

Reunión de Comités Técnicos de la A.I.P.C.R.

Ensayos realizados en el Túnel del Cadí (España) para el control y evacuación de los humos en caso de incendio



Foto 1: Boca Sur del túnel

El Túnel del Cadí

EL túnel del Cadí está situado en los Pirineos españoles, sus principales características son las siguientes:

- Longitud total: 5.026 m.
- Bidireccional.
- Cota Boca Sur: 1.175 m.
- Cota Boca Norte: 1.236 m.
- Pendiente ascendente S-N: 1,2% en 1.000 m, 1,5% en 3.400 m.

- Pendiente descendente S-N: 0,5% en 600 m.
- Sección media útil: 72 m².

Ventilación

Ventilación longitudinal (Foto 2) con 44 ventiladores de chorro tipo 180 FU (Voith) complementado con un ventilador axial reversible tipo 224 Kp (Voith), situado en una galería de 1.692,010 y secciones 12,5 m² (hasta P.K. 1+189,520) y 10 m² (hasta P.K. 1+189,520).

Datos característicos del sistema

Límite admisible de concentración de CO: 150 ppm 3-1.

Límite de opacidad: coeficiente de extinción 7,5 x 10 m.

Caudal de aire máximo: 600 m³/s.

Velocidad máxima del aire: 8,5 m/s.

Empuje necesario: 93.800 N.

Datos técnicos de los ventiladores

Ventiladores de chorro (jets)

Comités de Túneles

Por Bernardo Monclús Jurado
Director de Explotación del Túnel Cadí
Miembro del Comité Español de Túneles

Diámetro del rodete: 1.800 mm.
Volumen 80,5 m³/s.
Velocidad de soplado: 31,6 m/s.
Potencia del ventilador: 75 KW.

Empuje permanente: 2.700 N.

Ventilador axial

Diámetro del rodete: 2.240 mm.
Servicio impulsión: volumen 150 m³/s, presión total 3.064 Pa, potencia del ventilador 530 KW.

Servicio aspiración: volumen 120 m³/s, presión total 1.695 Pa, potencia ventilador 430 KW

Instalaciones de seguridad, vigilancia y control

Estas instalaciones y equipos complementarios deben cumplir el doble objetivo de lograr una explotación del túnel que sea segura para el usuario y para las propias instalaciones y permitir en el caso de cualquier tipo de accidente, incluso los más graves, una información exacta de lo que realmente está sucediendo y una respuesta adecuada en el mínimo tiempo.

Los sistemas en que se dividen estas instalaciones son de ocho tipos:

– control central

“Las instalaciones están controladas automáticamente, de forma local o remota, estando supervisadas por el centro de control, situado en el Área de Mantenimiento y Control.”

- comunicaciones y televisión en circuito cerrado
- control de tráfico y señalización
- control de ventilación y condiciones ambientales
- control iluminación
- protección contra incendios
- suministro y distribución de energía
- detección de hielo y estaciones meteorológicas

Las instalaciones están controladas automáticamente, de forma local o remota, estando supervisadas por el centro de control, situado en el Área de Mantenimiento y Control (Foto 4).



Foto 2: Interior del túnel del Cadí. Se observan los "jets" de la ventilación longitudinal

El mando sobre las instalaciones puede ser realizado de forma local (en las subestaciones y centros de distribución), y de forma remota (en el centro de control); pudiéndose efectuar, en este último caso, de forma manual (por operador) o de forma programada (a través del ordenador de gestión).

Actuación en caso de incendio

Nota preliminar: En caso de que en la Sala de Control se encuentren el Jefe de Servicio y el Ayudante de Servicio, el Jefe efectuará las operaciones 1, 3, 4 y 7 y el Ayudante realizará las operaciones 2, 5, 6 y 8.

- 1) A) Accionar secuencia n.º 4 del teclado funcional, que realiza las siguientes funciones:
 - Corte tráfico de acceso al túnel: pone semáforos en rojo en bocas.
 - Semáforos en el interior del túnel en dirección al incendio: pone en rojo.
 - Semáforos restantes: pone en intermitente.
- B) Aviso a peaje para que corte el acceso dirección Sur.

“El mando sobre las instalaciones puede ser realizado de forma local, y de forma remota pudiéndose efectuar, en este último caso, de forma manual o de forma programada. **”**

- 2) Aviso a bomberos.
 - A) CCPC de Bellaterra.
 - B) Brigada de Guardiola.
 - C) Brigada de Bellver.
- 3) Aviso al personal de servicio.
- 4) Accionar secuencia n.º 20 del teclado funcional que realiza las siguientes funciones:
 - Conecta alumbrado máximo en el túnel.
 - Conecta alumbrado de emergencia en el túnel.
- 5) Aviso a Guardia Civil Agrupación Tráfico.
 - A) Puigcerdá.
 - B) Manresa.

- 6) Aviso Cruz Roja.
 - A) Guardiola.
 - B) Bolvir.
- 7) Actuación en ventilación (según Proyecto aprobado).
 - A) Accionar secuencias n.º 16. Paro de ventiladores.
 - B) Secuencias n.º 9 a 15 N o S. Arranque ventiladores en sentido contrario al tiro natural hasta frenar la corriente de aire.
 - C) Una vez evacuados los posibles usuarios se seguirá la operación, según la situación del incendio.
 - C-1 Secuencia 9 a 15 S. Incendio entre DB. 0 y DB. 800. Funcionamiento de los ventiladores en sentido sur. Incremento gradual.
 - C-2 Secuencia 21. Incendio entre DB. 800 y DB. 3.500. Realiza aspiración por ventilación de galería.
 - C-3 Secuencias 9 a 15 N. Incendio entre DB. 3.500 y DB. 5.000. Funcionamiento de los ventiladores en sentido norte. Incremento gradual.
- 8) Avisos a:
 - A) Jefe de Explotación.
 - B) Jefe de Operaciones.

ACTUACION EN CASO DE INCENDIO

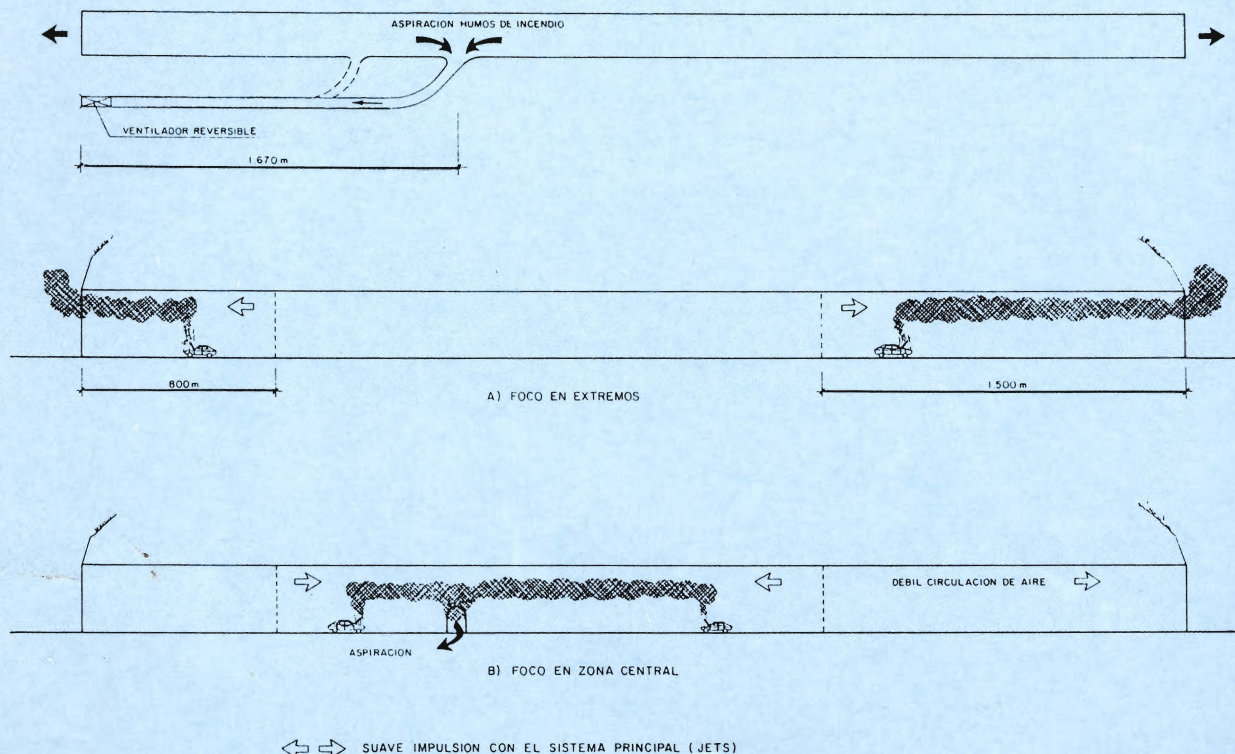




Foto 3: Fase inicial del ensayo. El humo comienza a ocupar el túnel

C) Director Explotación.

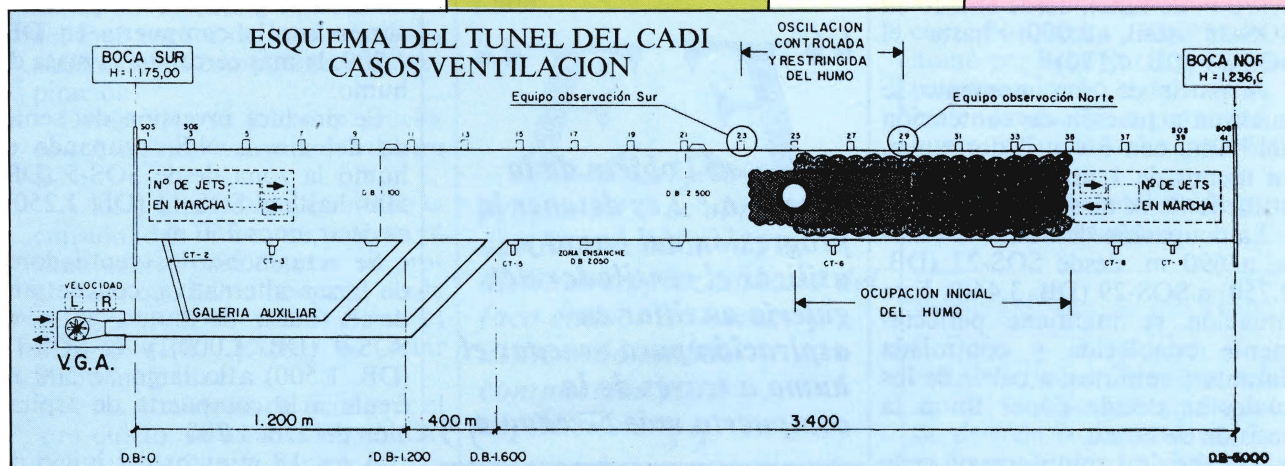
Ensayos de control y evacuación de humos

El 26 de junio de 1985 se realizaron tres pruebas para comprobar el control de la ventilación longitudinal sobre la propagación de humos y el comportamiento de la galería de ventilación para aspiración y evacuación de humos.

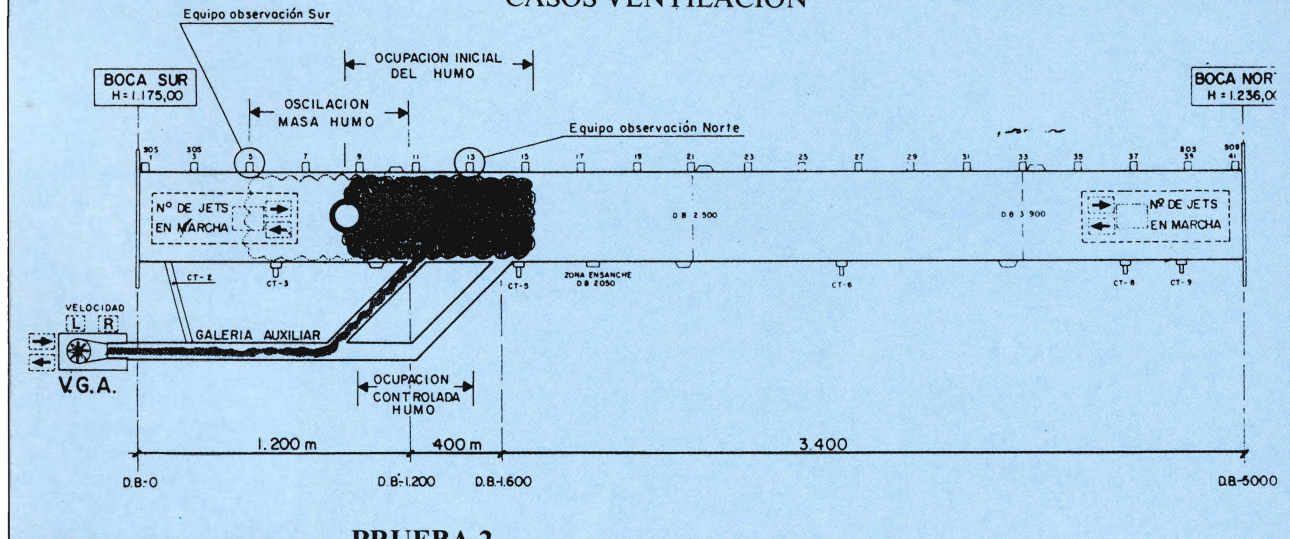
Para estos ensayos se utilizaron tres generadores de humo, de caudal de 58,3 m³/minuto.

El humo frío era producido por una mezcla de alcoholes polifuncionales de bajo peso molecular y solubles en agua.

PRUEBA 1		
Movimiento aire existente	2,3 m/s	Foco emisor humo en D.B. 3.000
Compuerta D.B. 1.200	Cerrada	Objeto: Anular movimiento humo, concentrarlo y evitar progresión
Compuerta D.B. 1.600	Cerrada	
Temperatura BS	14,7.°C	
Temperatura BN	14,29.°C	
Presión BS	1.008,61 mbar.	
Presión BN	1.002,00 mbar.	
Viento BS	500 1,7 m/s	
Viento BN	500 1,9 m/s	
Temperatura túnel	13.°C	



ESQUEMA DEL TUNEL DEL CADÍ
CASOS VENTILACION



PRUEBA 2

Movimiento aire existente	2,2 m/s	Foco emisor en D.B. 1.000
Compuerta D.B. 1.200	Abierta	Objeto: Aspirar y extraer humos por galería auxiliar
Compuerta D.B. 1.600	Cerrada	
Temperatura BS	13,43.°C	
Temperatura BN	12,76.°C	
Presión BS	1.006 mbar.	
Presión BN	999 mbar.	
Viento BS	0,92 m/s SW	
Viento BN	0,19 m/s SW	
Temperatura túnel	13.°C	

La duración total de la prueba, durante la cual se ha interrumpido el tráfico ha sido de 37 minutos.

Prueba n.º 2

Objeto: Detener la progresión del humo y utilizar el ventilador de galería auxiliar en aspiración para evacuar el humo a través de la compuerta más cercana.

Desarrollo: Se inicia la emisión con una velocidad de 2,2 m/s dirección S-N.

En 6 minutos el humo ocupa 750 m de túnel, desde el foco en SOS-9 (DB. 1.000) hasta el SOS-15 (DB. 1.750).

Se arrancan 7 ventiladores en dirección N-S del tramo Norte, para contener la progresión del humo.

A continuación se pone en marcha el ventilador de galería auxiliar, en régimen de aspiración, abriéndose la compuerta en DB. 1.200, la más cercana a la masa de humo.

Se produce inversión del sentido del aire a N-S, ocupando el humo la zona desde SOS-5 (DB. 500) hasta el SOS-11 (DB. 1.250), es decir, unos 750 m.

Se actúa sobre los ventiladores de forma alternativa, concentrando la masa de humo entre el SOS-9 (DB. 1.000) y el SOS-13 (DB. 1.500) a lo largo de 500 m frente a la compuerta de aspiración del DB. 1.200.

A los 15 minutos del inicio de

Prueba n.º 1

Objeto: Detener la progresión del humo, reducirla y mantenerla bajo control.

Desarrollo: Se parte de una velocidad del aire de 2,3 m/s, dirección S-N, al inicio de la emisión de humo.

En 12 minutos el humo ocupa 1.170 m de túnel, desde el foco en SOS-25 (DB. 3.000) hasta el SOS-35 (DB. 4.170).

A partir de este momento se inicia la actuación de contención del humo con 5 ventiladores que, en menos de 1 minuto, invierten la corriente de aire a N-S.

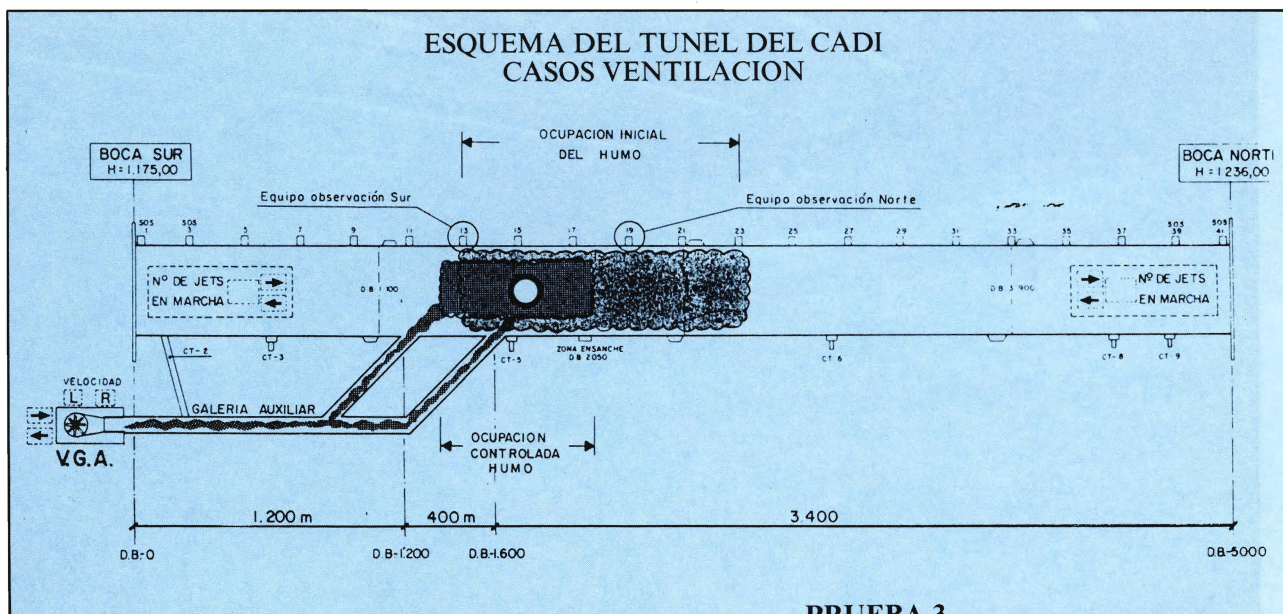
La ocupación de humo se reduce a 690 m, desde SOS-23 (DB. 2.750) a SOS-29 (DB. 3.440). Esta situación se mantiene perfectamente establecida y controlada durante 6 minutos, a partir de los cuales se decide poner fin a la emisión de humo.

Al cabo de 1 minuto se procede

a la evacuación del humo del túnel por Boca Norte, poniendo en marcha 15 ventiladores en los 6 minutos siguientes.

A los 12 minutos de haberse iniciado la limpieza y evacuación de humo, ésta se da por terminada y se da orden de paro a los 15 ventiladores, es decir, a los 6 minutos desde que hubo arrancado el último de ellos.

“El objeto de la prueba n.º 2 es detener la progresión del humo y utilizar el ventilador de galería auxiliar en aspiración para evacuar el humo a través de la compuerta más cercana”



PRUEBA 3

la prueba se da fin a la emisión de humo.

El humo sale regularmente por la galería auxiliar. Esta operación se mantiene durante 15 minutos (transcurridos 8 minutos desde el fin de la emisión de humo), no habiéndose evacuado la totalidad del humo.

Se arrancan 17 ventiladores en dirección N-S para evacuar el resto del humo. Se para el ventilador de galería auxiliar y se cierra la compuerta de aspiración.

A los 6 minutos se paran los ventiladores por haberse limpiado la totalidad del humo por Boca Sur.

La duración total de la prueba ha sido de 31 minutos.

Prueba n.º 3

Objeto: El mismo que la prueba n.º 2, en distinto emplazamiento del foco emisor de humos y utilizando ambas compuertas para aspiración.

Desarrollo: Se inicia la prueba con 2 m/s de velocidad del aire S-N.

A los 6 minutos del inicio de la emisión del humo, se activan 4 ventiladores para detener su progresión, que había ocupado desde el SOS-13 (DB. 1.500) hasta el SOS-23 (DB. 2.750), es decir 1.250 m de túnel.

A los 4 minutos de mantener el aire quieto, se arranca el ventilador de galería auxiliar en extrac-

Movimiento aire existente	SN 2 m/s	Foco emisor humo en D.B. 1.800
Compuerta D.B. 1.200	Abierta	Objeto: Aspirar y extraer humos por galería auxiliar
Compuerta D.B. 1.600	Abierta	
Temperatura BS	14,7.°C	
Temperatura BN	14,29.°C	
Presión BS	1.008 mbar.	
Presión BN	1.002 mbar.	
Viento BS	1,07 m/s SW	
Viento BN	0,19 m/s SW	
Temperatura túnel	13.°C	

ción por la compuerta del DB. 1.600.

Se arrancan 4 ventiladores del tramo Norte en dirección N-S, con ello se logra que el aire circule N-S desde Boca Norte hasta la compuerta, y S-N desde Boca Sur hasta la compuerta de aspiración.

El humo se mueve ocupando el puesto de observación Sur, dejando libre momentáneamente la compuerta de aspiración en DB. 1.600.

“El objeto de la prueba n.º 3 es el mismo que la prueba n.º 2, en distinto emplazamiento del foco emisor de humos y utilizando ambas compuertas para aspiración.”

Se arrancan y paran 4 ventiladores tres veces en sentido alterno, para lograr mantener el humo frente a las compuertas. Este proceso dura unos 15 minutos hasta que se abre además la compuerta en DB. 1.200 como punto de aspiración. La ocupación del humo es de unos 500 m que se mueven oscilando al Norte y al Sur 250 m de forma alterna.

A los 3 minutos, se procede a arrancar 18 ventiladores en dirección N-S para evacuación de humo por Boca Sur, los cuales son parados a los 15 minutos, por haberse evacuado la totalidad del humo, así como el ventilador de galería.

La duración total de la prueba ha sido de 50 minutos.

Conclusiones de los ensayos

Los Servicios Técnicos del Túnel del Cadí tras el estudio detenido de toda la documentación que se generó en las pruebas, destaca-



Foto 4: Sala de control del túnel

ron las siguientes conclusiones:

- El sistema de ventilación longitudinal ha permitido controlar en estos ensayos perfectamente la progresión del humo y restringir considerablemente su ocupación en el túnel.

Así mismo, para estos ensayos se ha comprobado:

- Es posible desplazar la masa de humo por el túnel a voluntad y con extremada rapidez.
- Para evitar la extensión del humo en el túnel es preciso actuar con los ventiladores lo más rápidamente posible.
- La evacuación del humo por las Bocas es una operación muy rápida y eficaz.
- La evacuación del humo por las compuertas en los DB. 1.200 y DB. 1.600 y galería auxiliar está sujeta a las condiciones de situación y velocidad de la masa de humo, viéndose notablemente afectada por éstas.

La empresa Voith en el resumen de su informe sobre el ensayo realizado, señaló lo siguiente:

a) Por la conexión controlada y sistemática de los ventiladores de chorro es posible limitar la evolución de humos en el túnel a una

zona pequeña la cual puede desplazarse incluso en sentido longitudinal variando el número y la dirección de los ventiladores de chorro conectados.

En base a los anteriores resultados de medición queda absolutamente garantizada la seguridad de los conductores entrantes en el túnel en el caso de incendio. El acceso libre de los bomberos existe desde ambos lados del túnel hasta el foco del incendio. El aire insuflado (desde ambos lados) del ex-

“En base a los anteriores resultados de medición queda absolutamente garantizada la seguridad de los conductores entrantes en el túnel en el caso de incendio. ”

terior es aspirado por el ventilador auxiliar.

b) El ventilador auxiliar constituye un respaldo necesario e importante en el régimen de aspiración de aire en el caso de incendio. Al estar conectado sólo el ventilador auxiliar (sin apoyo por los ventiladores de chorro), la aspiración de los humos requiere más tiempo ya que se aspira a la vez el aire sin humos (parecido al caso de una ventilación transversal).

c) Según las investigaciones llevadas a cabo, la ventilación longitudinal con un ventilador auxiliar, garantiza una seguridad suficiente en el caso de incendio.

**Suscríbete a la revista
“Rutas”
la mejor revista
para técnicos
y profesionales.
Boletín de suscripción
en pág. 67**