



Universidad  
Politécnica  
de Cartagena

[www.upct.es](http://www.upct.es)



Universidad  
Politécnica  
de Cartagena

## 3<sup>ER</sup> Curso-GIRME-INGENIERÍA MINERA

UNIDAD III. Instalaciones Auxiliares



## TEMA 9. VENTILACIÓN SUBTERRÁNEA



# Índice

## **1. Generalidades**

1.1. CONTAMINACIÓN DE LA ATMÓSFERA DE LA MINA Y  
ESPACIOS SUBTERRÁNEOS

1.2. POLVO

1.3. CALOR

## **2. Ventilación en túneles**

## **3. Ventiladores y pérdidas de carga**

## **4. Ventiladores y curva característica**

## **5. Tuberías de ventilación**



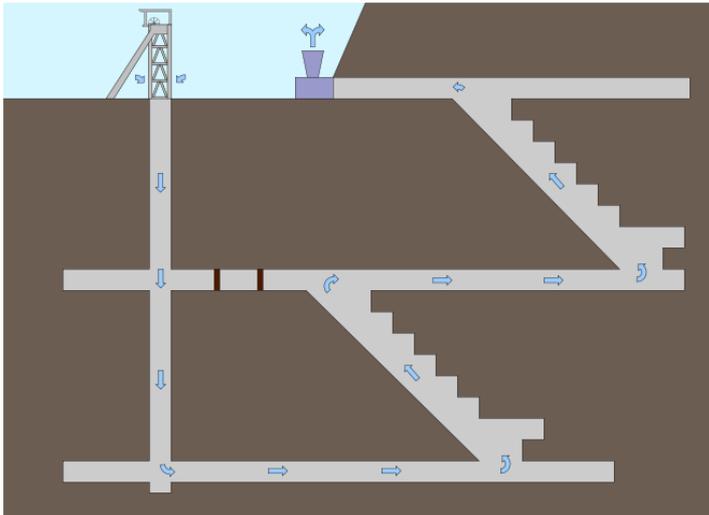
# 1

## Generalidades

- 1.1. CONTAMINACIÓN DE LA ATMÓSFERA DE LA MINA Y ESPACIOS SUBTERRÁNEOS
- 1.2. POLVO
- 1.3. CALOR



## ■ Ventilación en mina.



## ■ Ventilación en túnel.



## Objeto de la ventilación de minas y espacios subterráneos.

- La respiración de las personas.
  - La combustión de los motores diesel.
  - La dilución de los gases contaminantes.
- 
- Disminución de la temperatura.
  - Eliminación de polvo.



## Conceptos de aire limpio.

- Aire puro: Mezcla de Oxígeno (21%) y Nitrógeno (79%).
- En la naturaleza la proporción de N<sub>2</sub> disminuye por la presencia de otros gases.
  - Vapor de agua.
  - Dióxido de carbono.
  - Argón.
  - Etc...
- Aire “sucio”, “viciado”, “contaminado”, etc...
- Normalmente se una persona consume:
  - 7 l/min de aire (0,25 l/min de O<sub>2</sub>) en reposo.
  - 60 l/min de aire (2,5 l/min de O<sub>2</sub>) en esfuerzo.



## Causas de la disminución del O<sub>2</sub> en los espacios subterráneos.

- En fondo de saco, galerías de mina o túneles en ejecución:
  - La respiración de las personas.
  - La oxidación de minerales presentes en el macizo rocoso.
  - La putrefacción de la madera.
  - Las voladuras.
  - Los motores de combustión interna de vehículos y maquinaria.
  - Desplazamiento por otros gases.
  - Etc...



# CONTAMINACIÓN DE LA ATMÓSFERA DE LA MINA Y ESPACIOS SUBTERRÁNEOS



## Gases necesarios en la respiración.

- El O<sub>2</sub>.
- Es inodoro, incoloro e insípido.
- 21-18 %. No se altera el ritmo respiratorio.
- 18-9 %. Se aceleran el pulso y el ritmo respiratorio; aparecen vómitos.
- 9-6 %; Excitación intensa, síncope, coma.
- 5-3 %; Muerte rápida.

**La normativa vigente exige contenido en O<sub>2</sub> en la atmósfera presente en una labor subterránea sea superior a 19 %.**



# CONTAMINACIÓN DE LA ATMÓSFERA DE LA MINA Y ESPACIOS SUBTERRÁNEOS

---

## Gases ANÓXICOS.

- No producen un efecto directo sobre el organismo.
- Desplazan al oxígeno del aire y generan una atmósfera no apta para la respiración.
- Metano y Nitrógeno.

## N<sub>2</sub>

- Incoloro, inodoro e insípido.
- El exceso de nitrógeno puede venir de:
  - Formaciones rocosas (potasas).
  - De los humos de las voladuras.

## CH<sub>4</sub>

- Siempre presente en los terrenos carboníferos.
- 80% de CH<sub>4</sub> con 20% de O<sub>2</sub> dolor de cabeza.
- Menor densidad que el aire.



## Gases ASFIXIANTES.

### Anhídrido Carbónico CO<sub>2</sub>.

- Gas incoloro soluble en agua bajo la formación de ácido carbónico.
- A concentraciones (10%) :
  - Sabor y olor ligeramente ácido.
  - Efecto irritante sobre las mucosas de la nariz y los ojos.
- Mas denso que el aire.



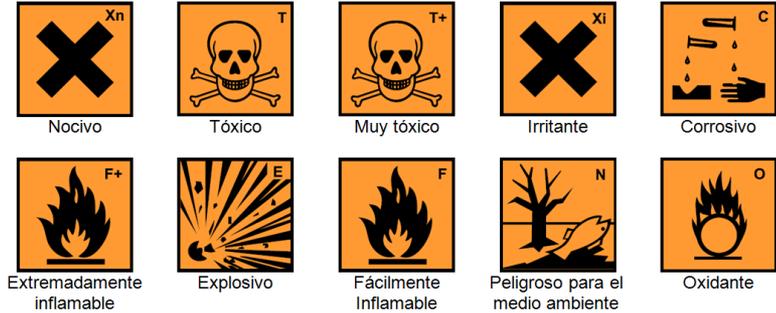
## Gases ASFIXIANTEs.

- El exceso de CO<sub>2</sub> puede venir de:
  - Respiración de las personas.
  - Oxidación de la materia orgánica o el carbón.
  - Motores diesel.
  - Voladuras.
  - Incendios.
- Efectos según la concentración son los siguientes:
  - 0,5 %; el organismo lo tolera bien.
  - 0,5-5%; aparecen síntomas y una respiración laboriosa.
  - 5-10 %; coma.
  - 20-25 %; mortal.

# CONTAMINACIÓN DE LA ATMÓSFERA DE LA MINA Y ESPACIOS SUBTERRÁNEOS

## Gases TÓXICOS QUÍMICOS.

- Dañan los órganos,
- Impiden su funcionamiento normal al atacar al sistema nervioso,
- Alteran su metabolismo.
  - El Monóxido de Carbono CO,
  - los Vapores Nitrosos  $NxOy$
  - y el Sulfuro de Hidrógeno  $H_2S$ .



# CONTAMINACIÓN DE LA ATMÓSFERA DE LA MINA Y ESPACIOS SUBTERRÁNEOS

## Gases TÓXICOS QUÍMICOS.



Nocivo



Tóxico



Muy tóxico



Irritante



Corrosivo

## Monóxido de Carbono CO.



Extremadamente inflamable



Explosivo



Fácilmente inflamable



Peligroso para el medio ambiente



Oxidante

- Incoloro, inodoro e insípido.
- Aproximadamente igual densidad que el aire.
- Se origina:
  - En la combustión incompleta de sustancias que tienen Carbono:
    - Madera, hulla, goma, plásticos y aceite.
  - Naturalmente a partir de la oxidación de sustancias carbonosas.
  - Voladuras.
  - Combustión de motores diesel.
  - Calentamiento excesivo de motores (que contienen aceite) o Bandas transportadoras.

# CONTAMINACIÓN DE LA ATMÓSFERA DE LA MINA Y ESPACIOS SUBTERRÁNEOS

## Gases TÓXICOS QUÍMICOS.



Nocivo



Tóxico



Muy tóxico



Irritante



Corrosivo

## Monóxido de Carbono CO.



Extremadamente inflamable



Explosivo



Fácilmente inflamable



Peligroso para el medio ambiente



Oxidante

- Gas muy tóxico cuyos efectos aparecen con concentraciones bajas:
  - 50 ppm; el organismo lo tolera.
  - 100-500 ppm; aparecen dolores de cabeza y vómitos.
  - 1.000 ppm; aparecen síntomas graves en 30-45'.
  - 10.000 ppm; provoca la muerte en unos minutos.

# CONTAMINACIÓN DE LA ATMÓSFERA DE LA MINA Y ESPACIOS SUBTERRÁNEOS

## Gases TÓXICOS QUÍMICOS.

### Vapores Nitrosos $N_xO_y$ .

- Combustión de los motores diesel y en las voladuras.

### Monóxido de Nitrógeno.

- Incoloro, inodoro e insípido y se combina rápidamente con el oxígeno para forma dióxido.

## OXIDO NITROSO

Monóxido de nitrógeno  
Protóxido de nitrógeno  
Gas hilarante



# CONTAMINACIÓN DE LA ATMÓSFERA DE LA MINA Y ESPACIOS SUBTERRÁNEOS

## Gases TÓXICOS QUÍMICOS.



Nocivo



Tóxico



Muy tóxico



Irritante



Corrosivo



Extremadamente inflamable



Explosivo



Fácilmente inflamable



Peligroso para el medio ambiente



Oxidante

## Dióxido de Nitrógeno.

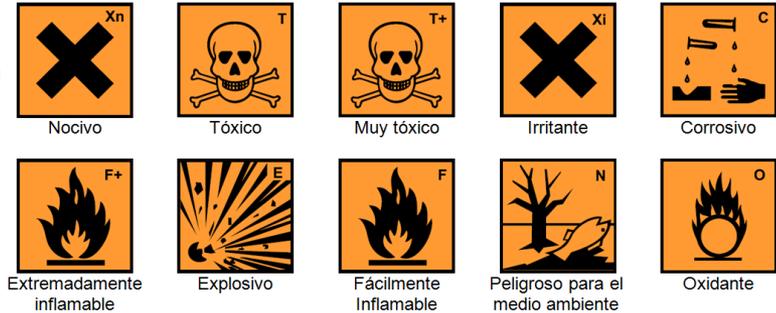
- Gas de color marrón rojizo de sabor ácido y maloliente.
- Cuyos efectos aparecen con concentraciones bajas:
  - 60 ppm; produce irritación en la garganta.
  - 100-500 ppm; produce tos, aparecen síntomas graves en 30'.
  - 250 ppm; provoca la muerte en unos minutos.



# CONTAMINACIÓN DE LA ATMÓSFERA DE LA MINA Y ESPACIOS SUBTERRÁNEOS

## Gases TÓXICOS QUÍMICOS. Sulfuro de Hidrógeno H<sub>2</sub>S.

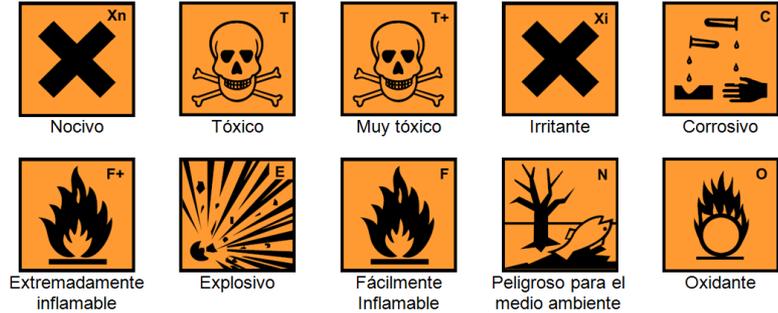
- Gas incoloro.
- Olor característico originado por la descomposición de sustancias que contengan azufre.
- Mayor densidad del aire y buena solubilidad en agua. Se encuentra en aguas estancas en las labores subterráneas.
- Cuyos efectos aparecen con concentraciones:
  - 50-300 ppm; conjuntivitis, irritación de las vías respiratorias.
  - 500-1.000 ppm; intoxicación, inconsciencia.
  - 1.000-2.000 ppm; provoca la muerte en unos minutos.



# CONTAMINACIÓN DE LA ATMÓSFERA DE LA MINA Y ESPACIOS SUBTERRÁNEOS



## Gases INFLAMABLES.



- No son en sí perjudiciales para la salud.
- Entre determinadas concentraciones son inflamables.
- Metano  $\text{CH}_4$ , el Hidrógeno  $\text{H}_2$  y mezclas  $\text{CH}_4 + \text{CO} + \text{H}_2$ .

# CONTAMINACIÓN DE LA ATMÓSFERA DE LA MINA Y ESPACIOS SUBTERRÁNEOS



## Gases INFLAMABLES.

- Metano CH<sub>4</sub>
- Componente principal del grisú.
- Zonas carboníferas.
- Menor densidad que el aire. Zonas altas de las labores.
- Su propiedad característica es su combustibilidad. Ante una fuente de ignición reacciona con el oxígeno del aire para dar agua y anhídrido carbónico.



Nocivo



Tóxico



Muy tóxico



Irritante



Corrosivo



Extremadamente inflamable



Explosivo



Fácilmente inflamable



Peligroso para el medio ambiente



Oxidante

# CONTAMINACIÓN DE LA ATMÓSFERA DE LA MINA Y ESPACIOS SUBTERRÁNEOS



## Gases INFLAMABLES.

- Metano  $\text{CH}_4$



Nocivo



Tóxico



Muy tóxico



Irritante



Corrosivo



Extremadamente inflamable



Explosivo



Fácilmente inflamable



Peligroso para el medio ambiente



Oxidante

- La naturaleza de esta reacción depende de la concentración de metano.
  - < 5 %; se produce la simple combustión del gas deteniéndose cuando desaparece la fuente de ignición.
  - 5-16 %; mezcla explosiva reaccionando de forma violenta. La explosión alcanza la máxima magnitud para concentraciones 8,5-9,5 %.
  - >16 %; se produce la simple combustión del gas continuando la reacción, aunque desaparezca la fuente de ignición.

# CONTAMINACIÓN DE LA ATMÓSFERA DE LA MINA Y ESPACIOS SUBTERRÁNEOS

## Gases INFLAMABLES.

- Hidrógeno H<sub>2</sub>
- Gas incoloro, inodoro e insípido
- No ejerce ningún efecto venenoso sobre el ser humano.
  - Es menos denso y se acumula en las zonas altas de las labores.
  - El riesgo se presenta en que es altamente explosivo en concentraciones comprendidas entre 4 y 75 % en volumen.



Nocivo



Tóxico



Muy tóxico



Irritante



Corrosivo



Extremadamente inflamable



Explosivo



Fácilmente inflamable



Peligroso para el medio ambiente

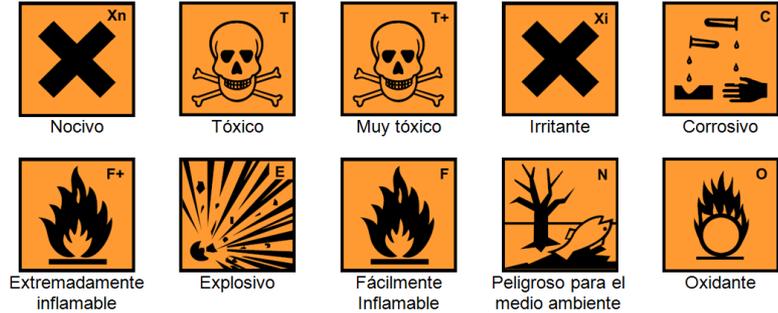


Oxidante

# CONTAMINACIÓN DE LA ATMÓSFERA DE LA MINA Y ESPACIOS SUBTERRÁNEOS



## Otros gases peligrosos.



- El empleo de motores diesel y sobre todo la utilización de producto orgánicos complejos puede dar aparición de vapores peligrosos.
  - Óxidos de Azufre,
  - Aldehídos y cetonas,
  - Hidrocarburos aromáticos
  - Dioxinas y Dibenzofuranos.
  - Ácido fórmico. Etc.



# CONTAMINACIÓN DE LA ATMÓSFERA DE LA MINA Y ESPACIOS SUBTERRÁNEOS

---

## Condiciones máximas admisibles y situaciones de peligro.

**Según la ITC del RGNBSM par una jornada de 8 horas la concentración máxima admisible es:**

- 50 ppm de monóxido de carbono (CO).
- 5.000 ppm de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).
- 10 ppm de óxidos de nitrógeno (NO + NO<sub>2</sub>).
- 10 ppm de sulfuro de hidrógeno (SH<sub>2</sub>).
- 5 ppm de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>).
- 1.000 ppm de hidrógeno (H<sub>2</sub>).
- 15.000 ppm de metano (CH<sub>4</sub>)

## Para periodos cortos y de acuerdo con la peligrosidad del gas se podrá:

- 100 ppm de monóxido de carbono (CO).
- 12.500 ppm de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).
- 25 ppm de óxidos de nitrógeno (NO + NO<sub>2</sub>).
- 50 ppm de sulfuro de hidrógeno (SH<sub>2</sub>).
- 10 ppm de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>).
- 10.000 ppm de hidrógeno (H<sub>2</sub>).
- 25.000 ppm de metano (CH<sub>4</sub>)

# CONTAMINACIÓN DE LA ATMÓSFERA DE LA MINA Y ESPACIOS SUBTERRÁNEOS





**Se denomina polvo al conjunto de partículas que se encuentran flotando en el aire consecuencia de dos factores relacionados entre sí:**

- El pequeño tamaño de las partículas y
- La velocidad que el aire alcanza en un punto dado.



## **En las labores de excavación en fondo de saco las causas más comunes que se origine son:**

- El transporte de material por vía o cinta.
- La carga de los materiales en el frente.
- La acción sobre la roca de la maquinaria de avance en túneles.
- La acción de la maquinaria de perforación.
- Las voladuras.
- El gunitado.
- La corriente excesiva de aire.



**El aire en las labores de excavación en fondo de saco se puede clasificar en función del contenido en polvo:**

- 1 mg/m<sup>3</sup>. Poco contaminado.
- 5 mg/m<sup>3</sup>. Moderadamente contaminado.
- 10 mg/m<sup>3</sup>. Contaminado.
- 20 mg/m<sup>3</sup>. Muy contaminado.

**Valores de referencia:**

- 7 mg/m<sup>3</sup>. En el avance con minador en roca blanda
- 5 mg/m<sup>3</sup>. Perforación con barrenos en roca blanda.



## **El polvo mineral siempre es perjudicial**

- Mercurio, plomo, asbesto, cobre, etc...
- Materiales silíceos, calcáreos o arcillosos.

## **La acción del polvo:**

- La irritación de las vías respiratorias y los ojos.
- Daño grave sobre los pulmones.
  - El tamaño de partícula.
  - La composición mineralógica.



## Se podría definir el potencial dañino de las partículas en función de su tamaño:

- $> 10 \mu\text{m}$ . Son las menos perjudiciales. Son retenidas en garganta y nariz.
- $< 10 \mu\text{m}$ . Son perjudiciales y ya penetran en los pulmones.
- $< 5 \mu\text{m}$ . Muy perjudiciales. Pueden ser retenidas en los alvéolos.
- $1-2 \mu\text{m}$ . Muy perjudiciales. Máxima deposición en los alvéolos.



## Valores máximos admisibles de concentración de polvo.

- Según la ITC del RGNBSM.

LABORES	GRUPO		
	A <10% SiO <sub>2</sub>	B 10-30% SiO <sub>2</sub>	C >30% SiO <sub>2</sub>
Clase I	<6 mg/m <sup>3</sup>	<3 mg/m <sup>3</sup>	<2 mg/m <sup>3</sup>
Clase II	6-10 mg/m <sup>3</sup>	3-6 mg/m <sup>3</sup>	2-3 mg/m <sup>3</sup>
Clase III	>10 mg/m <sup>3</sup>	>6 mg/m <sup>3</sup>	>3 mg/m <sup>3</sup>

- Clase I
- Clase II. 180 jornadas anuales.
- Clase III. 150 jornadas anuales.



## **El clima de las labores mineras y obras subterráneas depende:**

- Temperatura y de la humedad del aire que llega a las labores.

## **Según la ITC del RGNBSM:**

- Las condiciones de temperatura y humedad que ha de haber en una labor subterránea, estableciendo un valor máximo para la temperatura equivalente de **30° C**.

## **Teq. Es una temperatura que tiene en cuenta tres factores que intervienen en el bienestar del trabajador:**

- Temperatura,
- Grado de humedad y
- Velocidad del aire.

# VENTILACIÓN EN TÚNELES

## ESQUEMAS DE VENTILACIÓN DE TÚNELES EN CONSTRUCCIÓN

La ventilación de túneles en fase de construcción puede realizarse de distintas maneras según:

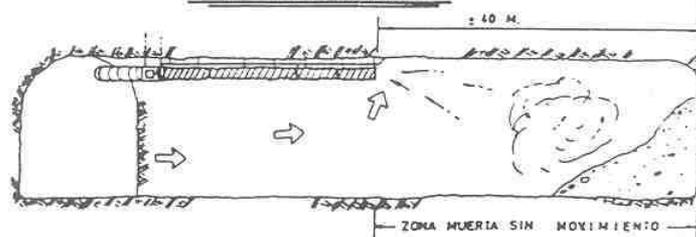
- se dispongan los conductos de ventilación y
- según sea el sentido de circulación del aire.



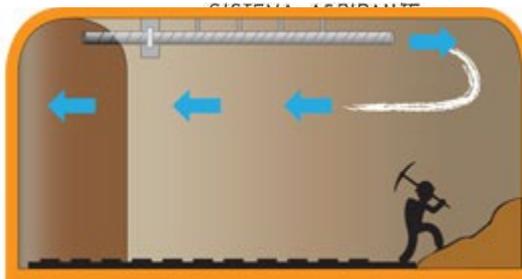
# VENTILACIÓN EN TÚNELES



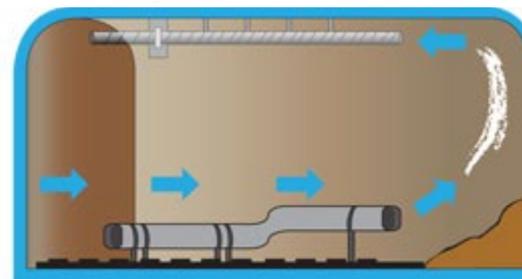
ESQUEMA DE TIPOS BASICOS DE VENTILACION AUXILIAR DE DESARROLLO



SISTEMA ASPIRANTE

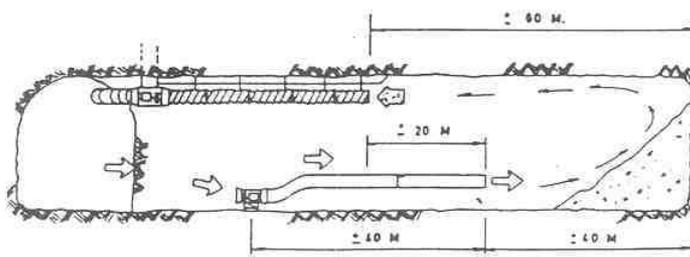


SISTEMA IMPELENTE



SISTEMA COMBINADO

SISTEMA IMPELENTE

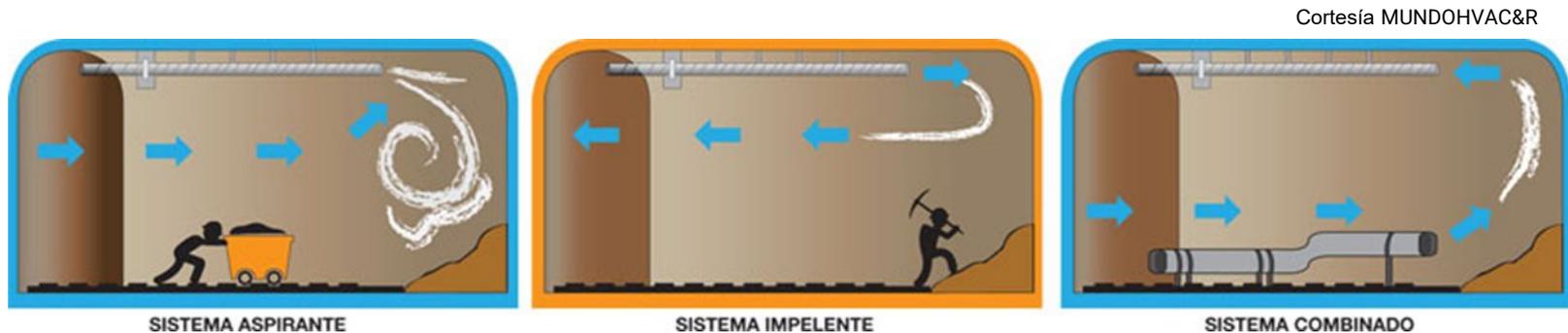


SISTEMA COMBINADO

LAMINA

# VENTILACIÓN EN TÚNELES

## Ventilador Soplante

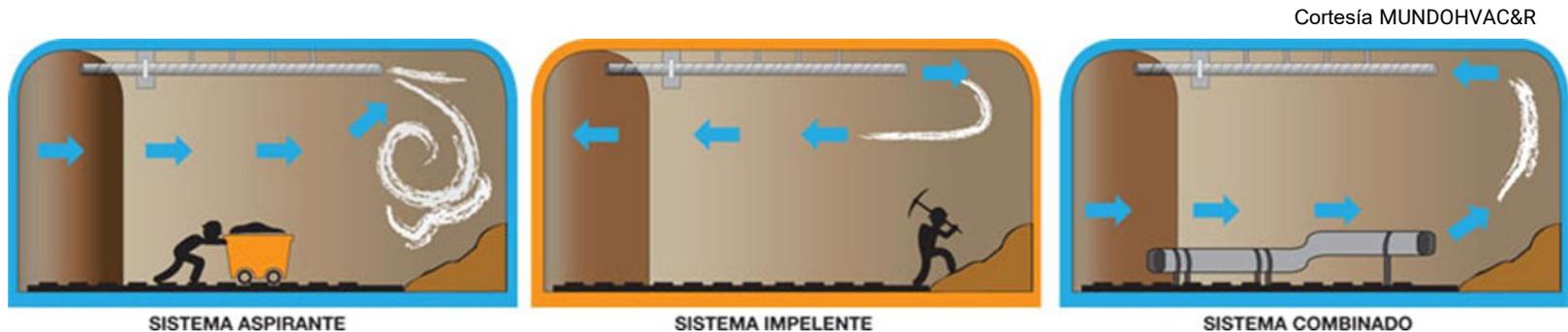


En este esquema se instala una conducción a través de la cual circula el aire desde el exterior hasta las cercanías del frente de avance.

El tapón de humos, gases y polvo que ocupa el fondo del túnel es removido por el aire fresco soplado por la tubería, siendo así diluido y empujado a lo largo del túnel hasta su emboquille por donde es expulsado al exterior.

# VENTILACIÓN EN TÚNELES

## Ventilador Soplante

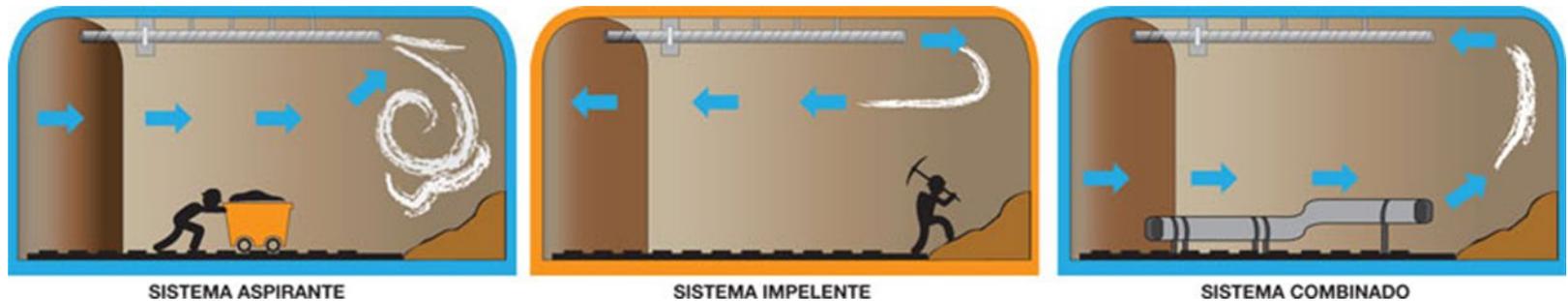


## Interesa estudiar dos casos:

- Evolución de la concentración de productos tóxicos en el frente.
- Desplazamiento del tapón de humos por el túnel.

# VENTILACIÓN EN TÚNELES

## Purga del Frente

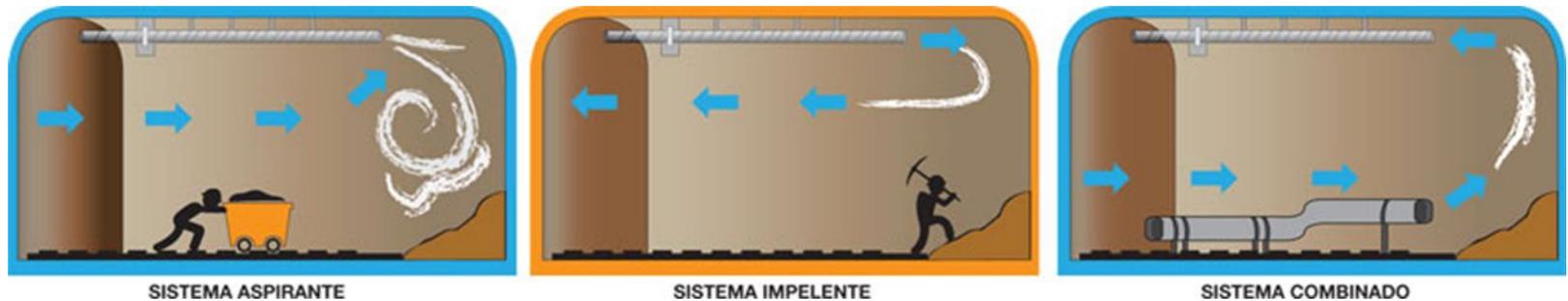


Los principales parámetros que caracterizan a la instalación son los siguientes:

- El caudal de aire soplado en el frente.
- La distancia del extremo de la tubería de ventilación al frente.
- El diámetro de la tubería y la sección del túnel.

# VENTILACIÓN EN TÚNELES

## Purga del Frente



El chorro de aire que sale de la tubería de ventilación se va ensanchando y disminuyendo de velocidad, a la vez que arrastra consigo una cierta cantidad del aire del túnel con el cual se mezcla.

Resulta de ello un barrido activo del aire hasta una cierta distancia de la tubería, más allá de la cual, por el contrario, el movimiento del aire se hace casi nulo.

# VENTILACIÓN EN TÚNELES

## Purga del Frente

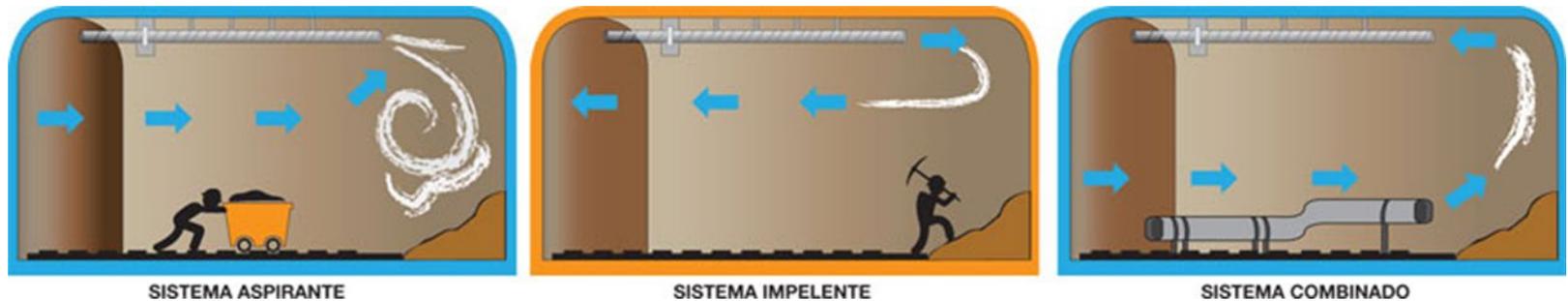


**Si la distancia entre el extremo de la tubería y el frente es suficientemente pequeña,**

- todo el fondo de la galería queda barrido por el chorro de aire y
- la eliminación de los humos es rápida puesto que la mezcla de ellos con el aire es continua.

# VENTILACIÓN EN TÚNELES

## Purga del Frente



El tiempo de purga  $t_\varepsilon$  al cabo del cual la concentración de óxido de carbono vale  $c = \varepsilon * c_0$  viene dado por la expresión:

$$t_\varepsilon = Ln \frac{1}{\varepsilon} \frac{S \cdot d}{Q}$$

Siendo:

- $t_\varepsilon$       Tiempo que tarda en disminuir la concentración de óxido de carbono desde la inicial hasta el valor  $c$  (s).  
 $\varepsilon$       Relación entre las concentraciones final e inicial de óxido de carbono.  
 $S$       Sección del túnel (m<sup>2</sup>).  
 $d$       Distancia del extremo de la tubería de ventilación al frente de avance (m).  
 $Q$       Caudal soplado (m<sup>3</sup>/s).

# VENTILACIÓN EN TÚNELES

## Purga del Frente

Si la distancia  $d$  es bastante grande, subsiste en el fondo del túnel una zona donde el aire está casi inmóvil y la eliminación no se hace más que por difusión.

Esto es mucho menos rápido y el tiempo de purga es muy superior a los valores que resultan de la aplicación de la fórmula anterior.



# VENTILACIÓN EN TÚNELES

---

## Desplazamiento del tapón de humos por el túnel

**Un problema que presenta el esquema de ventilación soplante es que el tapón de humos que se forma en el frente tiene que desplazarse a lo largo del túnel hasta salir al exterior, con lo que el personal que vuelve al trabajo tiene que atravesarlo.**

# VENTILACIÓN EN TÚNELES

## Desplazamiento del tapón de humos por el túnel

El peligro debido al  $CO$  puede medirse por el producto  $T=c*t$ .

siendo:

$c$  = Concentración de  $CO$  en milésimas.

$t$  = Tiempo de permanencia en segundos.

No se observa peligro grave cuando  $T < 2.000$ .

# VENTILACIÓN EN TÚNELES

Desplazamiento del tapón de humos por el túnel

Como el tiempo que tarda el tapón de longitud  $L_0$  en atravesar una sección del túnel es:

$$t = \frac{L_0 * S}{Q}$$

Se tiene que:

$$T = c_0 \frac{L_0 S}{Q} \qquad Q = \frac{c_0 L_0 S}{T}$$

# VENTILACIÓN EN TÚNELES

$$T = c_0 \frac{L_0 S}{Q} \qquad Q = \frac{c_0 L_0 S}{T}$$

siendo:

**T** Parámetro de peligrosidad por exposición a CO

**t** Tiempo que tarda el tapón de humos en atravesar una sección del túnel (s).

**L<sub>0</sub>** Longitud del tapón de humos, habitualmente unos 50 m.

**S** Sección recta del túnel (m<sup>2</sup>).

**Q** Caudal de aire soplado (m<sup>3</sup>/s).

**c<sub>0</sub>** Concentración inicial de CO.



# VENTILACIÓN EN TÚNELES

---

**La ventilación soplante posee, con respecto a las otras modalidades de ventilación que a continuación serán descritas, las siguientes ventajas e inconvenientes:**



# VENTILACIÓN EN TÚNELES

---

- **Es de fácil instalación.**
- **Permite el empleo de tuberías de lona, sin armadura, de fácil manejo.**
- **Es más económica.**
- **El aire se conduce muy rápidamente y llega al frente en buenas condiciones, mejorándose así la situación ambiental en la zona de trabajo.**



# VENTILACIÓN EN TÚNELES

---

- **El chorro de aire que sale del conducto de ventilación es capaz de remover los gases y humos que quedan en el frente sin necesidad de acercarlo a éste excesivamente.**
- **Menor potencia instalada.**
- **Menor pérdida de carga**



# VENTILACIÓN EN TÚNELES

---

- **Los gases de voladura han de circular por el túnel, ocasionando problemas al personal.**
- **Se crea una atmósfera de reducida visibilidad y causante de problemas respiratorios en el caso de:**
  - El polvo que se crea durante la perforación de barrenos,
  - o en el uso de máquinas perforadoras y tuneladoras,
  - o en la proyección de hormigón (sobre todo si ésta se realiza en seco).



# VENTILACIÓN EN TÚNELES

---

## Ventilación Aspirante

**En este esquema de ventilación se aspira el aire que ocupa el frente de avance del túnel mediante una tubería de ventilación.**

**De esta forma, el aire entra por la boca del túnel, y, atravesando toda su sección, llega hasta el frente de avance, mezclándose así con los distintos contaminantes que puedan existir en la atmósfera.**



# VENTILACIÓN EN TÚNELES

---

## Ventilación Aspirante

**Un ventilador acoplado a la tubería hace que el aire del frente entre en ésta y sea expulsado, por su otro extremo, al exterior del túnel.**

**La principal ventaja de este sistema estriba en que al ser los humos aspirados por la tubería, se evita el desplazamiento de éstos a lo largo del túnel.**



# VENTILACIÓN EN TÚNELES

---

## Ventilación Aspirante

**La corriente de aire que, procedente del exterior, circula por el túnel en dirección al frente, converge muy rápidamente para introducirse en la tubería.**

**A una pequeña distancia de la tubería en dirección al frente, del orden de 2 metros, desaparece todo movimiento sensible del aire, siendo por esto difícil la limpieza total de la atmósfera.**



# VENTILACIÓN EN TÚNELES

---

## Ventilación Aspirante

**Los humos situados antes del extremo de la tubería son arrastrados por la corriente de aire que penetra en ella.**

**Su eliminación es muy rápida y el tiempo que tarda en realizarse viene dado aproximadamente por la siguiente fórmula:**

## Ventilación Aspirante

$$t_2 = \delta' S \frac{L_0 - d}{Q}$$

siendo:

$t_2$  = Tiempo que se tarda en eliminar los humos situados antes del extremo de la tubería (s).

$\delta'$  = Coeficiente de dilución, generalmente inferior a tres.

$S$  = Sección del túnel ( $m^2$ )

$L_0$  = Longitud del tapón de humos (m).

$d$  = Distancia del extremo de la tubería al frente (m).

$Q$  = Caudal de aire ( $m^3/s$ ).

# VENTILACIÓN EN TÚNELES

## Ventilación Aspirante

Los humos situados entre el frente y el extremo de la tubería no se eliminan más que por difusión, y por tanto, con gran lentitud.

La limpieza total del frente es casi imposible, salvo si la distancia  $d$  al frente es muy pequeña, del orden de algunos metros, o si se admite un tiempo de purga excesivamente grande.



# VENTILACIÓN EN TÚNELES

---

## Ventilación Aspirante

**La ventilación aspirante es prácticamente incapaz de limpiar el frente y debe usarse en combinación con la soplante.**

**Se usa sin combinar únicamente cuando el avance del túnel se realiza con minadores y máquinas de corte para evacuar el polvo.**

# VENTILACIÓN EN TÚNELES

## Ventilación Aspirante

### Ventajas:

Los gases y el polvo del frente retornan por la tubería (salvo la parte que pueda recircular) evitando que el personal tenga que respirarlos.

Rápida eliminación de gases y humos tras el disparo de las voladuras.



# VENTILACIÓN EN TÚNELES

---

## Ventilación Aspirante

### Inconvenientes:

Requiere, para la conducción del aire aspirado, tuberías rígidas, o si éstas son de lona, que estén armadas con espiral de acero.

El aire entra lentamente, a lo largo del túnel, con lo que llega caliente al frente.

En general, la ventilación aspirante dejará zonas del frente mal ventiladas.

# VENTILACIÓN EN TÚNELES

## Ventilación Aspirante

### Inconvenientes:

**Las tuberías flexibles ofrecen más resistencia, al tener que ser reforzadas, con lo que se da una mayor pérdida de carga.**

**Exige una mayor potencia instalada.**

# VENTILACIÓN EN TÚNELES

## Ventilación Aspirante y Soplante Simultáneas.

En este sistema de ventilación son necesarias dos tuberías provista cada una de su ventilador.

La tubería soplante puede ser corta, y su ventilador poco potente.





# VENTILACIÓN EN TÚNELES

---

## **Ventilación Aspirante y Soplante Simultáneas.**

**Basta en efecto, que la tubería aspirante aspire el aire unos metros más atrás de la boca de la soplante.**

**El papel de la tubería soplante es sólo homogeneizar el frente de avance.**



# VENTILACIÓN EN TÚNELES

---

## Ventilación Aspirante y Soplante Simultáneas.

**Al ser la tubería muy corta (10 m, 20 m, a lo sumo 30 m) es posible que su diámetro sea muy pequeño y se podrá llevar con facilidad muy cerca del frente.**

**Se consigue un tiempo de purga muy pequeño, incluso aunque el aire soplado sea muy poco.**



# VENTILACIÓN EN TÚNELES

---

## **Ventilación Aspirante y Soplante Simultáneas.**

**Por el contrario, la tubería de aspiración no necesita llegar cerca del frente (de 30 m a 40 m).**

**Se puede usar una de gran diámetro, porque no molesta al trabajo del frente, y colocarla con gran cuidado, pues no puede ser alcanzada por las pegas.**



# VENTILACIÓN EN TÚNELES

---

## Ventilación Aspirante y Soplante Simultáneas.

**Cuando para realizar el avance del túnel se utilizan tuneladoras o rozadoras, puede utilizarse una variante de este sistema.**

**Existe una ventilación soplante que aporta aire fresco al frente, y una aspirante que capta el polvo producido en el arranque.**

**Lo lleva a un filtro de mangas o paneles, donde es recogido, retornando el aire limpio al túnel o al exterior.**



# VENTILACIÓN EN TÚNELES

---

## Ventilación Aspirante y Soplante Simultáneas.

### Ventajas.

**Los gases y humos retornan por la tubería, evitando que el personal tenga que respirarlos.**

**Se consigue una limpieza rápida y eficaz del frente.**



# VENTILACIÓN EN TÚNELES

---

## Ventilación Aspirante y Soplante Simultáneas.

### Inconvenientes.

Es de instalación más compleja y cara.

La tubería aspirante ha de ser rígida o armada con espiral de acero.

El aire llega al frente lentamente, después de atravesar todo el túnel, pudiéndose calentar por el trayecto.



# Ventiladores y Pérdidas de Carga

---

## Ventiladores.

### Introducción:

- La circulación de aire a lo largo de un túnel es causada por diferencias de presión entre los distintos puntos.
- Si consideramos:
  - Diferencias de densidad
  - Aire del fluido no viscoso.

# Ventiladores y Pérdidas de Carga

## TEOREMA DE BERNOUILLI.

La pérdida de carga depende de:

- Características de los conductos.
- De la longitud del camino que deba recorrer el aire. Proporcional a las pérdidas de carga.
- Del caudal de aire. Pérdida de carga es proporcional al cuadrado del caudal



# Ventiladores y Pérdidas de Carga

---

## Introducción:

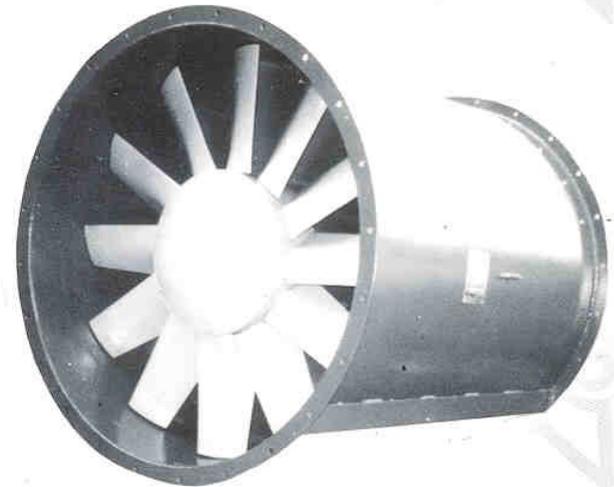
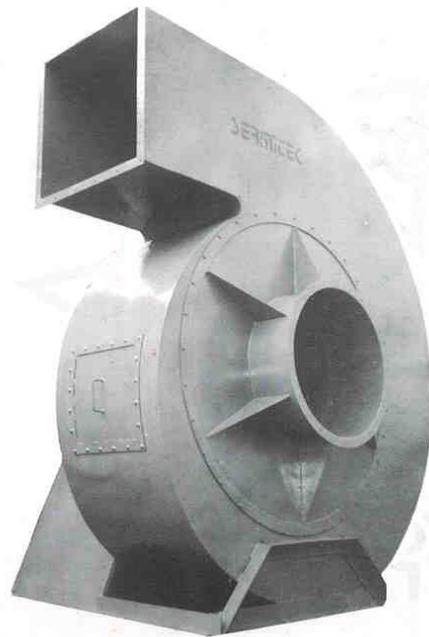
- Son máquinas capaces de hacer circular en el túnel el aire necesario.
- Necesitamos un caudal de aire  $Q$ , y además vencer unas pérdidas de carga  $\Delta H$ .

## Instalación de los ventiladores y tuberías.

# Ventiladores y Pérdidas de Carga

## TIPOS DE VENTILADORES:

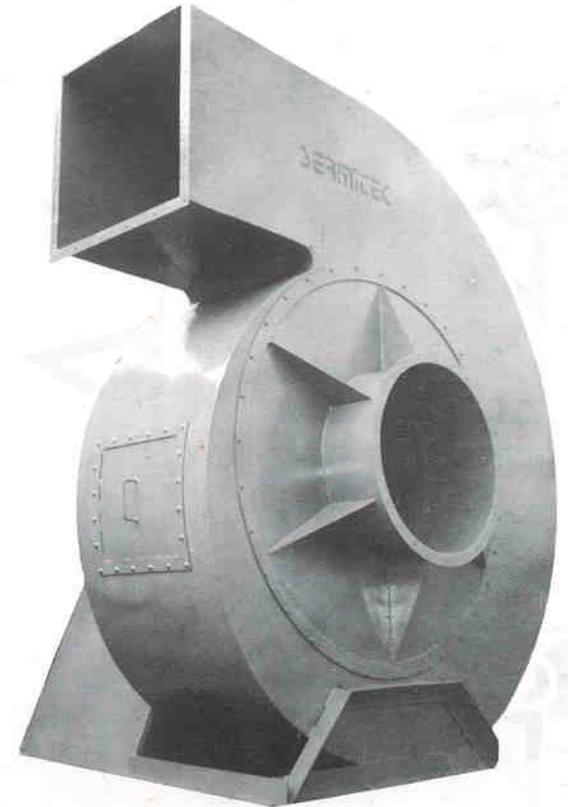
- Ventiladores centrífugos.
- Ventiladores axiales o helicoidales.



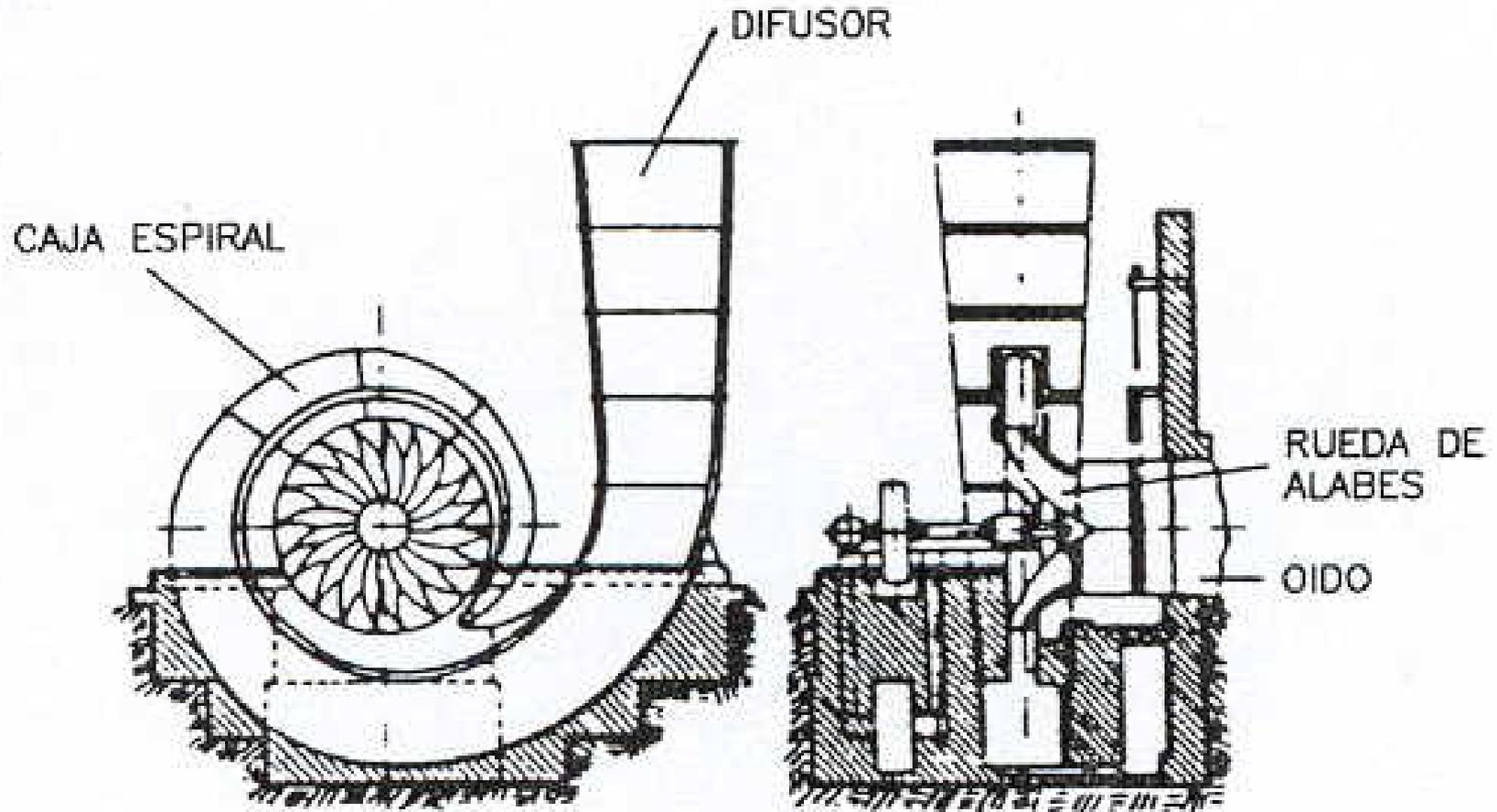
# Ventiladores y Curva Característica

## Ventiladores centrífugos:

En ellos el aire entra por un oído central y es aspirado por centrifugación en una rueda de álabes, de donde es impulsado a un cuerpo con forma de caracol, llamado voluta, cuya sección va creciendo hasta alcanzar la salida (difusor)



# Ventiladores y Curva Característica

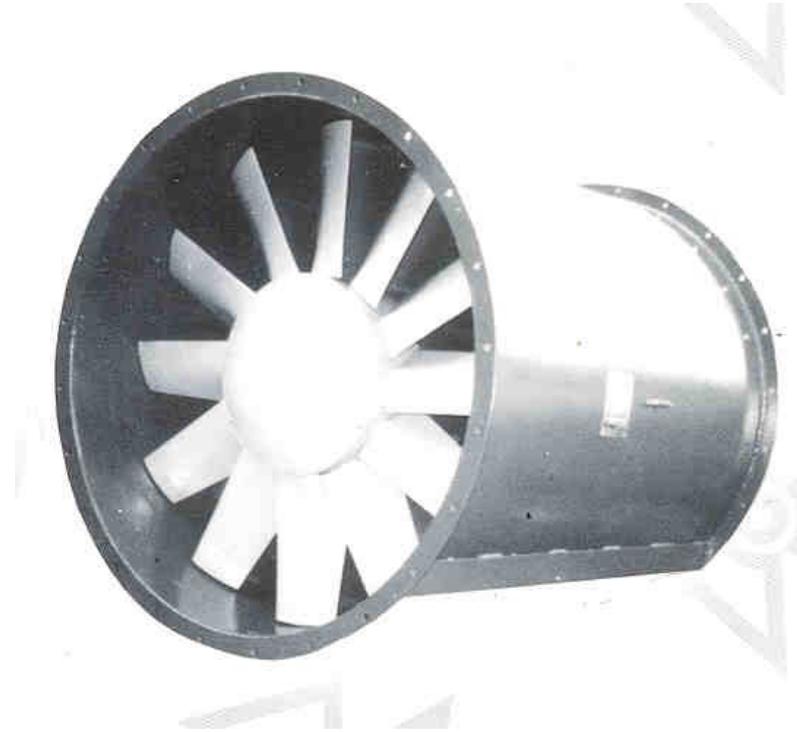


# Ventiladores y Curva Característica

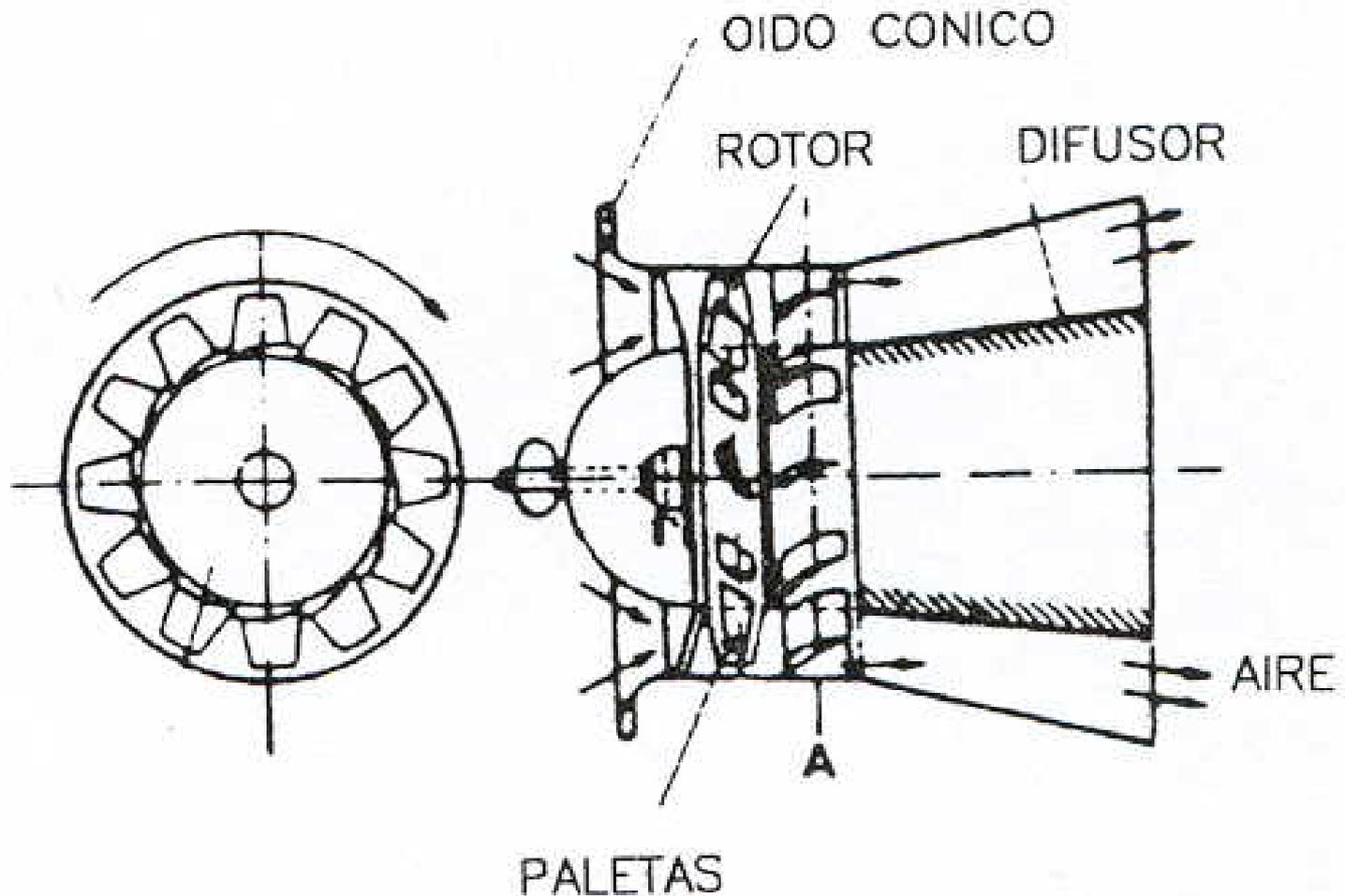
## Ventiladores axiales:

Comprenden, en un conducto cilíndrico, una hélice construida por un cierto n° de paletas.

El aire entra y sale paralelamente a la máquina, y su funcionamiento es asimilable al de una tuerca y un tornillo



# Ventiladores y Curva Característica



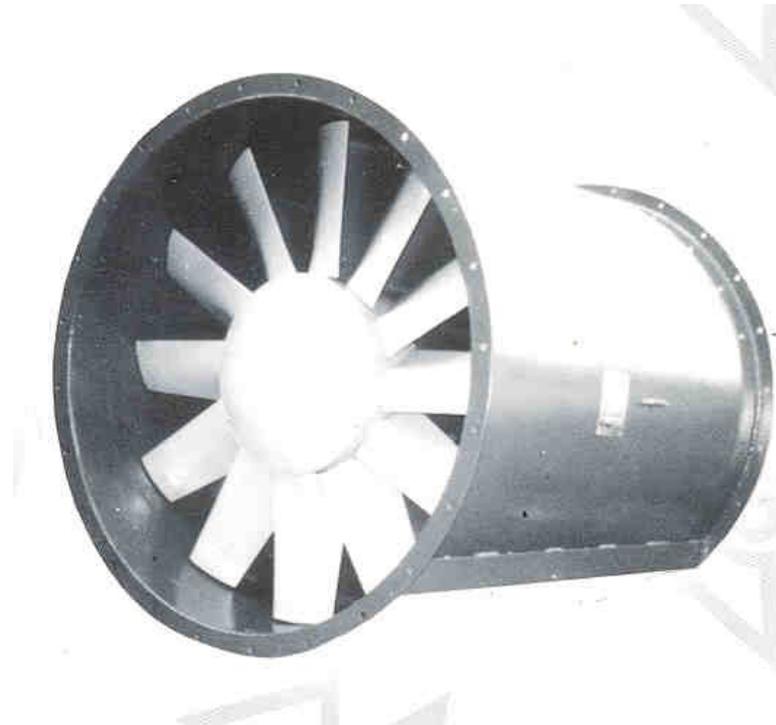
# Ventiladores y Curva Característica

## Ventiladores axiales:

Tienen la posibilidad de regularse.

- Ángulo de las paletas.
- Variador de frecuencia.

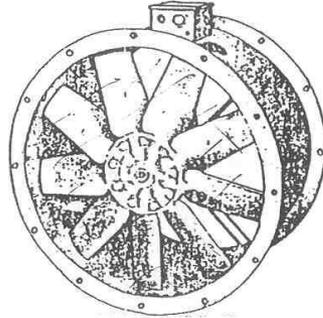
En el caso de túneles largos, se pueden utilizar los ventiladores escalonados.





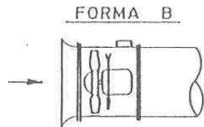
## VENTILADORES CONTRAROTATORIOS

MODELO WOODS TIPO AEROFOIL TIPO "L"

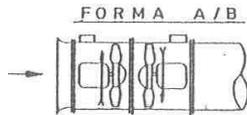


FORMAS DE OPERACION

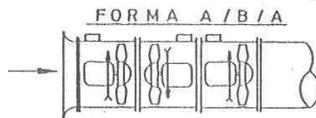
VENTILADOR WOODS DE 24" x 30" TIPO "K"



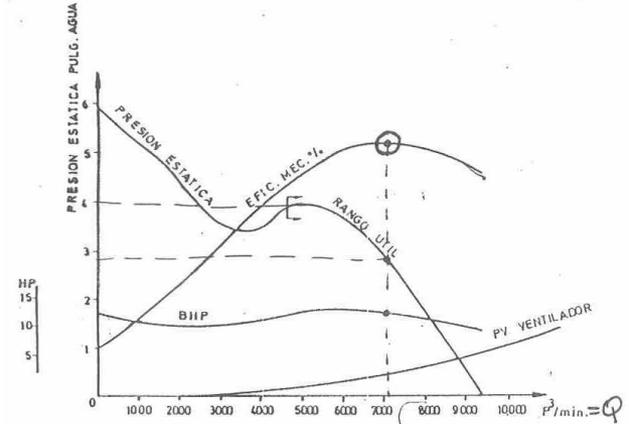
FORMA B  
ETAPA SIMPLE  
(NO RECOMENDABLE)



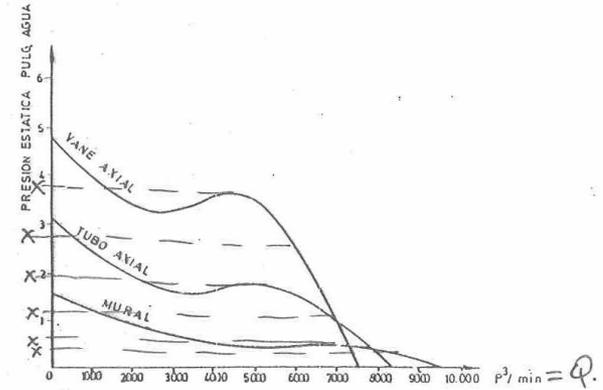
FORMA A/B  
2 ETAPAS  
(RECOMENDABLE)



FORMA A/B/A  
3 ETAPAS  
(RECOMENDABLE EN ALGUNOS  
SISTEMAS DE GRAN LONGITUD)



CURVA TIPICA DE VENTILADOR AXIAL

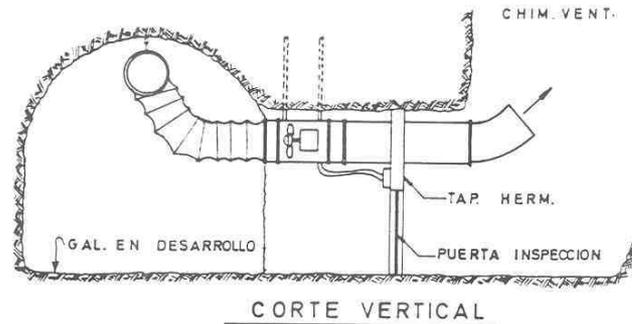


CURVAS DE VENTILADORES AXIALES TÍPICOS

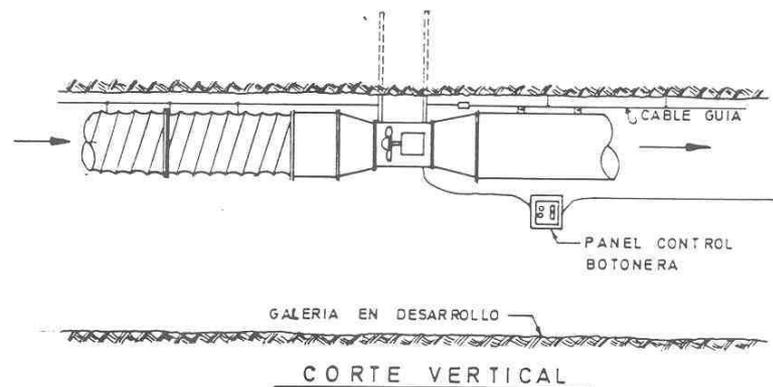


## INSTALACION TIPICA VENTILADORES AUXILIARES

CASO: VENTILADOR EN FRONTON A CHIMENEA VENTILACION



CASO TIPICO: VENTILADOR AUXILIAR EN GALERIA EN DESARROLLO





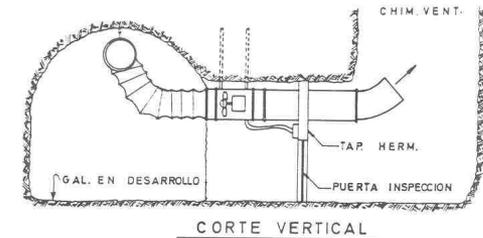
# TUBERÍAS DE VENTILACIÓN

## Introducción:

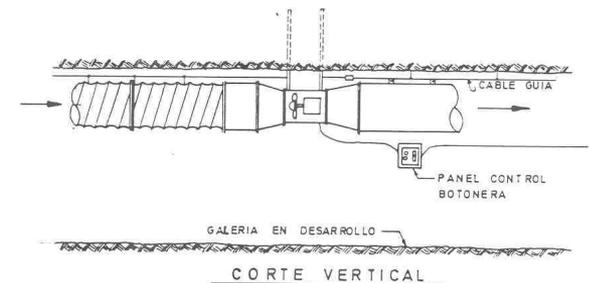
- En los distintos procedimientos para la ventilación de túneles es necesario la utilización de tuberías.
- Los ventiladores que vamos a utilizar deben vencer la resistencia aerodinámica de la propia tubería y del túnel al paso del aire.

### INSTALACION TIPICA VENTILADORES AUXILIARES

#### CASO: VENTILADOR EN FRONTON A CHIMNEA VENTILACION



#### CASO TIPICO: VENTILADOR AUXILIAR EN GALERIA EN DESARROLLO





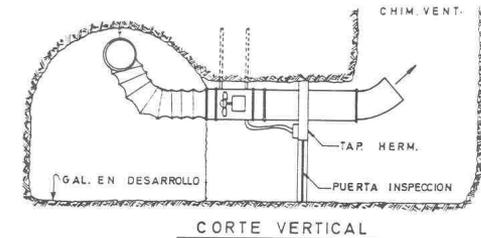
# TUBERÍAS DE VENTILACIÓN

## Introducción:

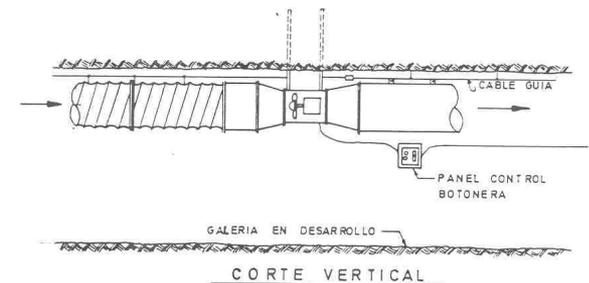
- Es importante calcular las diferencias de presión:
- Obtenidas entre el interior de la tubería y la atmósfera del túnel.
- Son provocadas por los ventiladores, al no ser las estancas las paredes ni las juntas.

### INSTALACION TIPICA VENTILADORES AUXILIARES

#### CASO: VENTILADOR EN FRONTON A CHIMENEA VENTILACION



#### CASO TIPICO: VENTILADOR AUXILIAR EN GALERIA EN DESARROLLO





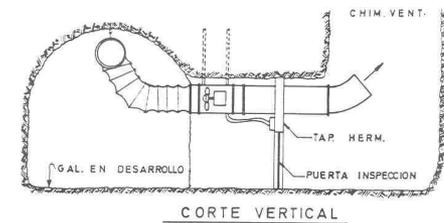
# TUBERÍAS DE VENTILACIÓN

## Pérdidas de caudal en una tubería no estanca:

- Normalmente nunca es completamente estanca.
- Las fugas se localizan en juntas o también en paredes (no rígida, golpes, corrosión...)

### INSTALACION TIPICA VENTILADORES AUXILIARES

#### CASO: VENTILADOR EN FRONTAL A CHIMenea VENTILACION



#### CASO TIPICO: VENTILADOR AUXILIAR EN GALERIA EN DESARROLLO

