medidas de seguridad para estos cables deberán recogerse en una DIS.

CASTILLETES

POZOS Y MAQUINARÍA DE EXTRACCIÓN

DEFINICIONES.

- COEFICIENTE DE SEGURIDAD DE PROYECTO (CP).

A efectos del dimensionado de los cables se define el coeficiente de seguridad de proyecto (Cp), como el cociente entre la fuerza de rotura total mínima del cable y la fuerza estática máxima que soportará en servicio.

- COEFICIENTE DE SEGURIDAD EFECTIVO (CE).

A efectos de comprobación de la resistencia de los cables para la puesta en servicio se define como coeficiente de seguridad efectivo (Ce) el cociente entre la fuerza de rotura total medida del cable y la fuerza estática máxima que soportará en servicio.

- FUERZA DE ROTURA TOTAL MÍNIMA.

Es el valor especificado en KN por debajo del cual no se permite que descienda la fuerza de rotura total medida, en una prueba especificada y que, normalmente, se obtiene como el producto del cuadrado del diámetro nominal del cable, por el factor del área transversal metálica y el factor de arrollamiento o como la suma de los productos del área transversal (en base al diámetro nominal del alambre) y el grado de resistencia a la tracción de cada alambre que se indican en el diseño del fabricante.

CASTILLETES

POZOS Y MAQUINARÍA DE EXTRACCIÓN

- FUERZA DE ROTURA TOTAL MEDIDA.

Es el valor obtenido como la suma de las fuerzas de rotura medidas de todos los alambres tomados de una muestra del cable y ensayados separadamente.

- CARGA ESTÁTICA MÁXIMA.

Es la componente en la dirección del movimiento del peso máximo suspendido del cable. En su determinación se tomarán en cuenta el peso del aparato de carga, incluyendo el de las piezas y los accesorios de unión a los cables de extracción y de equilibrio, el peso de la carga máxima a transportar, el peso de los cables de equilibrio y el peso propio del cable de extracción. Además, en los planos inclinados se tendrán en cuenta las resistencias al movimiento debidas a la rodadura del aparato de carga y al rozamiento del cable.

- TRAMO DE FABRICACIÓN.

Es la longitud de cable obtenida con una misma carga de máquina.

CASTILLETES

POZOS Y MAQUINARÍA DE EXTRACCIÓN

DIMENSIONAMIENTO, INSTALACIÓN Y PUESTA EN SERVICIO

- NORMAS RESPECTO A LAS CONDICIONES QUE DEBEN REUNIR LOS CABLES Y LOS MÉTODOS DE ENSAYO.

En base al reconocimiento mutuo con los Estados miembros de la Unión Europea, la aplicación de normas UNE que se cita en los epígrafes siguientes, podrá sustituirse por normas armonizadas o normas de cualquier otro Estado miembro de la Unión Europea u otros Estados partes contratantes del Acuerdo sobre el Espacio Económico Europeo (Acuerdo EEE), siempre que las características de los cables y los métodos de ensayo ofrezcan un nivel de seguridad y fiabilidad equivalentes a los garantizados por las citadas normas UNE.

CASTILLETES

POZOS Y MAQUINARÍA DE EXTRACCIÓN

- COEFICIENTES DE SEGURIDAD.

Los cables se dimensionarán con los coeficientes de seguridad de proyecto mínimos, establecidos en la tabla 1.

Longitud máxima de cable suspendida	Coeficientes de seguridad de proyecto	
	Cordadas de personal	Cordadas de material
L ≤ 500 m	Cp = 9,5	Cp = 7,2
L > 500 m	Cp = 9,5 – 0,001 L	Cp = 7,2 – 0,0005 L

NOTA: La longitud máxima de cable suspendida L(m) será la medida entre la polea de fricción o bobina de arrollamiento y la posición más baja que pueda alcanzar el aparato de carga en el pozo o plano.

Para L > 500 m, el coeficiente de seguridad de proyecto mínimo en cordadas de material no será inferior a 6.

CASTILLETES

POZOS Y MAQUINARÍA DE EXTRACCIÓN

- INSTALACIÓN Y PUESTA EN SERVICIO.

Reglas Generales.

- La instalación y puesta en servicio de los cables a que se refiere esta ITC se someterán a las siguientes reglas generales de seguridad:
- No se podrán emplear cables empalmados ni cables que hayan sido utilizados en otras instalaciones de extracción o con otros fines. Quedan excluidas de este requisito las instalaciones dotadas con sistemas de cable sin fin en las que, habiendo sido aprobado el proyecto de la instalación por la autoridad minera, sea preciso la realización de empalmes.
- La instalación de un cable ya utilizado anteriormente en la propia instalación será objeto de aprobación especial por la autoridad minera.

CASTILLETES

POZOS Y MAQUINARÍA DE EXTRACCIÓN

Suministro.

Todo tramo de fabricación de cable suministrado a una mina deberá ir acompañado de la siguiente documentación:

- Informe de auditoría al fabricante, realizado por el laboratorio oficial acreditado en base a lo indicado en el apartado 2.3, b), de la ITC 12.0.01 y criterios de la Comisión de Seguridad Minera que los desarrollen.
- En su caso, documentación acreditativa del cumplimiento de lo establecido en el informe de auditoría citado.
- Certificado de control emitido por el fabricante a que se refiere el anexo B de la norma UNE 22.000.
- Certificado emitido por el laboratorio acreditado de la carga de rotura total medida, que dispondrá de los medios necesarios para controlar periódicamente el coeficiente de pérdidas por cableado. La carga de rotura total medida se determinará aplicando el método citado en el punto 7.5.1 de la norma UNE 22.000 a una muestra del tramo de fabricación, obtenida por el fabricante siguiendo el método descrito en la ET0014-1-92.

CASTILLETES

POZOS Y MAQUINARÍA DE EXTRACCIÓN

Instalación y puesta en servicio.

Antes de la instalación de un cable nuevo, el empresario deberá proceder a obtener una muestra del cable de cada tramo de fabricación suministrado, siguiendo el método establecido en la ET 0014-1-92. Esta muestra del cable será guardada en los locales de la mina, debidamente protegida contra la corrosión y daños mecánicos, hasta un mes después de la retirada definitiva del cable del servicio.

Antes de la puesta en servicio del cable se realizarán al menos 30 cordadas consecutivas de transporte de material, con la carga máxima de elevación, y la velocidad, aceleración y deceleración máximas previstas en servicio normal. Durante las pruebas se obtendrá un registro continuo de la velocidad de cada cordada (diagrama velocidad-tiempo) y a su finalización se realizará una inspección del cable de nivel I, según lo establecido en ET 0801-1-93. El resultado de esta prueba se recogerá en el Libro de Registro de Cables.

CASTILLETES

POZOS Y MAQUINARÍA DE EXTRACCIÓN

Toda instalación nueva, así como toda modificación de una instalación será objeto de un proyecto; cuando en una instalación únicamente se sustituya el cable se solicitará su puesta en servicio adjuntando una memoria técnica, que deberá contener:

- Las características completas del cable y el certificado de control emitido por el fabricante a que se refiere el anexo B de la norma UNE 22.000.
- El certificado emitido por un laboratorio acreditado correspondiente a la determinación de la carga de rotura total medida prevista en el apartado 3.2.2.
- La comprobación de que el coeficiente de seguridad efectivo C es igual o mayor que el coeficiente de seguridad mínimo de proyecto C.
- Informe de auditoría al fabricante, realizada por el laboratorio oficial acreditado en base a lo indicado en el apartado 2.3, b), de la ITC 12.0.01 y criterios de la Comisión de Seguridad Minera que los desarrollen.
- En su caso, documentación acreditativa del cumplimiento de lo establecido en el informe de auditoría citado.

CASTILLETES

POZOS Y MAQUINARÍA DE EXTRACCIÓN

INSPECCIÓN DE LOS CABLES EN SERVICIO

- PROCEDIMIENTOS DE INSPECCIÓN.

Los cables de acero contemplados en la presente ITC serán inspeccionados durante el servicio aplicando los métodos establecidos en la ET 0801-1-93, correspondientes a las inspecciones de nivel I y nivel II, respectivamente.

- REALIZACIÓN DE LAS INSPECCIONES.

Aplicación de la inspección de nivel I.

El empresario designará la persona o personas encargadas de la realización de las inspecciones de nivel I que deberán estar debidamente capacitadas.

CASTILLETES

POZOS Y MAQUINARÍA DE EXTRACCIÓN

La aplicación de la inspección de nivel I se realizará con la periodicidad siguiente:

A) Diariamente se inspeccionará el estado general del cable, a velocidad ≤1m/s, para localizar posibles deformaciones visibles y roturas concentradas de alambres. Si se detecta algún deterioro de estas características se realizará una inspección de la zona afectada a cable parado. El resultado de la inspección se anotará en el Libro de Registro de Cables.

B) Semanalmente se inspeccionará el cable a una velocidad ≤1m/s, observando en particular el número de alambres rotos, así como deformaciones, disminuciones de la sección y otros deterioros. Se prestará especial atención a aquellas zonas que lo requieran como consecuencia de los resultados de la inspección diaria.

En cada posición de inspección se medirán el diámetro y el paso de cableado según la ET 0801-1-93.

Los resultados de la inspección se anotarán en el Libro de Registro de Cables.

CASTILLETES

POZOS Y MAQUINARÍA DE EXTRACCIÓN

C) Inspección de la zona del cable comprendida en los dispositivos de amarre. El resultado de esta inspección se anotará en el Libro de Registro de Cables.

- Poleas Koepe: Anualmente se inspeccionará la zona del cable comprendida en los dispositivos de amarre, desde el punto de vista del número de alambres rotos, el desgaste y la corrosión externa e interna.
- Máquinas de tambor: Para las instalaciones destinadas al transporte de personal y dotadas de máquinas de tambor se procederá, una vez durante el primer año y una vez cada seis meses los años siguientes, al corte de su parte inferior en una longitud de, al menos, tres metros comprendiendo la zona del amarre. Esta muestra, obtenida según el procedimiento establecido en la ET 0014-1-92, se someterá al ensayo para determinar la carga de rotura total medida, según el punto 7.5.1 de la norma UNE 22.000, en un laboratorio oficial acreditado, que dispondrá de los medios adecuados para controlar periódicamente el coeficiente de pérdidas por cableado; además, se destrenzará un trozo de la muestra para una cuidadosa inspección del interior del cable desde el punto de vista del número de alambres rotos, el desgaste y la corrosión interna y externa.

CASTILLETES

POZOS Y MAQUINARÍA DE EXTRACCIÓN

Aplicación de la inspección de nivel II.

- Las inspecciones de nivel II deberán ser realizadas por personal de la autoridad minera competente u organismo de control de los contemplados en el artículo 15 de la Ley 21/1992, de 16 de julio, de Industria, y reguladas en el capítulo IV del Reglamento de la Infraestructura para la Calidad y la Seguridad Industrial, aprobado por Real Decreto 2200/1995, de 28 de diciembre, y las conclusiones de sus informes de inspección registradas en el Libro de Registro de Cables.
- Deberá realizarse una inspección de nivel II, según lo establecido en la ET 0801-1-93 antes de que haya transcurrido un mes de funcionamiento desde la puesta en servicio del cable.
- El aparato de examen electromagnético empleado deberá ser conforme con la ET 0802-1-93.

CASTILLETES

POZOS Y MAQUINARÍA DE EXTRACCIÓN

- Una vez realizada la primera inspección electromagnética, destinada a obtener un registro base del cable que servirá de referencia para las siguientes inspecciones, todo cable será inspeccionado electromagnéticamente al menos una vez cada seis meses a lo largo de toda su longitud.

- Aquellas secciones accesibles del cable que no puedan ser examinadas electromagnéticamente se inspeccionarán aplicando la metodología del nivel I de inspección.

- Cuando un accidente en el pozo (caída de objetos sobre el cable, choque de la jaula, etc.) pueda haber ocasionado algún daño al cable, el empresario deberá comunicarlo a la autoridad minera, adjuntando un informe de inspección de nivel II realizado en el menor plazo de tiempo posible después de ocurrido el accidente.

CASTILLETES

POZOS Y MAQUINARÍA DE EXTRACCIÓN

RETIRADA DE CABLES DEL SERVICIO.

Del resultado de las inspecciones efectuadas según los apartados anteriores se deducirá si un cable puede o no continuar en servicio.

Los cables se retirarán del servicio, salvo autorización expresa justificada en casos excepcionales, cuando se dé al menos una de las condiciones siguientes:

- Primero: Los resultados de un ensayo de nivel II indiquen una pérdida de sección metálica superior al 15 %.
- Segundo: El número de alambres rotos en un paso de cableado (excluyendo los alambres de relleno) es superior a:
  - ✓ El 15% del número total de alambres localizados en cualquier cordón.
  - ✓ El 5% del número total de alambres cuando se encuentren localizados en un cordón.

CASTILLETES

POZOS Y MAQUINARÍA DE EXTRACCIÓN

- Tercero: Cuando la disminución del diámetro del cable en un punto cualquiera alcance el 10 % del mismo.
- Cuarto: Cuando los alambres exteriores han perdido más de 1/3 de su sección metálica como resultado de cualquier tipo de deterioro.
- Quinto: Cuando el factor de rechazo, determinado según la ET 0801-1-93 alcance el valor 100.

REGISTRO DE CABLES.

El empresario deberá disponer de un Libro de Registro de Cables de acuerdo con la ET 0801-1-93.

CASTILLETES

POZOS Y MAQUINARÍA DE EXTRACCIÓN

ALMACENAMIENTO DE LOS CABLES.

- Todo cable recepcionado en la mina deberá ser almacenado en un local que reúna las condiciones adecuadas para asegurar su protección contra la corrosión, daños mecánicos y daños térmicos.
- El local deberá ser cerrado, a ser posible seco, con suelo de hormigón, bien aireado, libre de polvo, vapores y gases y en el que no se produzcan variaciones importantes de temperatura.
- Cuando el cable se almacene en rollos no deberán ser colocados directamente sobre el suelo. Se colocarán sobre una tarima de madera.
- Los carretes se podrán posar directamente sobre el suelo siempre que el cable quede a una distancia mínima del suelo de 25 cm.
- Los cables almacenados deberán inspeccionarse periódicamente para asegurarse que no existen indicios de corrosión u otro tipo de deterioro visible. Transporte y circulación de personal por planos inclinados.

CASTILLETES

POZOS Y MAQUINARÍA DE EXTRACCIÓN

PERFORACION DE CHIMENEAS

- Plataforma trepadora Alimak.

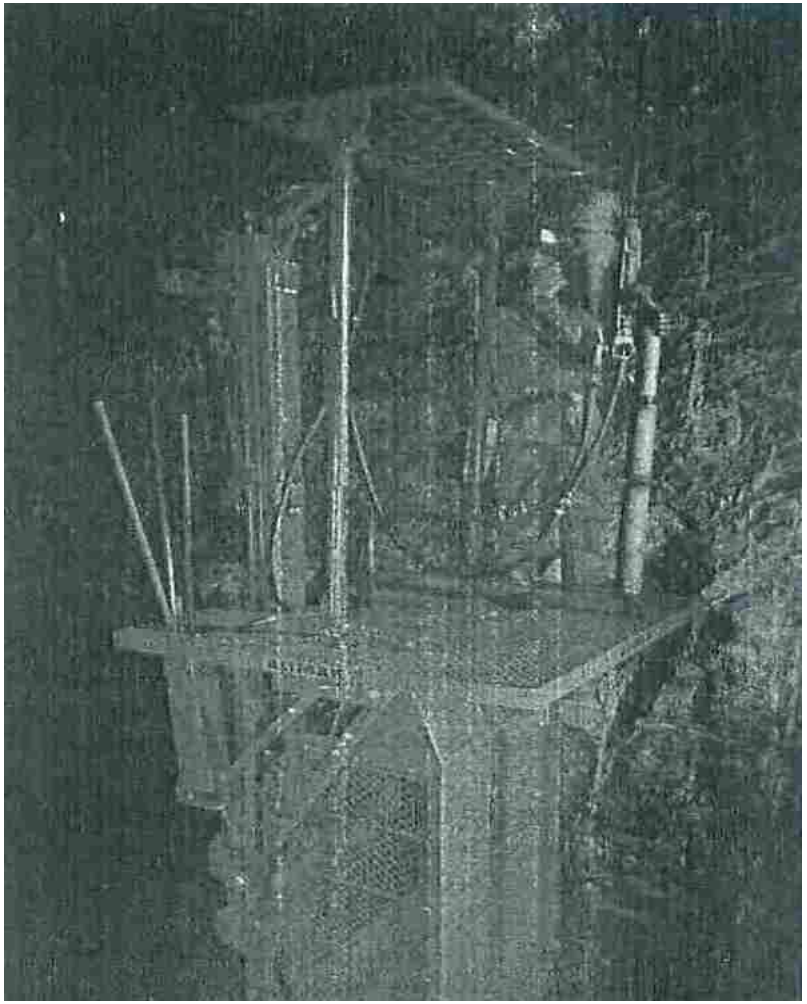
Este método de excavación de chimeneas y piqueras se introdujo en 1957, y desde entonces debido a su flexibilidad, economía y velocidad se ha convertido en uno de los más usados del mundo, sobre todo en aquellos casos donde no existe ningún nivel de acceso superior.

Estos equipos están constituidos por una jaula, la plataforma de trabajo, los motores de accionamiento, el carril guía y los elementos auxiliares.

En la Figura siguiente se representa un ciclo de trabajo completo.

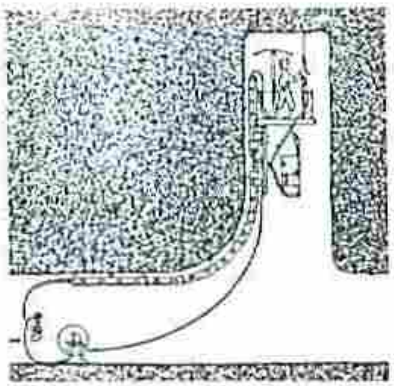
CASTILLETES

POZOS Y MAQUINARÍA DE EXTRACCIÓN

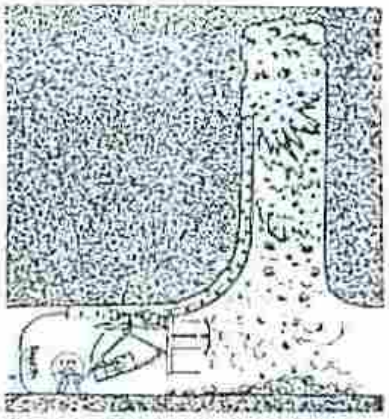


CASTILLETES

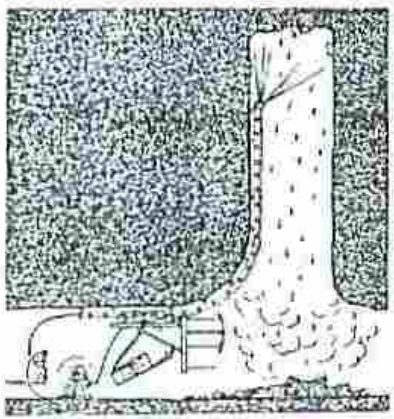
POZOS Y MAQUINARÍA DE EXTRACCIÓN



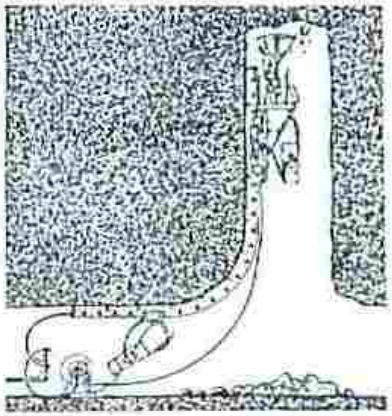
1. PERFORACION Y CARGA DE BARRENOS



2. DESCENSO DE LA PLATAFORMA Y VOLADURA



3. VENTILACION Y RIEGO



4. ELEVACION DE LA PLATAFORMA Y SANEO DEL TECHO

CASTILLETES

POZOS Y MAQUINARÍA DE EXTRACCIÓN

- La elevación de la plataforma se realiza a través de un carril guía curvado empleando motores de aire " comprimido, eléctricos o diesel.

- La fijación del carril a la roca se lleva a cabo con bulones de anclaje, y tanto las tuberías de aire como de agua necesarias para la perforación, ventilación y el riego se sitúan en el lado interno del carril guía para su protección.

- Durante el trabajo los perforistas se encuentran sobre Una plataforma segura, ya que disponen de una cubierta y una barandilla de protección, y para el transporte del personal y materiales se utiliza la jaula que se encuentra debajo de la plataforma.

- En un relevo dos perforistas pueden avanzar de 2,2 a 3 m. Los accionamientos de aire Comprimido son adecuados para longitudes inferiores a los 200 m, los motores eléctricos hasta 800 m y a partir de esas distancias se recomiendan los motores diesel.

CASTILLETES

POZOS Y MAQUINARÍA DE EXTRACCIÓN

Las principales ventajas de estos equipos son:

- Pueden usarse para chimeneas de pequeña o gran longitud y con cualquier inclinación.
- Las diferentes secciones y geometrías de las chimeneas pueden conseguirse cambiando las plataformas.
- Siendo posible excavar secciones desde 3 m^2 hasta 30 m^2.
- Es posible en una misma obra cambiar la dirección e inclinación de las chimeneas mediante el uso de carriles curvos.
- La longitud de las excavaciones puede ser prácticamente ilimitada. La chimenea más larga efectuada hasta la actualidad tiene 1.040 m y una inclinación de 45°.
- Puede emplearse como equipo de producción en algunos yacimientos aplicando el método «Alimak Raise Mining».

CASTILLETES

POZOS Y MAQUINARÍA DE EXTRACCIÓN

- En el ensanchamiento de chimeneas pilotos para la excavación de pozos de gran sección puede complementarse con unidades de perforación horizontal.
- El equipo básico es posible emplearlo en la apertura de varias chimeneas simultáneamente.
- En terrenos malos las plataformas pueden utilizarse para realizar el sostenimiento con bulonaje, inyección, etc.
- La inversión es menor que con el sistema RaiseBorer.
- Requiere mano de obra no demasiado especializada.
- La preparación inicial del área de trabajo es muy reducida.

CASTILLETES

POZOS Y MAQUINARÍA DE EXTRACCIÓN

Por el contrario, algunos inconvenientes que presenta son:

- El ambiente de trabajo es de escasa calidad.
- La rugosidad de las paredes es grande, lo cual constituye un inconveniente en las chimeneas de ventilación y una ventaja en las piqueras de paso de mineral.
- El estado del macizo remanente es peor que el conseguido con el método Raise Boring.

CASTILLETES

POZOS Y MAQUINARÍA DE EXTRACCIÓN

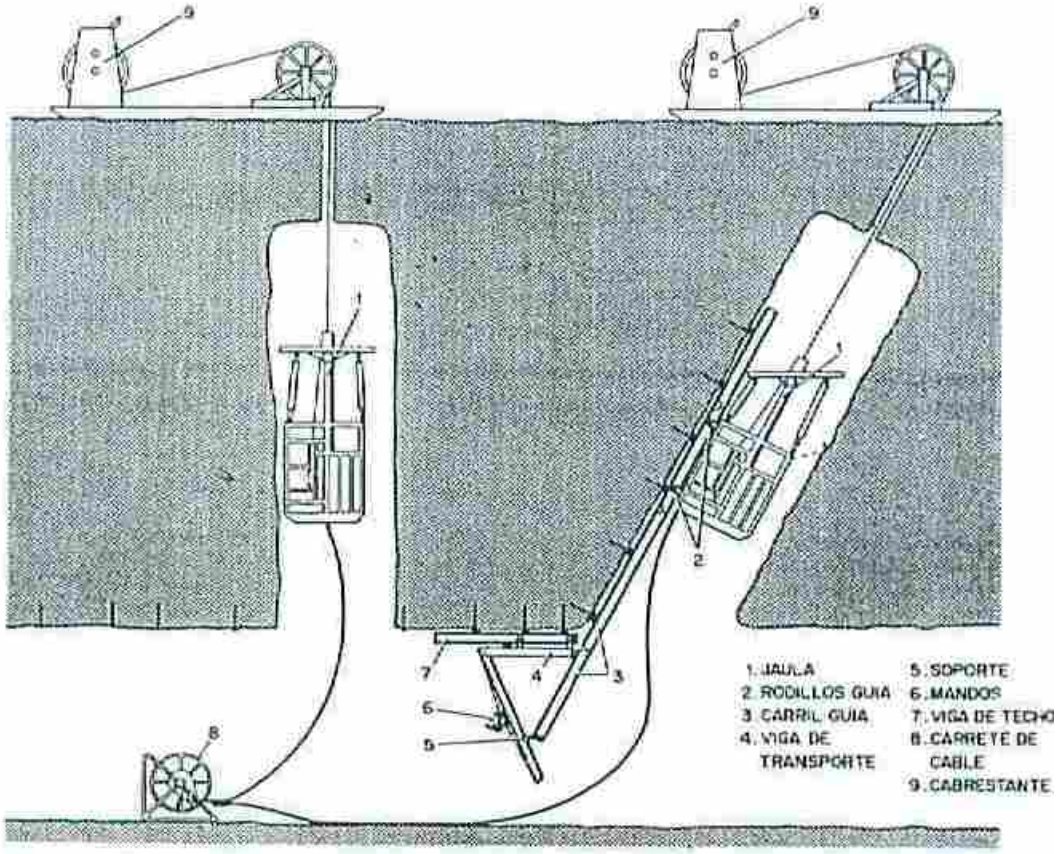
Jaula Jora.

Esta máquina es fabricada por Atlas Copco y se aplica también a la excavación de chimeneas y piqueras, tanto verticales como inclinadas. La diferencia básica con el equipo anterior es que se precisa la realización de un barreno piloto de un diámetro entre 75 y 100 mm por donde penetra el cable de elevación. Los principales componentes son la plataforma de trabajo, la jaula de transporte, el mecanismo de elevación y en chimeneas inclinadas el carril guía.

Durante la perforación, la plataforma se fija a los hastiales de la excavación mediante un sistema de brazos telescópicos. El principal inconveniente de este método, frente al anterior, es la perforación del barreno piloto, pues del control de su desviación dependerá la longitud de la chimenea. El campo de aplicación práctico y económico se encuentra entre los 30 y 100 m.

CASTILLETES

POZOS Y MAQUINARÍA DE EXTRACCIÓN



CASTILLETES

POZOS Y MAQUINARÍA DE EXTRACCIÓN

En cada pega es necesario desenganchar la jaula del cable de elevación, pues de lo contrario éste último se dañaría durante las voladuras.

El barreno central presenta las ventajas de servir de hueco de expansión en los cueles paralelos, con los que se consiguen avances por disparo de unos 3 a 4 m, y de entrada de aire fresco.