

---

ANEJO Nº 5  
CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS DE VENTILACIÓN



## ÍNDICE

1.	BASES DE DISEÑO.....	1
1.1.	NORMAS, REGLAMENTOS Y OTROS DOCUMENTOS .....	1
1.2.	JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA.....	1
1.2.1.	Incendio en un túnel.....	1
1.2.2.	Incendio en una estación.....	3
1.2.3.	Reversibilidad de ventiladores .....	3
2.	DESCRIPCIÓN DE LA OBRA Y DE LOS EQUIPOS.....	4
2.1.	POZOS DE VENTILACIÓN .....	4
2.2.	VENTILADORES DE EMERGENCIA .....	4
3.	CÁLCULOS DE VENTILACIÓN DE EMERGENCIA.....	6
3.1.	CÁLCULO DE LA VELOCIDAD CRÍTICA EN TÚNEL.....	6
3.2.	SITUACIÓN DE POZOS DE VENTILACIÓN RESPECTO A ESTACIONES.....	7
3.3.	INCENDIO EN TÚNEL CON TREN ENTRE ESTACIONES .....	7
3.3.1.	Criterios .....	7
3.3.2.	Circuito básico.....	7
3.3.3.	Distribución de caudales.....	9
3.3.4.	Conclusiones .....	11
3.4.	INCENDIO EN TREN DETENIDO EN ESTACIÓN .....	11
3.4.1.	Criterios .....	11
3.4.2.	Circuito básico.....	12
3.4.3.	Conclusiones .....	14
4.	CÁLCULOS DE PÉRDIDA DE CARGA.....	15
4.1.	FÓRMULAS DE APLICACIÓN GENERAL .....	15
4.2.	CÁLCULOS DE VENTILACION EMERGENCIA BENTABERRI VE01 .....	15
4.3.	CÁLCULOS DE VENTILACION EMERGENCIA BENTABERRI VE02 .....	16
4.4.	CÁLCULOS DE VENTILACION EMERGENCIA SALIDA DE EMERGENCIA PÍO BAROJA 16	
4.5.	CÁLCULOS DE VENTILACION EMERGENCIA CONCHA VE01.....	17
4.6.	CÁLCULOS DE VENTILACION EMERGENCIA CONCHA VE02.....	17
4.7.	CÁLCULOS DE VENTILACION EMERGENCIA EASO VE01 .....	17
4.8.	CÁLCULOS DE VENTILACION EMERGENCIA EASO VE02 .....	17

4.9.	GRÁFICO GENERAL DE LÍNEA .....	19
5.	CÁLCULOS DE VENTILACION EBA.....	20
5.1.	FÓRMULAS DE APLICACIÓN GENERAL .....	20
5.1.1.	Fórmulas .....	20
5.2.	CÁLCULO VENTILACIÓN E.B.A EN ESTACIÓN BENTABERRI.....	20
5.3.	CÁLCULO VENTILACIÓN E.B.A EN ESTACIÓN CONCHA .....	21
5.4.	CÁLCULO VENTILACIÓN E.B.A EN ESTACIÓN EASO.....	21
6.	VENTILACIÓN EN CUARTOS TÉCNICOS .....	23
6.1.	VENTILACIÓN EN CUARTOS TÉCNICOS DE ESTACIONES .....	23
6.2.	SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN EN CUARTOS TÉCNICOS .....	24
6.2.1.	Climatización en cuartos de comunicaciones y señalización.....	27
6.2.2.	Climatización en cuarto general de baja tensión .....	28
6.2.3.	Climatización en cuarto jefe de estación (euskotren) .....	28
6.2.4.	Climatización en aseos y vestuarios.....	28
6.2.5.	Climatización en cuarto operadores .....	29
6.3.	VENTILACIÓN EN CUARTOS TÉCNICOS DE SALIDAS DE EMERGENCIA .....	29
7.	CÁLCULOS DE PRESURIZACIÓN EN SALIDAS DE EMERGENCIA DE PÍO BAROJA Y ZARAUTZ 31	
7.1.	INTRODUCCIÓN .....	31
7.2.	CRITERIOS DE DISEÑO Y CONSIDERACIONES A TENER EN CUENTA.....	31
7.3.	BASE DE PARTIDA DEL DISEÑO .....	32
7.4.	FUNDAMENTOS DEL CÁLCULO .....	33
7.5.	DESARROLLO DE LOS CÁLCULOS DE VENTILACIÓN .....	34
7.6.	SELECCIÓN DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN.....	39
7.7.	ANÁLISIS DE PRESIÓN DIFERENCIAL EN PUERTAS DE EMERGENCIA .....	44

## 1. BASES DE DISEÑO

### 1.1. NORMAS, REGLAMENTOS Y OTROS DOCUMENTOS

Las Normas, reglamentos y otros documentos que se han tenido en cuenta para el diseño, han sido los siguientes:

- Subway Enviromental Design Handbook, Volume I, "Principies and Applications" (SEDH en adelante).
- Proyecto Funcional de la Línea 1 del Ferrocarril Metropolitano de Bilbao. Marzo 1988
- CETU – Centre D'Etudes des Tunnels

### 1.2. JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

El riesgo potencial de que se produzca un incendio ya sea en la estación, ya sea en el túnel, hace necesario el estudio de un sistema de ventilación de emergencia que atenúe o evite en lo posible los daños materiales y personales.

La solución adoptada consiste en construir, en el túnel, dos pozos de ventilación próximos a los extremos de cada estación, e instalar en ellos dos ventiladores, de forma que, en caso de incendio, los ventiladores de un pozo impulsen aire y los del otro extraigan los humos. Los accesos de la estación, debido a la depresión producida en la misa, contribuirán al sistema aportando aires fresco y limpio.

Además, dado a que las distancias entre estaciones pueden ser elevadas, se considera también la posibilidad de ventilaciones de emergencia intertúnel.

En condiciones normales de explotación de sistema, la ventilación será natural, a través de los pozos de ventilación, debido al efecto pistón provocado por la circulación de los trenes.

A continuación, se analizan en detalle los casos de incendio en un túnel e incendio en una estación.

Para el túnel se analiza el tramo más crítico, que corresponde con el que dispone de las ventilaciones de emergencia más separadas entre sí. Este sería el caso del tramo entre las estaciones de Lugaritz y Bentaberri.

Para el caso de la estación se considera un análisis más estándar de una estación tipo soterrada, válido para cualquiera de las tres nuevas estaciones de la Pasante del Topo.

#### 1.2.1. Incendio en un túnel

El sistema de ventilación debe ser concebido de manera que se evite que las estaciones contiguas al túnel donde ha tenido lugar el siniestro (incendio y/o generación de humos), sean inundadas por los humos.

Su función principal es realizar una aportación de aire fresco y limpio, para controlar los productos de combustión y proveer rutas limpias de humos, tanto para la salida a lugar seguro de los pasajeros, como para el acceso al lugar de emergencia de los bomberos.

Para dirigir este aire fresco a los usuarios es necesario conocer, previamente, la localización del siniestro y las rutas de escape. Una vez conocidos estos aspectos, los ventiladores se pondrán en funcionamiento de manera que los situados en una chimenea expulsen aire al exterior y los situados en la otra chimenea impulsen aire al interior del túnel.

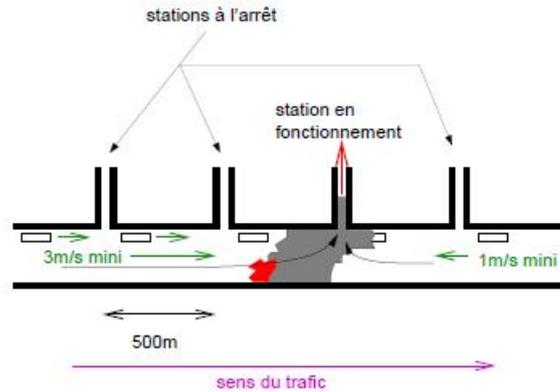
La aleatoriedad de la localización del foco de incendio y/o humos, hace que en principio pueda ser cualquier pareja de ventiladores los que impulsen aire al interior o hacia el exterior, con lo cual esto obliga a que los ventiladores de emergencia sean reversibles.

Por otro lado, para cumplir con el objetivo indicado al principio de este apartado y evitar la inundación de humos en la estación, deberá cumplirse la condición de que el caudal de aire que se expulsa al exterior sea mayor que el que se impulsa al interior de manera que la diferencia de caudales entrará por los corredores de acceso, que permanecerán, así, limpios de humos.

La velocidad mínima que debe tener el aire a través de una galería, para evitar el retroceso de humos, es función de la energía desarrollada y de la sección de la galería. En cualquier caso, para cumplir el objetivo indicado en el párrafo anterior y poder suministrar a los pasajeros una sensación de corriente y aire fresco, en el SEDH se recomienda tomar una velocidad mínima en el túnel de 2,5 m/s y máxima de 11 m/s.

Igualmente, siguiendo los criterios establecidos en el texto mencionado, la velocidad máxima aconsejable, a nivel de calzada, del aire de extracción es de 12,5 m/s para casos de emergencia.

Por otro lado, de acuerdo con el criterio del CETU, en todos los casos, una extracción correspondiente a un incendio, el aire debe tener como mínimo una velocidad mínima de 3 m/s en el lado de la extracción correspondiente al incendio y 1 m/s en el lado de extracción del tramo sin incendio. De esta forma, no se produce retroceso de humos.



Por otro lado, el diseño de los ventiladores y sus equipos ha de ser tal que soporten temperaturas de 400 °C durante dos horas como mínimo.

### 1.2.2. Incendio en una estación

En caso de incendio en la estación, el sistema de control habrá de ser tal que el flujo de aire en la misma arrastre los humos hacia una de las extracciones laterales de los túneles contiguos, de manera que un grupo de ventiladores funcionarán extrayendo aire de la estación y el otro impulsándolo a ella.

De esta manera, por el corredor de acceso se origina una corriente de aire exterior hacia el interior de la estación, evitando así la inundación de humos dentro del corredor.

La velocidad del aire por los corredores de acceso tendrá los mismos límites que para el caso de incendio en un túnel.

### 1.2.3. Reversibilidad de ventiladores

De lo expuesto anteriormente, resulta evidente que, en caso de emergencia, es necesario mantener en depresión la zona siniestrada. De esta manera se consigue que el flujo de aire por los cañones de acceso sea del exterior al interior de la zona siniestrada.

El caudal para los ventiladores en funcionamiento nominal es de 90 m<sup>3</sup>/s por ventilador, mientras que en funcionamiento reversible el rendimiento estará en torno al 60% de las condiciones nominales anteriores.

En casos de emergencia, los ventiladores en extracción funcionarán al 100% de las condiciones nominales, extrayendo Q=180 m<sup>3</sup>/s, mientras que los ventiladores en impulsión funcionarán en un rendimiento del X% de las condiciones nominales, es decir, impulsando "XxQ" m<sup>3</sup>/s. El resto del caudal de aire entrará por los cañones de acceso.

## 2. DESCRIPCIÓN DE LA OBRA Y DE LOS EQUIPOS

El sistema de ventilación ideado implica la construcción de dos pozos o chimeneas de ventilación por cada túnel entre estaciones y próximas a las zonas de testero de cada estación.

En estos pozos se dispondrán los ventiladores de emergencia, disponiéndose dos ventiladores por pozo.

### 2.1. POZOS DE VENTILACIÓN

Cada pozo de ventilación dispondrá de una cámara, próxima a la unión con el túnel entre estaciones, de dimensiones suficientes para ubicar los dos ventiladores de emergencia.

En esta cámara se dispondrán compuertas metálicas de acero galvanizado de sección suficiente, de manera que, en condiciones normales de explotación del sistema, estas compuertas permitan el flujo de aire para ventilación natural del túnel entre estaciones por efecto pistón

En caso de emergencia, estas compuertas se cierran automáticamente, por acción de servomotores acoplados a ellas, permitiendo la ventilación forzada mediante los ventiladores de emergencia.

Igualmente, en la boca de impulsión de los ventiladores se dispondrán compuertas para impedir que, debido al efecto pistón, se produzca un giro forzado en las hélices del ventilador. Así pues, estas compuertas estarán cerradas en operación normal y abiertas en emergencia.

La salida al exterior de estos pozos se realizará mediante las correspondientes rejillas, a nivel de calzada, en zonas no peatonales.

### 2.2. VENTILADORES DE EMERGENCIA

Para cubrir las necesidades de ventilación en caso de emergencia, se dispondrán dos ventiladores axiales con palas de ángulo fijo, sin álabes directrices y acoplamiento directo al motor.

Las características de los ventiladores especificados son 90 m<sup>3</sup>/s y 870 Pa, por tanto, cada sala dispondrá de 180 m<sup>3</sup>/s de caudal a una presión de hasta 870 Pa. Por tanto, las caídas de carga deberán estar en todo momento por debajo de los 870 Pa (89 mmca) definidos y así se justifica en el capítulo 4 de este anejo.

Deberán soportar temperaturas de hasta 400 °C durante dos horas y su funcionamiento, según sea el incendio se ajustará a los siguientes criterios:

- Incendio en túnel entre estaciones: el grupo de ventiladores más próximo al foco funcionarán al 100% de su capacidad, expulsando los humos al exterior, mientras que el grupo de ventiladores ubicados en la chimenea más lejana al foco, funcionarán con el grado de reversibilidad correspondiente, introduciendo aire fresco del exterior al túnel y provocando de esta manera un único sentido de flujo dentro del túnel entre estaciones.
- Incendio en estación: los ventiladores próximos al foco de incendio en la estación funcionarán extrayendo aire de la estación, mientras que el otro grupo de ventiladores, dispuesto en la chimenea ubicada en el testero contrario, funcionará impulsando aire exterior.

### 3. CÁLCULOS DE VENTILACIÓN DE EMERGENCIA

#### 3.1. CÁLCULO DE LA VELOCIDAD CRÍTICA EN TÚNEL

La velocidad del aire en el túnel que deberá asegurarse con el propósito de evitar el retroceso de humos, la llamada “velocidad crítica”, puede calcularse a partir de las conocidas ecuaciones de Kennedy.

En un modelo unidimensional del túnel, y en el supuesto que el aire fresco aportado por la ventilación enfríe el área de fuego (toda o parte de dicha área de fuego), la velocidad crítica y la temperatura en el foco del fuego es:

$$u_{\text{crítica}} = K_1 \cdot K_g \cdot \left( \frac{g \cdot H_{\text{túnel}} \cdot Q_{\text{aire}}}{\beta \cdot \rho_{\text{fresco}} \cdot c_p \cdot A_{\text{túnel}} \cdot T_{\text{foco-crítica}}} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$T_{\text{foco-crítica}} = \left( \frac{Q_{\text{aire}}}{\beta \cdot \rho_{\text{fresco}} \cdot c_p \cdot A_{\text{túnel}} \cdot u_{\text{crítica}}} \right) + T_{\text{fresco}}$$

Donde:

Ucrítica: velocidad crítica (m/s)

K1: Constante adimensional (valor usual 0,61)

K2: constante de corrección por la pendiente del túnel.

$$K_g = 1 + 0,0374 \cdot i^{0,8}$$

Siendo “i” la pendiente del túnel en porcentaje.

g: aceleración gravitacional (9,8 m/s<sup>2</sup>)

Htúnel: altura del túnel (m). Suponemos un valor de 7 metros.

Qaire: potencia del aire (se puede aproximar a 2/3 de la potencia del fuego). Por tanto, suponemos un valor de 30.000 W x 2/3 = 20.000 W.

β: factor entre 0 y 1 que representa la proporción del área del túnel que es atravesada por el aire fresco (adimensional). Se considera de valor igual a 1.

ρfresco: densidad del aire fresco. Suponemos un valor a 20°C de 1,2 Kg/m<sup>3</sup>.

CP = calor específico del aire. Se supone 1.004 J/Kg K.

Tfresco : temperatura del aire fresco. Se supone de 293 °K (es decir 20 °C).

Con todo esto, el valor resultante de la velocidad crítica es de:

Ucrítica = 1,762 m/s

Adicionalmente al resultado de esta fórmula y de acuerdo con el criterio del CETU, en todos los casos, una extracción correspondiente a un incendio, el aire debe tener como mínimo una velocidad mínima de 3 m/s en el lado de la extracción correspondiente al incendio y 1 m/s en el lado de extracción del tramo sin incendio. De esta forma, no se daría un retroceso de los humos.

### 3.2. SITUACIÓN DE POZOS DE VENTILACIÓN RESPECTO A ESTACIONES

Como ya se ha indicado en la Memoria, existen dos pozos por estación, próximos a las zonas de testero de las mismas.

El caso más extremo es el del incendio entre las estaciones de Lugaritz y Bentaberri, dado que hay más de 1000 metros entre las ventilaciones de emergencia de estas estaciones. Además, la estación de Lugaritz dado que está junto a la boca del túnel, presenta una caída de carga tan baja que caso de suceder el incendio junto a esta estación, implicaría un apoyo aún más importante desde la ventilación de emergencia al otro extremo del túnel, junto a Bentaberri (VE01 de Bentaberri).

### 3.3. INCENDIO EN TÚNEL CON TREN ENTRE ESTACIONES

#### 3.3.1. Criterios

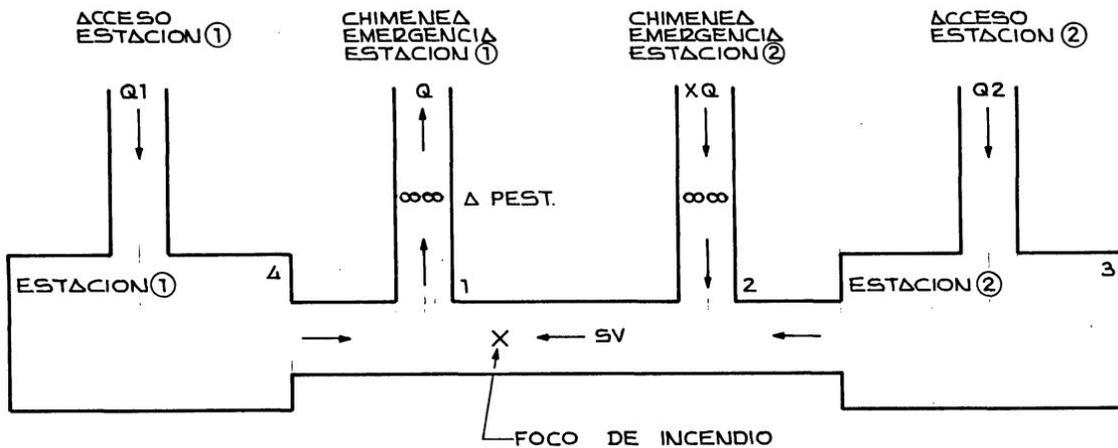
El sistema de ventilación debe ser concebido de manera que se evite que las estaciones contiguas al túnel siniestrado sean inundadas por los humos.

Como punto de partida y en base a los criterios expuestos, adoptaremos una velocidad mínima en el túnel siniestrado de 3 m/s, según se indica en el CETU.

De acuerdo con el criterio de reversibilidad de los ventiladores descrito, resultará que, en caso de incendio en un túnel, un grupo funcionará al 100% del caudal nominal y el otro grupo funcionará con un caudal de X% del nominal (siendo X el grado de reversibilidad), de forma que unos estén en impulsión y otros en aspiración.

#### 3.3.2. Circuito básico

En caso de emergencia, los ventiladores entrarán en funcionamiento creándose un circuito hidráulico como el descrito en el siguiente esquema.



Por continuidad tendremos (según circuito), que el caudal impulsado al exterior del sistema tendrá que ser igual al impulsado al interior del sistema a través de los cañones de acceso de las estaciones contiguas y del pozo de emergencia en impulsión.

Como planteamiento general para cualquier túnel entre estaciones, y según esquema anterior, resultará:

Ecuaciones de continuidad

$$Q1 = Q - S \cdot V \quad (1)$$

$$Q2 = S \cdot V - X \cdot Q \quad (2)$$

Según circuito hidráulico

$$AP01 = AP21 + AP02 \quad (3)$$

Donde:

Q = Caudal de ventiladores en condiciones nominales

S = Sección en túnel entre estaciones

V = Velocidad mínima en túnel según CETU

Q1 = Caudal por acceso estación 1

Q2 = Caudal por acceso estación 2

X = Grado de reversibilidad

AP01 = Pérdida de carga por acceso estación 1

AP02 = Pérdida de carga por acceso estación 2

AP 21 = Pérdida de carga en túnel

$$AP01 = \frac{1}{2} d K_{01} Q_1^2$$

$$AP02 = \frac{1}{2} d K_{02} Q_2^2$$

$$AP21 = \frac{1}{2} d C_{21} V^2$$

Siendo:

K01= Coeficiente de pérdida de carga (primarias y secundarias) desde el acceso estación 1 hasta la zona de ventiladores de emergencia en nudo 1.

K02 = Coeficiente de pérdida de carga (primaria y secundaria) desde el acceso por estación 2 hasta la zona de ventiladores de emergencia en nudo 2.

C21= Coeficiente de pérdida de carga en túnel entre estaciones desde una zona de ventiladores hasta la otra zona de ventiladores (nudo 1 hasta nudo 2).

d= Densidad del aire.

Sustituyendo los valores anteriores en la ecuación (3) y combinando las ecuaciones (1), (2) y (3) se llega a una expresión de la forma.

$$K_{01}(Q - S.V)^2 - K_{02} (S.V - X.Q) ABS (S.V - X.Q) - C_{21} V^2 = 0$$

### 3.3.3. Distribución de caudales

Para la determinación de los caudales necesarios de ventilación y los caudales por los cañones de acceso, previamente es necesario determinar la impedancia de los circuitos. Par el cálculo de los coeficientes de pérdidas singulares (codos, salida con rejilla, etc.) se han tomado los valores indicados en:

- Subway Environmental Design Handbook” (Volume 1) “Principies and Applications” (SEDH)
- ASHRAE Guide and Data Book Equipment” (New York 1988)
- CETU – Centre D’Etudes des Tunnels

La rugosidad absoluta del hormigón considerada en este caso ha sido de 3 mm.

Además, considerando al mismo tiempo, el criterio establecido en el CETU adoptaremos una velocidad mínima en túneles entre estaciones de 3 m/s.

Con los criterios adoptados anteriormente y considerando el circuito más desfavorable (túnel entre estaciones de Lugaritz y Bentaberri), resultan unos valores para los coeficientes de pérdidas de carga de:

$K_{01} = 0,0003$  (es un valor muy bajo, dado que Lugaritz está en la misma boca del comienzo del túnel, por lo que apenas hay caída de carga)

$K_{02} = 0,018$  (es un valor estándar típico en estaciones subterráneas tipo Metro)

$C_{21} = 4,88$  (extraído de los cálculos de caída de carga en la Ve01 de Bentaberri)

Que, sustituyendo en la ecuación general, resultará:

$$K_{01}(Q - S.V)^2 - K_{02} (S.V - X.Q) ABS (S.V - X.Q) - C_{21} V^2 = 0$$

$$0,0003 (180 - S.V)^2 - 0,018 (S.V - X.180) ABS (S.V - X.180) - 4,88 V^2 = 0$$

$$0,0003 (Q - S.V)^2 - 0,018 (S.V - X.Q) ABS (S.V - X.Q) - 43,92 = 0$$

Obteniéndose la siguiente distribución de caudales, para diferentes grados de reversibilidad:

<b>TRAMO LUGARITZ - BENTABERRI. INCENDIO EN LUGARITZ</b>					
<b>X</b>	<b>Q1</b>	<b>Q2</b>	<b>S.V</b>	<b>Q</b>	<b>X.Q</b>
	<b>(m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>(m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>(m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>(m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>(m<sup>3</sup>/s)</b>
<b>0,5</b>	<b>91,53</b>	<b>-1,53</b>	<b>88,47</b>	<b>180</b>	<b>90</b>
<b>0,6</b>	<b>73,22</b>	<b>-1,22</b>	<b>106,78</b>	<b>180</b>	<b>108</b>
<b>0,7</b>	<b>54,92</b>	<b>-0,92</b>	<b>125,08</b>	<b>180</b>	<b>126</b>
<b>0,75</b>	<b>36,61</b>	<b>8,39</b>	<b>143,39</b>	<b>180</b>	<b>135</b>
<b>0,8</b>	<b>34,58</b>	<b>1,42</b>	<b>145,42</b>	<b>180</b>	<b>144</b>
<b>0,9</b>	<b>18,31</b>	<b>-0,31</b>	<b>161,69</b>	<b>180</b>	<b>162</b>
<b>1</b>	<b>51,3</b>	<b>-51,3</b>	<b>128,7</b>	<b>180</b>	<b>180</b>

En nuestro caso y como criterio general para todos los ventiladores de emergencia, se ha adoptado un caudal nominal por ventilador de 90 m<sup>3</sup>/s.

En este análisis, no se considera aporte de ventilación del túnel actual a Amara que parte de las cercanías de Lugaritz. Esta consideración es conservadora, dado que dicha ventilación podría ser un apoyo extra a la salida de humos (el escenario de incendio presupone que este suceda en el tramo de túnel entre la ventilación de emergencia de Lugaritz y la bifurcación hacia Amara), especialmente por la disminución del grado de reversibilidad de los ventiladores de la VE01 de la

estación de Bentaberri, siempre, claro está, bajo la premisa de que la velocidad de aire en el túnel entre ambas estaciones sea mayor de 3 m/s para evitar que el humo del incendio se propague en dirección hacia Bentaberri

Tomando un ventilador con grado de reversibilidad de 80%, la distribución de caudales será:

Caudal ventiladores en extracción (VE – Lugaritz):	180m <sup>3</sup> /s
Caudal ventiladores en impulsión (VE01 – Bentaberri):	135 m <sup>3</sup> /s
Caudal cañón estación 1 (boca túnel Lugaritz):	36,61m <sup>3</sup> /s
Caudal cañón acceso estación 2:	8,39 m <sup>3</sup> /s
Caudal en túnel:	143,39 m <sup>3</sup> /s

### 3.3.4. Conclusiones

De los valores de caudal determinados en el punto anterior y según el esquema anterior, se comprueba que la zona siniestrada quedará en depresión con respecto al exterior, estando, así garantizada la entrada de aire fresco y limpio.

Respecto a la velocidad, hay que considerar que, el túnel, tiene una sección de 42,9 m<sup>2</sup>. Para los ventiladores seleccionados de 90 m<sup>3</sup>/s y 75% de grado de reversibilidad, las velocidades en estos puntos serán:

Velocidad en túnel Bentaberri -> Lugaritz:	3,34 m/s > 3 m/s.
Velocidad en túnel Lugaritz -> Foco:	0,85 m/s ~ 1 m/s.

Por tanto, se puede considerar que el escenario de incendio es viable en cuanto al despeje de los humos, más aún, teniendo en cuenta que la ventilación intertúnel existente actualmente en el túnel de Amara no aportaría ventilación.

## 3.4. INCENDIO EN TREN DETENIDO EN ESTACIÓN

### 3.4.1. Criterios

En caso de que el incendio del tren se produzca cuando este permanece en la estación, se pondrán en funcionamiento los ventiladores ubicados en los pozos próximos a los testereros de dicha estación.

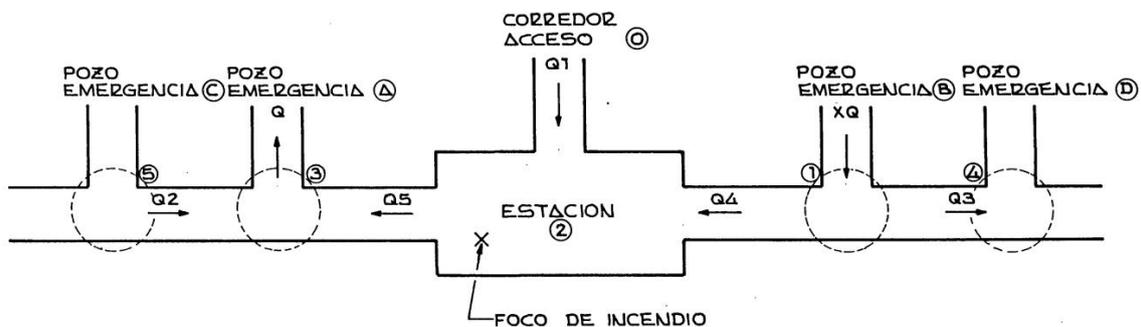
Se trata de comprobar que la estación quedará en depresión, con lo cual estará garantizado la entrada de aire fresco y limpio a la zona. Además, la velocidad en los cañones de acceso deberá estar entre los límites indicados anteriormente.

Su funcionamiento será tal que provoque un único sentido del flujo dentro de la estación, de manera que la salida de humos esté orientada hacia el grupo de ventiladores que funcionen al 100% de su capacidad, mientras que el otro grupo estará funcionando reversiblemente.

De esta manera queda garantizado que el corredor de accesos de la estación siniestrada quedará libre de humos y con un flujo de aire hacia el interior. El grupo de ventiladores que funcionarán al 100% o en reversibilidad dependerá de la localización del foco de incendio, funcionando al 100% aquel grupo de ventiladores más próximo al foco de incendio.

### 3.4.2. Circuito básico

El circuito hidráulico constituido en este caso será el indicado en el siguiente esquema.



Como planteamiento general para cualquier estación resultará unas expresiones, según circuito, del siguiente tipo:

#### Ecuaciones de continuidad

$$Q = Q_2 + Q_5$$

$$Q_5 = Q_1 + Q_4$$

$$X.Q = Q_4 + Q_3$$

#### Según circuito hidráulico

$$AP_{02} + AP_{23} = AP_{05} + AP_{53}$$

$$Pest_2 = AP_{01} + AP_{12} - AP_{02}$$

$$Pest_2 = AP_{01} + AP_{14} - AP_{40}$$

Donde:

$Q$  = Caudal ventiladores en condiciones nominales (90 m<sup>3</sup> /s por ventilador)

$X$  = Grado de reversibilidad (se supone del 60%)

- Q1 = Caudal por cañón acceso de estación siniestrada.
- Q2 = Caudal de pozo de emergencia "C" a pozo emergencia "A"
- Q3 = Caudal de pozo de emergencia "B" a pozo de emergencia "D"
- Q4 = Caudal de pozo de emergencia "B" a estación siniestrada
- Q5 = Caudal de estación siniestrada a pozo emergencia "A"
- AP 02 = Pérdida de carga por cañón de accesos hasta estación
- AP 23 = Pérdida de carga de estación a nudo 3 en pozo emergencia "A"
- AP 05 = Pérdida de carga por pozo emergencia "C" hasta unión con túnel
- AP 53 = Pérdida de carga de nudo 5 a nudo 3
- AP 01 = Pérdida de carga por pozo emergencia "B" hasta nudo 1
- AP 12 = Pérdida de carga de nudo 1 a estación
- AP 02 = Pérdida de carga por acceso estación hasta estación
- AP 14 = Pérdida de carga de nudo 1 a nudo 4
- AP 40 = Pérdida de carga en pozo de emergencia "D" desde nudo 4
- Pest2 = Presión estática ventiladores en pozo emergencia B

Operando con el sistema de ecuaciones formado, se llega a las expresiones siguientes en función de Q1 y Q4.

$$0,018 Q_1^2 = 3,26 Q^2 - 6,52 Q(Q_1 + Q_4) + 1,92 (Q_1 + Q_4)^2$$

$$1,79 Q_4^2 - 0,018 Q_1^2 = 4,88 (X.Q - Q_4)$$

Que para los ventiladores seleccionados (90 m<sup>3</sup>/s de caudal y 60% de reversibilidad) resulta la siguiente distribución de caudales:

$$Q_1 = 57,3 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_2 = 55,3 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_3 = 40,6 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_4 = 67,4 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_5 = 124,7 \text{ m}^3/\text{s}$$

### 3.4.3. Conclusiones

De los valores de caudal determinados en el punto 3.4.2, y según el esquema mostrado en el mismo punto, se observa que la estación siniestrada queda en depresión, garantizándose una entrada de aire fresco y limpio a través de los cañones de acceso.

La velocidad del aire en los cañones de acceso, teniendo en cuenta que la sección más crítica es la entrada a vestíbulo, con un área de 10,2 m<sup>2</sup>, es de:

$$V = Q_1/S = 57,3/10,2 = 5,6 \text{ m/s}$$

Valor comprendido entre los límites de 2,5 m/s (mínimo) y 11 m/s (máximo), según el SEDH y mayor que 3 m/s según el CETU.

## 4. CÁLCULOS DE PÉRDIDA DE CARGA

A continuación, se presentan los cálculos que representan para cada ventilación de emergencia, la presión que debe vencer en cada ubicación, para conseguir los caudales que se definen.

### 4.1. FÓRMULAS DE APLICACIÓN GENERAL

A continuación, se definen las fórmulas y variables que se van a tener en cuenta para los cálculos de pérdidas de carga (presión) debida a los recorridos que hace el caudal de aire a través de los diferentes conductos, entronques, cambios bruscos, cámaras de rotura y rejillas; es decir, desde el inicio del recorrido hasta la salida, considerando como inicio de recorrido el siguiente:

Para una ventilación de emergencia la distancia a la ventilación de emergencia adyacente más lejana.

<b>Diametro hidraulico</b>	$D_h = 4 \times S / P$
<b>Velocidad de circulación</b>	$v = Q / S \quad Q_{\text{vent}} = 90 \text{ m}^3/\text{s} \quad Q_{\text{(total)}} = 180 \text{ m}^3/\text{s}$
<b>Numero de Reynolds</b>	$Re = v \times D_h \times d / W \quad d = 1,2047 \text{ kg}/\text{m}^3 \quad W = 1,8 \times 10^{-5}$
<b>Coefficiente de fricción</b>	$f = 1 / (1,8 \times \log Re - 1,64)^2 \quad f = f(Re) \quad f(\text{mínimo}) = 0,03$
<b>Pérdida de carga en tramos rectos</b>	$P_c = (1/2) \times d \times v^2 \times f \times (L / D_h) \times (1/9,81)$
<b>Pérdidas de carga singulares</b>	$P_{dy} = (1/2) \times d \times v^2 \times K \times (1/9,81)$
<b>Presión dinámica en la salida</b>	$P_{ds} = (1/2) \times d \times v^2 \times (1/10)$

Donde:

S es la superficie en m<sup>2</sup>.

P = perímetro que contiene a la superficie S; medida en m.

K = coeficiente de pérdidas de carga singulares (adimensional)

### 4.2. CÁLCULOS DE VENTILACION EMERGENCIA BENTABERRI VE01

VENTILACIÓN EMERGENCIA Estación Bentaberri VE01	Sección útil	Perímetro sección	Diámetro hidráulico	Velocidad circulación	Longitud conducto	Coefficiente de pérdidas	Pérdidas de carga
	S (m <sup>2</sup> )	P (m)	Dh (m)	v (m/s)	L (m)	K	Pc (mm c.a.)
Túnel vía	42,90	25,77	6,66	4,20	1082	...	5,27
Entronque tunel-galería	36,60	23,25	6,30	4,92	...	0,7	1,04
Chimenea	22,96	22,00	4,17	7,84	18,11	...	0,49
Galería Ventilación 1	18,00	18	4,00	10,00	35,53	...	1,64
Codo	...	...	...	1,16	...	0,45	0,04
Galería Ventilación 2	18,00	18	4,00	10,00	35,53	...	1,64
Camb brusco galería - chimenea	14,14	18,86	3,00	12,73	...	0,45	4,48
Chimenea	14,14	18,86	3,00	12,73	22,3	...	2,22
Cámara rotura	16	16,5	3,88	11,25	7,5	...	0,45
Rejilla en calle	24,02	29,33	...	7,49	...	0,35	1,21
Presión Dinámica	24,02	29,33	...	7,49	...	...	3,38

21,85

#### 4.3. CÁLCULOS DE VENTILACION EMERGENCIA BENTABERRI VE02

VENTILACIÓN EMERGENCIA Estación Bentaberri VE 02	Sección útil	Perímetro sección	Diámetro hidráulico	Velocidad circulación	Longitud conducto	Coefficiente de pérdidas	Pérdidas de carga
	S (m <sup>2</sup> )	P (m)	Dh (m)	v (m/s)	L (m)	K	Pc (mm c.a.)
Túnel vía	42,90	25,77	6,66	4,20	828	...	4,03
Entronque tunel-galería	36,60	23,25	6,30	4,92	...	0,7	1,04
Galería Ventilación 1	36,60	23,25	6,30	15,00	35,53	...	2,34
Codo	...	...	...	1,16	...	0,45	0,04
Galería Ventilación 2	20,00	17,5	4,57	19,00	35,53	...	5,17
Camb brusco galería - chimenea	14,14	18,86	3,00	12,73	...	0,45	4,48
Chimenea	14,14	18,86	3,00	12,73	22,3	...	2,22
Cámara rotura	16	16,5	3,88	11,25	7,5	...	0,45
Rejilla en calle	29,00	21,5	...	6,21	...	0,35	0,83
Presión dinámica	29,00	21,5	...	6,21	...	...	2,32

22,91

#### 4.4. CÁLCULOS DE VENTILACION EMERGENCIA SALIDA DE EMERGENCIA PÍO BAROJA

VENTILACIÓN EMERGENCIA Salida de Emergencia Pío Baroja	Sección útil	Perímetro sección	Diámetro hidráulico	Velocidad circulación	Longitud conducto	Coefficiente de pérdidas	Pérdidas de carga
	S (m <sup>2</sup> )	P (m)	Dh (m)	v (m/s)	L (m)	K	Pc (mm c.a.)
Túnel vía	42,90	25,77	6,66	4,20	894	...	4,35
Entronque tunel-galería	36,60	23,25	6,30	4,92	...	0,7	1,04
Galería Ventilación 1	36,60	23,25	6,30	4,92	18	...	0,13
Codo	...	...	...	1,16	...	0,45	0,04
Galería Ventilación 2	12,60	14,7	3,43	14,29	459	...	50,33
Camb brusco galería - chimenea	33,7	23,30	5,79	5,34	...	0,45	0,79
Chimenea	33,7	23,30	5,79	5,34	9,4	...	0,09
Cámara rotura	32,6	15,5	8,41	5,52	8,80	...	0,06
Rejilla en calle	36,95	24,52	...	4,87	...	0,35	0,51
Presión Dinámica	36,95	24,52	...	4,87	...	...	1,43

58,76

#### 4.5. CÁLCULOS DE VENTILACION EMERGENCIA CONCHA VE01

VENTILACIÓN EMERGENCIA Estación Concha VE01	Sección útil	Perímetro sección	Diámetro hidráulico	Velocidad circulación	Longitud conducto	Coefficiente de pérdidas	Pérdidas de carga
	S (m <sup>2</sup> )	P (m)	Dh (m)	v (m/s)	L (m)	K	Pc (mm c.a.)
Túnel vía	42,90	25,77	6,66	4,20	431	...	2,10
Entronque tunel-galería	36,60	23,25	6,30	4,92	...	0,7	1,04
Galería Ventilación 1	36,60	23,25	6,30	4,92	15	...	0,11
Codo	...	...	...	1,16	...	0,45	0,04
Galería Ventilación 2	23,60	18,75	5,03	7,63	22	...	0,47
Camb brusco galería - chimenea	14,14	18,86	3,00	12,73	...	0,45	4,48
Chimenea	14,14	18,86	3,00	12,73	36,26	...	3,61
Cámara rotura	33,6	26	5,17	5,36	4,10	...	0,04
Rejilla en calle	29,50	25,4	...	6,10	...	0,35	0,80
Presión Dinámica	29,50	25,4	...	6,10	...	...	2,24
							<b>14,92</b>

#### 4.6. CÁLCULOS DE VENTILACION EMERGENCIA CONCHA VE02

VENTILACIÓN EMERGENCIA Estación Concha VE 02	Sección útil	Perímetro sección	Diámetro hidráulico	Velocidad circulación	Longitud conducto	Coefficiente de pérdidas	Pérdidas de carga
	S (m <sup>2</sup> )	P (m)	Dh (m)	v (m/s)	L (m)	K	Pc (mm c.a.)
Túnel vía	42,90	25,77	6,66	4,20	536	...	2,61
Entronque tunel-galería	36,60	23,25	6,30	4,92	...	0,7	1,04
Galería Ventilación 1	36,60	23,25	6,30	4,92	10	...	0,07
Codo	...	...	...	1,16	...	0,45	0,04
Galería Ventilación 2	23,60	18,75	5,03	7,63	14	...	0,30
Camb brusco galería - chimenea	14,14	18,86	3,00	12,73	...	0,45	4,48
Chimenea	14,14	18,86	3,00	12,73	41,62	...	4,14
Cámara rotura	13	14,4	3,61	13,85	14,20	...	1,39
Rejilla en calle	30,20	31,2	...	5,96	...	0,35	0,76
Presión Dinámica	30,20	31,2	...	5,96	...	...	2,14
							<b>16,97</b>

#### 4.7. CÁLCULOS DE VENTILACION EMERGENCIA EASO VE01

VENTILACIÓN EMERGENCIA Estación Easo VE01	Sección útil	Perímetro sección	Diámetro hidráulico	Velocidad circulación	Longitud conducto	Coefficiente de pérdidas	Pérdidas de carga
	S (m <sup>2</sup> )	P (m)	Dh (m)	v (m/s)	L (m)	K	Pc (mm c.a.)
Túnel vía	42,90	25,77	6,66	4,20	536	...	2,61
Entronque tunel-galería	36,60	23,25	6,30	4,92	...	0,7	1,04
Galería Ventilación 1	36,60	23,25	6,30	4,92	13	...	0,09
Codo	...	...	...	1,16	...	0,45	0,04
Galería Ventilación 2	23,60	18,75	5,03	7,63	16	...	0,34
Camb brusco galería - chimenea	14,14	18,86	3,00	12,73	...	0,45	4,48
Chimenea	14,14	18,86	3,00	12,73	28,8	...	2,87
Cámara rotura	33,6	26	5,17	5,36	4,27	...	0,04
Rejilla en calle	26,80	24,5	...	6,72	...	0,35	0,97
Presión Dinámica	26,80	24,5	...	6,72	...	...	2,72
							<b>15,19</b>

#### 4.8. CÁLCULOS DE VENTILACION EMERGENCIA EASO VE02

En los planos originales del proyecto de civil, aparece una rejilla de salida/entrada de aire desde el exterior a la caverna de ventilación de emergencia de tan solo las siguientes medidas: 4,5 x 0,7 metros.

Esto implica una velocidad de paso de aire superior a los 58 m/s en el caso más crítico (con los dos ventiladores habría un caudal de 180 m<sup>3</sup>/s). Esta velocidad a su vez provocaría una pérdida de carga muy elevada que implicaría unos ventiladores de más de 500 kW cada uno. Por tanto, se acompaña cálculo en base a rejilla de origen, así como propuesta con una sección de rejilla, que comunica con el exterior, de una sección mayor de tal forma que se den unos valores más cercanos a lo habitual en este tipo de instalaciones.

A continuación, se muestra tabla con cálculos de pérdida de carga en base a los datos originales del proyecto constructivo:

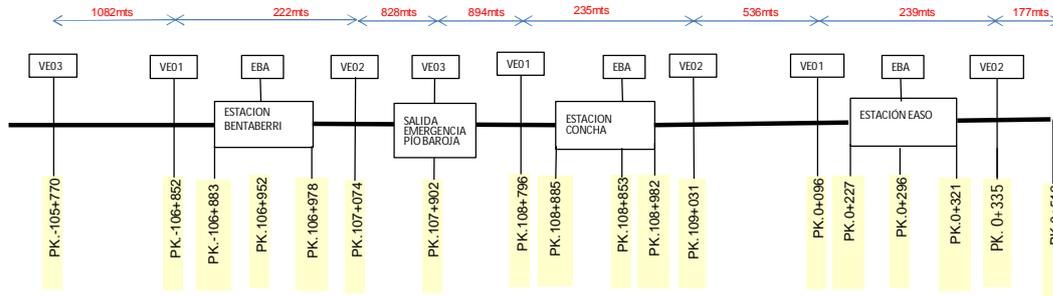
VENTILACIÓN EMERGENCIA Estación Easo VE 02	Sección útil	Perímetro sección	Diámetro hidráulico	Velocidad circulación	Longitud conducto	Coficiente de pérdidas	Pérdidas de carga
	S (m <sup>2</sup> )	P (m)	Dh (m)	v (m/s)	L (m)	K	Pc (mm c.a.)
Túnel vía	42,90	25,77	6,66	4,20	177	...	0,86
Entronque tunel-galería	42,90	25,77	6,66	4,20	...	0,7	0,76
Galería Ventilación	42,90	25,77	6,66	4,20	221	...	1,08
Camb brusco galería - rejilla	3,10	10,4	1,19	58,06	...	0,45	93,16
Rejilla en calle	3,10	10,4	...	58,06	...	0,35	72,46
Presión dinámica	3,10	10,4	...	58,06	...	...	203,08
							<b>371,39</b>

A continuación, se muestra propuesta de cálculo en base a sugerencia que plantea aumento de la sección de rejilla que comunica con el exterior:

VENTILACIÓN EMERGENCIA Estación Easo VE 02*	Sección útil	Perímetro sección	Diámetro hidráulico	Velocidad circulación	Longitud conducto	Coficiente de pérdidas	Pérdidas de carga
	S (m <sup>2</sup> )	P (m)	Dh (m)	v (m/s)	L (m)	K	Pc (mm c.a.)
Túnel vía	42,90	25,77	6,66	4,20	177	...	0,86
Entronque tunel-galería	42,90	25,77	6,66	4,20	...	0,7	0,76
Galería Ventilación	42,90	25,77	6,66	4,20	221	...	1,08
Camb brusco galería - rejilla	7,51	23,60	1,27	23,97	...	0,45	15,87
Rejilla en calle	7,51	23,60	...	23,97	...	0,35	12,35
Presión dinámica	7,51	23,60	...	23,97	...	...	34,60
							<b>65,52</b>

\*Suponiendo el añadir tres rejillas bajo la definida en proyecto con unas dimensiones de 3 x 2,1 x 0,7 metros.

## 4.9. GRÁFICO GENERAL DE LÍNEA



## 5. CÁLCULOS DE VENTILACION EBA

A continuación, se presentan los cálculos que representan para la ventilación EBA, la presión que debe vencer, para conseguir los caudales que se definen.

### 5.1. FÓRMULAS DE APLICACIÓN GENERAL

A continuación, se definen las fórmulas y variables que se van a tener en cuenta para los cálculos de pérdidas de carga (presión) debida a los recorridos que hace el caudal de aire a través de los diferentes conductos, entronques, cambios bruscos, cámaras de rotura y rejillas; es decir, desde el inicio del recorrido hasta la salida, considerando como inicio de recorrido el siguiente:

- Para el EBA la propia caverna de estación.

#### 5.1.1. Fórmulas

**Diametro hidraulico**  $D_h = 4 \times S / P$

**Velocidad de circulación**  $v = Q / S$   $Q_{vent} = 20 \text{ m}^3/\text{s}$   $Q_{(total)} = 40 \text{ m}^3/\text{s}$

**Numero de Reynolds**  $Re = v \times D_h \times \rho / W$   $\rho = 1,2047 \text{ kg}/\text{m}^3$   $W = 1,8 \times 10^{-5}$

**Coefficiente de fricción**  $f = 1 / (1,8 \times \log Re - 1,64)^2$   $f = f(Re)$   $f(\text{mínimo}) = 0,03$

**Pérdida de carga en tramos rectos**  $P_c = (1/2) \times \rho \times v^2 \times f \times (L/D_h) \times (1/9,81)$

**Pérdidas de carga singulares**  $P_{dy} = (1/2) \times \rho \times v^2 \times K \times (1/9,81)$

**Presión dinámica en la salida**  $P_{ds} = (1/2) \times \rho \times v^2 \times (1/10)$

Donde:

S es la superficie en m<sup>2</sup>.

P = perímetro que contiene a la superficie S; medida en m.

K = coeficiente de pérdidas de carga singulares (adimensional)

### 5.2. CÁLCULO VENTILACIÓN E.B.A EN ESTACIÓN BENTABERRI

VENTILACIÓN EMERGENCIA Estación Bentaberri EBA	Sección útil	Perímetro sección	Diámetro hidráulico	Velocidad circulación	Longitud conducto	Coefficiente de pérdidas	Pérdidas de carga
	S (m <sup>2</sup> )	P (m)	Dh (m)	v (m/s)	L (m)	K	Pc (mm c.a.)
Rejillas Bajo Andén	7,99	...	...	2,50	...	0,35	0,13
Cámara bajo andén	11,5	22,5	2,04	3,48	110	...	1,20
Codo 1	...	...	...	1,16	...	0,45	0,04
Conducto a cámara de vent.	8,26	21,4	1,54	4,84	13,06	...	0,37
Codo 2	...	...	...	4,84	...	0,45	0,65
Conducto bajo vía	8,26	21,4	1,54	4,84	14	...	0,39
Codo 3	...	...	...	4,84	...	0,45	0,65
Codo 4	...	...	...	4,84	...	0,45	0,65
Galería Ventilación	36,60	23,25	6,30	1,09	12,64	...	0,00
Camb brusco galería - chimenea	7	9,45	2,96	5,71	...	0,45	0,90
Chimenea	7	9,45	2,96	5,71	27,6	...	0,56
Cámara rotura	21,75	22,4	3,88	1,84	4,85	...	0,01
Rejilla en calle	23,36	19,4	...	1,71	8,3	0,35	0,06
Presión dinámica	23,36	19,4	...	1,71	8,3	...	0,18
							<b>5,78</b>

### 5.3. CÁLCULO VENTILACIÓN E.B.A EN ESTACIÓN CONCHA

VENTILACIÓN EMERGENCIA Estación Concha EBA	Sección útil	Perímetro sección	Diámetro hidráulico	Velocidad circulación	Longitud conducto	Coefficiente de pérdidas	Pérdidas de carga
	S (m <sup>2</sup> )	P (m)	Dh (m)	v (m/s)	L (m)	K	Pc (mm c.a.)
Rejillas Bajo Andén	7,99	...	...	2,50	...	0,35	0,13
Cámara bajo andén	11,5	22,5	2,04	3,48	110	...	1,20
Codo 1	...	...	...	1,16	...	0,45	0,04
Conducto a cámara de vent.	8,26	21,4	1,54	4,84	13,06	...	0,37
Codo 2	...	...	...	4,84	...	0,45	0,65
Conducto bajo vía	8,26	21,4	1,54	4,84	14	...	0,39
Codo 3	...	...	...	4,84	...	0,45	0,65
Codo 4	...	...	...	4,84	...	0,45	0,65
Galería Ventilación 1	36,60	23,25	6,30	1,09	7	...	0,00
Codo 5	...	...	...	4,84	...	0,45	0,65
Galería Ventilación 2	23,60	18,7	5,05	1,69	16,5	...	0,02
Camb brusco galería - chimenea	7	9,45	2,96	5,71	...	0,45	0,90
Chimenea	7	9,45	2,96	5,71	32,9	...	0,67
Cámara rotura	15	16	3,75	2,67	6	...	0,02
Rejilla en calle	13,68	16,84	...	2,92	8,3	0,35	0,18
Presión dinámica	13,68	16,84	...	2,92	8,3	...	0,51
							<b>7,03</b>

### 5.4. CÁLCULO VENTILACIÓN E.B.A EN ESTACIÓN EASO

VENTILACIÓN EMERGENCIA Estación Easo EBA	Sección útil	Perímetro sección	Diámetro hidráulico	Velocidad circulación	Longitud conducto	Coefficiente de pérdidas	Pérdidas de carga
	S (m <sup>2</sup> )	P (m)	Dh (m)	v (m/s)	L (m)	K	Pc (mm c.a.)
Rejillas Bajo Andén	7,99	...	...	2,50	...	0,35	0,13
Cámara bajo andén	11,5	22,5	2,04	3,48	110	...	1,20
Codo 1	...	...	...	1,16	...	0,45	0,04
Conducto a cámara de vent.	8,26	21,4	1,54	4,84	13,06	...	0,37
Codo 2	...	...	...	4,84	...	0,45	0,65
Conducto bajo vía	8,26	21,4	1,54	4,84	14	...	0,39
Codo 3	...	...	...	4,84	...	0,45	0,65
Codo 4	...	...	...	4,84	...	0,45	0,65
Galería Ventilación 1	36,60	23,25	6,30	1,09	7	...	0,00
Codo 5	...	...	...	4,84	...	0,45	0,65
Galería Ventilación 2	23,60	18,7	5,05	1,69	6,7	...	0,01
Camb brusco galería - chimenea	7	9,45	2,96	5,71	...	0,45	0,90
Chimenea	7	9,45	2,96	5,71	13	...	0,26
Cámara rotura	15	16	3,75	2,67	6	...	0,02
Rejilla en calle	15,50	17,7	...	2,58	8,3	0,35	0,14
Presión dinámica	15,50	17,7	...	2,58	8,3	...	0,40

**6,46**

## 6. VENTILACIÓN EN CUARTOS TÉCNICOS

### 6.1. VENTILACIÓN EN CUARTOS TÉCNICOS DE ESTACIONES

Se considerará que el calor total absorbido en cada cuarto técnico (en kW) es:

- Centro de transformación 10 kW
- Cuarto de Comunicaciones y Señalización 5 kW
- Cuarto de baja tensión (CGBT + CA-1) 5 kW
- Cuarto de baja tensión (CA-2) 3 kW
- Sala de máquinas de ascensores y seccionamiento 2 kW
- Resto de cuartos técnicos 1 kW

y el aumento de temperatura tolerado del 10 °C en los centros de transformación y cuarto de comunicaciones y señalización y 5 °C en el resto, el caudal de aire necesario para disipar ese calor será:

$$\text{Caudal de aire (m}^3\text{/s)} = \frac{\text{Calor absorbido (kW)}}{\Delta^{\circ}\text{C} \times 1,2 \text{ kg/m}^3}$$

CUARTOS	CALOR TOTAL (kW)	AUMENTO DE TEMPERATURA TOLERADO (°C)	CAUDAL AIRE (m³/s)	CAUDAL AIRE (m³/h)
Centro de transformación	10	10	0,83	3000
Cuarto principal de Comunicaciones y Señalización	10	10	0,83	3000
Cuarto auxiliar de Comunicaciones y Señalización	5	10	0,42	1500
Cuarto de Baja Tensión (CGBT + CA-1)	5	5	0,50	3000
Cuarto de Baja Tensión (CA-2)	3	5	0,50	1800
Aseos y Vestuarios	1	5	0,17	600

Los ventiladores utilizados en los cuartos técnicos serán de tipo centrífugo de baja presión para conductos rectangulares. En el centro de transformación, así como en los cuartos de Baja Tensión la ventilación conseguirá un caudal de renovación de 3400 m<sup>3</sup>/h de caudal con una presión de 20 mm.c.a.

Cada uno de los cinco bloques de cuartos técnicos de cada una de las estaciones dispondrá de un sistema de ventilación común para todos los cuartos técnicos, de tal manera que se extraiga aire por la parte superior y se impulse en el bajo andén mediante los ventiladores seleccionados.

En el caso del cuarto de comunicaciones y señalización, se instalará un equipo de aire acondicionado con bomba de calor, de manera que mantenga una atmósfera limpia y una temperatura adecuada para los equipos electrónicos aquí ubicados. En subcapítulo se hace referencia a sus características.

De forma similar, en el cuarto general de baja tensión, donde está instalada la SAI de baja tensión de la instalación eléctrica, se instalará un equipo de aire acondicionado de las mismas características que el instalado en el cuarto de comunicaciones y señalización.

Finalmente, en todos aquellos aseos y vestuarios que no tengan comunicación directa con el cuarto del Jefe de estación (Euskotren) se instalará un sistema de aire acondicionado de las mismas características que el instalado en el cuarto auxiliar de comunicaciones y señalización, salvo que la dirección facultativa considere realizar un cálculo más preciso para la definición más exacta del sistema de aire acondicionado.

En el resto de los cuartos se instalarán ventiladores de 2000 m<sup>3</sup>/h de caudal con una presión de 20 mm.c.a., a excepción de los aseos y vestuarios en los que se instalarán ventiladores extraplanos de 95 m<sup>3</sup>/h de caudal máximo.

## 6.2. SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN EN CUARTOS TÉCNICOS

A continuación, se presentan los cálculos y dimensionado del equipamiento de aire acondicionado que se debe instalar en determinados cuartos técnicos.

Además de la potencia necesaria, el Contratista deberá considerar la distancia máxima permitida por el fabricante y modelo entre la unidad interior y la exterior de cara a la ubicación de las mismas, lo que puede llevar a instalar equipos de mayor potencia de la realmente necesaria.

En el presente anejo se muestran las características de potencia necesarias sin tener en cuenta la distancia máxima de instalación entre la evaporadora y condensadora.

El equipamiento propuesto, tanto en pliego como en presupuesto, es capaz de tener instaladas la evaporadora y condensadora a una distancia máxima de 50 m en horizontal y 25 en vertical, pero con una potencia frigorífica/calorífica superior a los cálculos mostrados aquí.

Las ubicaciones que requieren de equipos de climatización son:

Ubicaciones con Climatización
Cuarto General de Baja Tensión
Cuarto de Señalización y Comunicaciones
Cuarto Aux. de Señalización y Comunicaciones
Cuarto Jefe de Estación
Cuarto Técnico de Red
Cuarto de Operadores
Aseo (estación Concha)
Vestuarios (estación Easo -antes ctos. disponibles-)

La climatización de los estos cuartos técnicos se realizará por medio de unidades de refrigeración autónomas partidas para suministrar sólo frío, de condensación por aire, de tipo industrial, y preparadas para colgar del techo.

El funcionamiento de las unidades de refrigeración estará comandado por un termostato electrónico regulable que se ubicará en el mismo Cuarto Técnico, según se indica en los planos del Proyecto.

Las unidades de refrigeración se compondrán principalmente de dos módulos:

- Unidad interior de conductos con filtro en aspiración (evaporador).
- Unidad exterior sólo frío, tipo split, condensada por aire (condensador).

Asimismo, la unidad interior y exterior estarán conectadas por medio de tuberías de cobre frigorífico aisladas con coquilla de armaflex a través del bajo andén y los líquidos condensados se conectarán con la red de saneamiento a través de tubería de PVC.

Las dimensiones de las tuberías de cobre serán:

- Líquido: 9,5 mm de diámetro.
- Gas: 15,9 mm de diámetro.

La envolvente que los contenga estará compuesta por chapa de acero con un acabado lacado o similar, y con aislamiento interno térmico y acústico.

El evaporador dispondrá de ventilador tangencial y el condensador dispondrá de ventiladores axiales. Las entradas a los ventiladores estarán previstas para permitir la adaptación de conductos que canalicen el aire.

El sistema de climatización se completará con la correspondiente red de conductos de aire (impulsión, toma y retorno) fabricados en chapa de acero galvanizado, las embocaduras a los difusores y las rejillas, todo ello según se muestra en los Planos del Proyecto.

La unidad interna de refrigeración se colgará del techo de forma completamente horizontal mediante perfilera metálica. Se dispondrán los elementos antivibratorios necesarios para evitar que el sistema genere ruido. La unidad exterior se instalará apoyada sobre el suelo en los nichos de emergencia que se encuentren más cercanos de cada estación.

Por otro lado, el sistema se instalará de forma que se impida completamente el goteo de agua sobre los bastidores y equipos instalados en el Cuarto Técnico. La tubería de evacuación de condensados se llevará hasta el sistema de conductos de drenaje del bajo andén, con una pendiente que nunca será inferior al 2%.

### CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

La unidad enfriadora estará compuesta por los siguientes elementos:

- Evaporador y condensador: estarán unidas por tubos de cobre de alta calidad dispuestos al tresbolillo, con aletas corrugadas de aluminio para aumentar la superficie de intercambio. Estas baterías se probarán a la presión de 30 bares.
- Compresor: Será de tipo scroll, trifásico y alternativo, con amortiguadores internos y con protector térmico de sobreintensidades y temperatura.
- Ventiladores: Serán de tipo tangencial el de la unidad interior y axial el de la unidad exterior. Asimismo, serán silenciosos, equilibrados estática y dinámicamente para evitar vibraciones. Existirá uno en la batería condensadora y otro en la evaporadora. Los motores serán de tipo monofásico.
- Circuito frigorífico: Estará formado por tubo de cobre totalmente hermético y probado contra fugas. El líquido refrigerante será R-410A. El circuito frigorífico dispondrá de presostato de alta – baja y de presostato de mínima para detectar posibles fugas de refrigerante.
- Filtro de aire: deberá permitir su fácil limpieza.
- Cuadro eléctrico de mando y maniobra: Incluirá el seccionador general, los contactores e interruptores magnetotérmicos del compresor y de los

ventiladores, y el módulo electrónico de control. Toda esta aparatamenta se situará en un cuadro ubicado en el interior de la envolvente del equipo.

- Termostato electrónico regulable, que funcionará por temperatura ambiente y se ubicará en la pared del Cuarto Técnico, según se indica en los Planos del Proyecto. Este termostato se conectará con el módulo electrónico de control del equipo. El sistema estará preparado para gestión centralizada externa.

### 6.2.1. Climatización en cuartos de comunicaciones y señalización

La capacidad frigorífica del sistema para el Cuarto principal de Comunicaciones y Señalización será de 12,2 kW mínimo. Dicha capacidad se ha calculado en base a las pérdidas caloríficas previstas (10 kW) para los equipos a colocar en el Cuarto Técnico. Este predimensionado del sistema se deberá verificar durante el Proyecto Constructivo a realizar por el Contratista, una vez conocidas las pérdidas caloríficas reales de los equipos que realmente se ubiquen en el Cuarto Técnico.

Asimismo, si la implantación de equipos varía sustancialmente, deberá readaptarse la distribución de los conductos de aire a la nueva situación.

Las características eléctricas principales serán:

#### Cuarto principal de comunicaciones y señalización:

- Tensión de alimentación: 380 V
- Frecuencia nominal: 50 Hz
- Capacidad de refrigeración: 12,2 kW o mayor
- Consumo: 4,510 kW o mayor

#### Cuarto auxiliar de comunicaciones y señalización:

- Tensión de alimentación: 380 V
- Frecuencia nominal: 50 Hz
- Capacidad de refrigeración: 3,5 kW o mayor
- Consumo: 1,320 kW o mayor

El sistema de aire acondicionado de estos cuartos se alimentará desde la barra de servicio de emergencia (en los cuartos de comunicaciones y señalización no se

plantea cuadro con embarrado normal; solo habrá emergencia y SAI) del Cuadro de Baja Tensión de cada cuarto de comunicaciones y señalización, mediante el cableado descrito en los Planos del Proyecto. Si al realizar el Contratista el Proyecto Constructivo la capacidad frigorífica necesaria fuera mayor, el Contratista deberá modificar el interruptor del Cuadro de Comunicaciones y Señalización de acometida al sistema para adaptarlo a las condiciones reales.

### 6.2.2. Climatización en cuarto general de baja tensión

El cuarto General de Baja Tensión estará equipado con un sistema de aire acondicionado de las mismas características que el del cuarto de señalización y comunicaciones, con el fin de mantener una temperatura óptima para el sistema de SAI de baja tensión de la instalación eléctrica.

#### Cuarto General de Baja Tensión:

- Tensión de alimentación: 380 V
- Frecuencia nominal: 50 Hz
- Capacidad de refrigeración: 12,2 kW o mayor
- Consumo: 4,510 kW o mayor

### 6.2.3. Climatización en cuarto jefe de estación (euskotren)

El cuarto del Jefe de Estación (Euskotren) estará equipado con un sistema de aire acondicionado de las mismas características que el del cuarto de señalización y comunicaciones:

#### Cuarto Jefe de Estación (Euskotren):

- Tensión de alimentación: 380 V
- Frecuencia nominal: 50 Hz
- Capacidad de refrigeración: 3,5 kW o mayor
- Consumo: 1,320 kW o mayor

### 6.2.4. Climatización en aseos y vestuarios

En aquellos vestuarios y/o aseos que no se accedan desde el cuarto del jefe de estación se instalarán sistemas de aire acondicionado de las mismas características que el cuarto auxiliar de comunicaciones y señalización:

Aseos y vestuarios:

- Tensión de alimentación: 380 V
- Frecuencia nominal: 50 Hz
- Capacidad de refrigeración: 3,5 kW o mayor
- Consumo: 1,320 kW o mayor

6.2.5. Climatización en cuarto operadores

El cuarto operadores estará equipado con un sistema de aire acondicionado de las mismas características que el del cuarto auxiliar de señalización y comunicaciones:

Cuarto operadores:

- Tensión de alimentación: 380 V
- Frecuencia nominal: 50 Hz
- Capacidad de refrigeración: 3,5 kW o mayor
- Consumo: 1,320 kW o mayor

6.3. VENTILACIÓN EN CUARTOS TÉCNICOS DE SALIDAS DE EMERGENCIA

Se considerará que el calor total absorbido en cada cuarto técnico (en kW) es:

- Centro de transformación 10 kW
- Cuarto de baja tensión 3 kW

y el aumento de temperatura tolerado del 10° C en los centros de transformación y cuarto de corrientes débiles y 5° C en el resto, el caudal de aire necesario para disipar ese calor será:

$$\text{Caudal de aire (m}^3\text{/s)} = \frac{\text{Calor absorbido (kW)}}{\Delta^{\circ}\text{C} \times 1,2 \text{ kg/m}^3}$$

CUARTOS	CALOR TOTAL (kW)	AUMENTO DE TEMPERATURA TOLERADO (°C)	CAUDAL AIRE (m³/s)	CAUDAL AIRE (m³/h)
---------	------------------	--------------------------------------	--------------------	--------------------

Centro de transformación	10	10	0,83	3000
Cuarto de Baja Tensión	3	5	0,50	1800

Los ventiladores utilizados en los cuartos técnicos serán de tipo centrífugo de baja presión para conductos rectangulares. En los centros de transformación, así como en los cuartos de CA-2, limpieza, disponible y filtros biológicos se instalarán ventiladores de 3400 m<sup>3</sup>/h de caudal con una presión de 20 mm.c.a.

Para el resto de los cuartos, incluyendo el CGBT y a excepción de los pozos de bombeo y aseos, se instalarán equipos de aire acondicionado independientes por cada cuarto. Para el dimensionamiento de los mismos, a parte del calor a evacuar se deberá contemplar que al menos se necesitan unos 50 metros de distancia entre las unidades evaporadora (en cuarto técnico) y condensadora (en galería de ventilación o hueco en túnel con gálibo suficiente), por lo que se ha ido a un estándar de un tipo de sistema de climatización en estos cuartos. Ver planos.

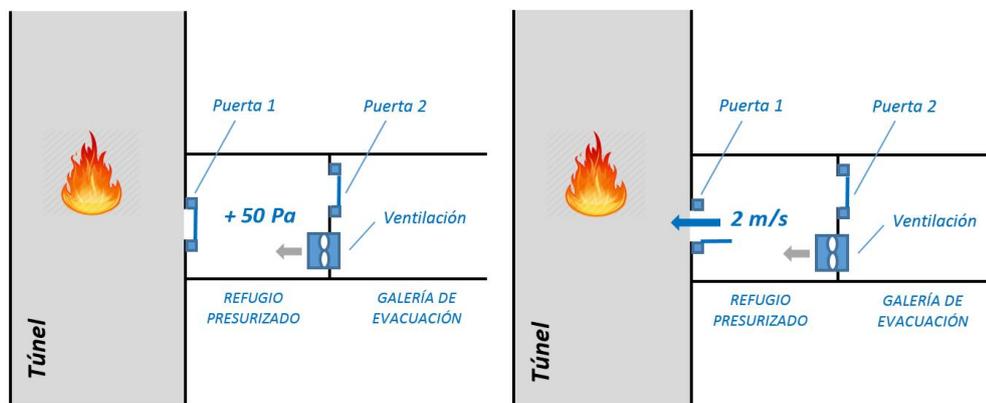
## 7. CÁLCULOS DE PRESURIZACIÓN EN SALIDAS DE EMERGENCIA DE PÍO BAROJA Y ZARAUTZ

### 7.1. INTRODUCCIÓN

Está prevista la disposición de dos galerías de emergencia, denominadas Pío Baroja y Avenida Zarautz, para permitir la evacuación de personas hacia el exterior desde el túnel principal. Con objeto de prevenir la entrada de humo en la misma en caso de incendio, estas galerías contarán con un refugio presurizado e independiente en el entronque de la misma con el tubo principal que ejerza de barrera de humos entre galerías de evacuación y túnel de explotación de metro.

Las condiciones de ventilación de estos refugios durante una situación de emergencia por incendio las determina la norma UNE EN 12101-6-2006 sobre "Sistemas para el control de humo y de calor. Parte 6: Especificaciones para los sistemas de diferencial de presión. Equipos.". Así, el sistema de ventilación instalado en esta sala (llamado sistema de ventilación auxiliar) debe sobrepresionar la sala mientras las puertas de acceso al túnel permanezcan cerradas. Asimismo, cuando estas puertas se abren para la evacuación de personas, el sistema debe inducir una corriente de aire a través de la puerta de acceso al túnel que sea suficiente para evitar que se produzca la entrada de humos en la galería.

Por otra parte, la ventilación ha de ser capaz de realizar la renovación de aire de refugio y galerías durante la situación de operación normal del túnel.



### 7.2. CRITERIOS DE DISEÑO Y CONSIDERACIONES A TENER EN CUENTA

Como ya se ha comentado, el cometido de la ventilación en un túnel ferroviario es doble: garantizar unas adecuadas condiciones de salubridad del aire durante el uso normal del túnel y, por otro lado, permitir el control y extracción de los humos en situaciones de emergencia que involucren un incendio, favoreciendo la evacuación y la actuación de los servicios de emergencia. En base a estos objetivos, se definen los criterios de diseño que a continuación se describen.

- La ventilación para mantener las condiciones de salubridad no debe estar en contraposición con un escenario de emergencia en cuanto a dejar huecos, a parte de la propia puerta de emergencia por donde pueda entrar el humo o le fuego.
- La cercanía de una ventilación de emergencia VE a la entrada del recinto presurizado desde el túnel ferroviario, formada por dos ventiladores muy potentes de 132 kW cada uno, provocará presiones diferentes de la atmosférica a la entrada a dicho recinto. Esta presión podrá variar por encima y debajo de la atmosférica en función de si dicha VE está impulsando o extrayendo aire del túnel ferroviario, así como el sentido en el que esté fluyendo el aire (hacia una de las estaciones colindantes o la otra).
- Lograr una funcionalidad de sobrepresión en el momento de emergencia de incendio que otorgue 50 Pa de sobrepresión en el recinto presurizado, con respecto a la presión que exista en el túnel ferroviario al otro lado del tabique de separación.
- Lograr una función de caudal de aire una vez se abra la puerta que separa el recinto presurizado del túnel ferroviario que otorgue una velocidad de paso de aire de 2 m/s por dicha puerta.
- La función del sistema de ventilación que otorga una velocidad de aire de 2 m/s, y que se activará cuando se abra la puerta de emergencia que da acceso al recinto presurizado desde el túnel ferroviario, deberá apagarse inmediatamente después de que dicha puerta se cierre.
- Estos requerimientos de presurización y velocidad a través de la puerta de evacuación han sido determinados en base a lo establecido por la norma UNE EN 12101-6-2006 sobre "Sistemas para el control de humo y de calor. Parte 6: Especificaciones para los sistemas de diferencial de presión. Equipos."
- Para minimizar los fenómenos de recirculación a través de la segunda puerta de acceso a la galería de evacuación, se definirá la instalación de un conducto de sección cuadrada de chapa y 2 metros de longitud acoplado a la salida del sistema de ventilación.
- En cualquiera de las puertas de emergencia, no tener una diferencia de presión entre ambas caras de la misma que impidan su apertura. La fuerza máxima a ejercer para la apertura de una puerta de emergencia no debiera ser superior a 65 N (unos 6,63 Kg fuerza), según CTE – SUA 3 "Seguridad frente al riesgo de aprisionamiento en recintos".

### 7.3. BASE DE PARTIDA DEL DISEÑO

Está prevista la disposición de una galería de emergencia para permitir la evacuación de personas hacia el exterior desde el túnel principal. Con objeto de prevenir la entrada de humo en las mismas en caso de incendio, esta galería ha de

contar con un refugio presurizado e independiente en el entronque de la misma con el tubo principal que ejerza de barrera de humos entre galerías y túnel (ver planos de ventilación del Proyecto).

En cada uno de los dos límites de cerramiento de este vestíbulo se dispone de una puerta doble de 1 + 1 m x 2,3 m con barras anti pánico para permitir el paso a través del vestíbulo hacia la galería que conecta con el exterior.

Asimismo, en la pared que separa el refugio del túnel está prevista la instalación de una rejilla de 50 x 50 cm para la realización de renovaciones de aire de las galerías durante situación de servicio. Para ello, se activará el sistema de ventilación por orden del control del túnel.

Además, esta rejilla de 50 x 50 cm dispondrá de una compuerta cortafuegos con actuador eléctrico de apertura y cierre que impedirá la entrada de humos a través de la misma en caso de incendio, y que se cerrará por orden del control cuando el incendio sea detectado.

La siguiente tabla resume el funcionamiento del sistema de ventilación.

	<b>Compuerta cortafuegos</b>	<b>Ventilación en presurización</b>	<b>Ventilación en apoyo 2 m/s</b>
<b>SITUACIÓN DE SERVICIO (operación normal)</b>	Abierta	Apagado	Apagado
<b>SITUACIÓN DE SERVICIO (renovación de aire en galerías)</b>	Abierta	Apagado	Encendido
<b>SITUACIÓN DE EMERGENCIA (puertas de emergencia cerradas)</b>	Cerrada	Encendido	Apagado
<b>SITUACIÓN DE EMERGENCIA (puerta de emergencia abierta)</b>	Cerrada	Encendido	Encendido

*Tabla nº 1. Resumen de estado de los elementos de la ventilación auxiliar.*

#### 7.4. FUNDAMENTOS DEL CÁLCULO

Para calcular el punto de trabajo a conseguir por el sistema de ventilación, inicialmente es necesario calcular las pérdidas de carga sufridas por el aire en su trayecto desde la entrada de aire hasta su descarga. Para ello, se ha realizado un cálculo unidimensional basado tanto en fundamentos teóricos como en datos suministrados por los fabricantes de los diferentes elementos de la instalación.

Además, se calcula la presión máxima y mínima que existiría a la altura del recinto presurizado, pero en el túnel ferroviario considerando las situaciones más extremas de los ventiladores de la ventilación de emergencia (2 x 132 kW).

## 7.5. DESARROLLO DE LOS CÁLCULOS DE VENTILACIÓN

El objetivo de estos cálculos es hallar el punto de trabajo (caudal y presión) más desfavorable que debe alcanzar el sistema de ventilación, que corresponde con las condiciones marcadas por la norma UNE EN 12101-6 para presurización durante incendio.

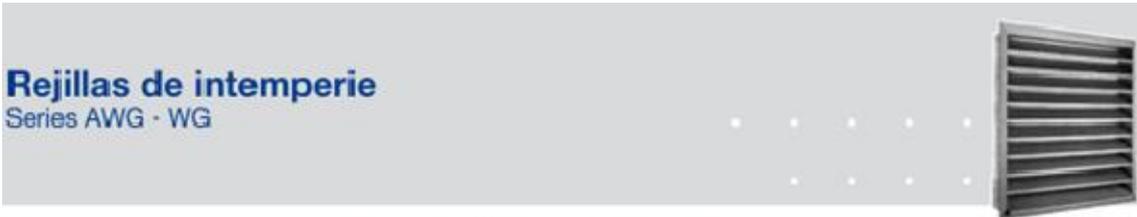
Como se ha comentado, esta norma distingue entre dos escenarios diferentes en caso de emergencia:

1. Puerta de refugio cerrada: diferencia de presión entre vestíbulo y túnel de 50 Pa.
2. Puerta de vestíbulo abierta: velocidad de paso de aire a través del acceso 2 m/s.

Se ha calculado el escenario de la Salida de Emergencia de Pío Baroja, dado que la solución adoptada en la Salida de Emergencia de la Avenida Zarautz es similar.

### Puerta cerrada. Sobrepresión de 50Pa.

Para determinar el valor de presión total que ha de generar el ventilador de sobrepresión, se realiza un cálculo de pérdidas desde la rejilla de entrada al inicio de la galería de evacuación hasta la descarga de aire en la rejilla de tarado, que precisa una velocidad de paso por la misma de 3 m/s para que su pérdida de carga sea 52 Pa. Ver la siguiente tabla de fabricante.



Datos			V aire: 2 m/s Δp: 23 Pa		V aire: 2,5 m/s Δp: 36 Pa		V aire: 3 m/s Δp: 52 Pa		V aire: 4 m/s Δp: 92 Pa		V aire: 5 m/s Δp: 143 Pa	
Base en mm	Altura en mm	Área en cm <sup>2</sup>	Q (m <sup>3</sup> /h)	dB(A)	Q (m <sup>3</sup> /h)	dB(A)	Q (m <sup>3</sup> /h)	dB(A)	Q (m <sup>3</sup> /h)	dB(A)	Q (m <sup>3</sup> /h)	dB(A)
400	330	980	706	34	882	40	1.058	46	1.411	54	1.764	60

Tabla nº 2. Captura de catálogo donde se marca la rejilla seleccionada.

Así, dado que se ha seleccionado una rejilla de 400 mm x 330 mm = 0.098 m<sup>2</sup> de área de paso (ver planos), se calcula que el caudal que debe pasar por esa rejilla, y por tanto por el circuito completo es 1411 m<sup>3</sup>/h (0,392 m<sup>3</sup>/s). De esta forma se asegura un mínimo diferencial de presión a ambos lados de la misma de 52 Pa. Dado el caudal de aire tan pequeño a establecer para disponer de una pérdida de carga de al menos 50 Pa entre ambos lados de la rejilla de impulsión, se considera que la pérdida de carga en el resto del tramo por el que circula el aire es despreciable.

El análisis previo, considera una presión en túnel ferroviario igual a la atmosférica, sin embargo, como se ha citado en uno de los puntos de los requisitos, en caso de funcionamiento de la VE de la Salida de Emergencia (los ventiladores de emergencia 2 x 132 kW), puede darse una presión en el túnel ferroviario a la altura del recinto presurizado distinta a la atmosférica.

En el apartado 1.4 de este anejo, puede verse el caso más extremo en cuanto a presión máxima que podría alcanzarse en el entorno de la VE de la SE de Pío Baroja. A continuación, se muestra la tabla de dicho apartado y se recuadra en rojo la presión máxima en el entorno de la VE dentro del túnel ferroviario.

VENTILACIÓN EMERGENCIA Salida de Emergencia Pío Baroja	Sección útil	Perímetro sección	Diámetro hidráulico	Velocidad circulación	Longitud conducto	Coefficiente de pérdidas	Pérdidas de carga
	S (m2)	P (m)	Dh (m)	v (m/s)	L (m)	K	Pc (mm c.a.)
Túnel vía	42,90	25,77	6,66	4,20	894	...	4,35
Entronque tunel-galería	36,60	23,25	6,30	4,92	...	0,7	1,04
Galería Ventilación 1	36,60	23,25	6,30	4,92	18	...	0,13
Codo	...	...	...	1,16	...	0,45	0,04
Galería Ventilación 2	12,60	14,7	3,43	14,29	459	...	50,33
Camb brusco galería - chimenea	33,7	23,30	5,79	5,34	...	0,45	0,79
Chimenea	33,7	23,30	5,79	5,34	9,4	...	0,09
Cámara rotura	32,6	15,5	8,41	5,52	8,80	...	0,06
Rejilla en calle	36,95	24,52	...	4,87	...	0,35	0,51
Presión Dinámica	36,95	24,52	...	4,87	...	...	1,43
							<b>58,76</b>

Tabla nº 3. Cálculos pérdida de carga en la SE de Pío Baroja

Por tanto, la presión máxima esperada es con respecto a la atmosférica de  $4,35 + 1,04 = 5,39$  mm.c.a. = 52,82 Pa. Por ser conservador, se redondea a una diferencia de presión con respecto a la atmosférica de 55 Pa, ya sea en sentido positivo (sumando a la atmosférica) como negativo (restando a la atmosférica). Esta consideración responde a si los ventiladores de emergencia (2x132 kW) están funcionando en impulsión o extracción de aire, así como el sentido en el que fluya el aire (hacia Bentaberri o hacia Concha). La presión atmosférica se establece en 101325 Pa.

Los escenarios que se plantean son los siguientes:

Escenario	Presión en túnel ferroviario	Presión en recinto presurizado	Presión en galería de evacuación
VE parada	101325 Pa	$101325 + 50 = 101375$ Pa	101325 Pa
VE activada al 100% impulsando aire	$101325 + 55 = 101380$ Pa	$101380 + 50 = 101430$ Pa	101325 Pa

hacia Bentaberri			
VE activada al 100% extrayendo aire desde Bentaberri	$101325 - 55 = 101270 \text{ Pa}$	$101270 + 50 = 101320 \text{ Pa}$	101325 Pa

Tabla nº 4. Escenarios de ventilación de emergencia y presiones a lograr en recinto presurizado.

Los escenarios correspondientes al tramo entre la SE de Pío Baroja y Concha no se analizan por resultar en ellos un diferencial de presión menor que en los escenarios analizados entre dicha SE y la VE-02 de la estación de Bentaberri.

Con todo esto, se concluye que el sistema de ventilación de cara a lograr una sobrepresión de 50 Pa en el recinto presurizado con respecto al túnel ferroviario, deberá tener la capacidad de regular dicha presión, por lo que se ha de plantear un ventilador con variador que permita la variación de revoluciones del ventilador.

Dicho ventilador en esta función deberá ser capaz de regular entre las siguientes presiones:

Escenario	Presión en recinto presurizado	Presión en galería de evacuación	Diferencial presión a aportar por ventilador
VE parada	$101325 + 50 = 101375 \text{ Pa}$	101325 Pa	+ 50 Pa
VE activada al 100% impulsando aire hacia Bentaberri	$101380 + 50 = 101430 \text{ Pa}$	101325 Pa	+ 105 Pa
VE activada al 100% extrayendo aire desde Bentaberri	$101270 + 50 = 101320 \text{ Pa}$	101325 Pa	- 5 Pa

Tabla nº 5. Presiones a regular por el ventilador de cara a conseguir 50 Pa de sobrepresión en el recinto presurizado.

Por tanto, los caudales a aportar por el ventilador, considerando la rejilla definida en la tabla nº 2, serían los siguientes (se consideran fugas de aire, por lo que se aumenta el caudal un 15%):

<b>Escenario</b>	<b>Diferencial por presión a aportar por sistema de ventilación</b>	<b>Caudal a aportar por la ventilación a través de la rejilla de 400 x 330 mm.</b>
VE parada	+ 50 Pa	1040 x 1,15 = 1196 m <sup>3</sup> /h
VE activada al 100% impulsando aire hacia Bentaberri	+ 105 Pa	1507 x 1,15 = 1734 m <sup>3</sup> /h
VE activada al 100% extrayendo aire desde Bentaberri	- 5 Pa	-330 x 1,15 = - 380 m <sup>3</sup> /h

*Tabla nº 6. Presiones y caudales a regular por el ventilador de cara a conseguir 50 Pa de sobrepresión en el recinto presurizado.*

Puerta abierta. Flujo de aire igual a 2m/s a través de la entrada.

De manera análoga al cálculo de la presurización, en este caso se realiza un cálculo de pérdidas desde la rejilla de entrada al inicio de la galería de evacuación hasta la descarga de aire en el túnel a través de la puerta del refugio. Como ya se ha comentado, este sistema ha de generar una corriente de 2 m/s a través de la puerta. Considerando que el área de paso de la misma es 2.8 m<sup>2</sup> (2 m x 2,3 m), se calcula que el caudal que debe pasar por la puerta es 9,2 m<sup>3</sup>/s. Consecuentemente, las pérdidas de carga totales a vencer en el circuito son 4,20 m.c.a (= 41.16 Pa). A continuación, se presenta una captura de este cálculo:

**ESTUDIO DE PERDIDA DE CARGA EN CONDUCTOS DE VENTILACIÓN 2 m/s**

**Ventilación de Emergencia SALIDA DE EMERGENCIA PÍO BAROJA**

<b>Diametro hidraulico</b>	$D_h = 4 \times S / P$
<b>Velocidad de circulación</b>	$v = Q / S \quad Q_{vent} = 5,6 \text{ m}^3/\text{s} \quad Q_{(total)} = 5,6 \text{ m}^3/\text{s}$
<b>Numero de Reynolds</b>	$Re = v \times D_h \times \rho / \mu \quad \rho = 1,2047 \text{ kg/m}^3 \quad \mu = 1,8 \times 10^{-5}$
<b>Coefficiente de fricción</b>	$f = 1 / (1,8 \times \log Re - 1,64)^2 \quad f = f(Re) \quad f(\text{mínimo}) = 0,03$
<b>Pérdida de carga en tramos rectos</b>	$P_c = (1/2) \times \rho \times v^2 \times f \times (L / D_h) \times (1/9,81)$
<b>Pérdidas de carga singulares</b>	$P_{dy} = (1/2) \times \rho \times v^2 \times K \times (1/9,81)$
<b>Presión dinámica en la salida</b>	$P_{ds} = (1/2) \times \rho \times v^2 \times (1/10)$

VENTILACIÓN 2 m/s - Salida de Emergencia Pío Baroja	Sección útil	Perímetro sección	Diámetro hidráulico	Velocidad circulación	Longitud conducto	Coefficiente de pérdidas	Pérdidas de carga
	S (m <sup>2</sup> )	P (m)	D <sub>h</sub> (m)	v (m/s)	L (m)	K	P <sub>c</sub> (mm c.a.)
Túnel vía	42,90	25,77	6,66	0,21	894	...	0,01
Entronque tunel-galería	36,60	23,25	6,30	0,25	...	0,7	0,00
Puerta 1,4 x 2 m	2,80	6,8	...	3,29	...	0,35	0,46
Galería Evacuación 1	13,15	15	3,51	0,70	15	...	0,00
Codo	...	...	...	1,16	...	0,45	0,04
Galería Evacuación 2	14,20	14,5	3,92	0,65	15	...	0,00
Rejilla ventilador	1,00	4	...	9,20	...	0,35	1,82
Calderería ventilador	1,00	4	1,00	9,20	2	...	0,00
Codo	...	...	...	1,16	...	0,45	0,04
Galería Evacuación 3	14,20	14,5	3,92	0,65	450	...	0,09
Rejilla en calle	2,00	6	...	4,60	...	0,35	0,45
Presión Dinámica	2,00	6	...	4,60	...	...	1,27
							<b>4,20</b>

Al igual que en el cálculo anterior que garantizaba la sobrepresión de 50 Pa, en este caso también van a existir varios escenarios en función de la presión que exista en el túnel ferroviario y que va a depender de la activación y sentido de flujo del aire que mueven los ventiladores de emergencia (2 x 132 kW).

En la siguiente tabla se resumen los escenarios que dan una idea de la regulación que ha de disponer el sistema de ventilación. Con objeto de obtener un margen de seguridad ante posibles fugas de caudal, se aplica un aumento del 15% al valor de caudal obtenido, por lo que el punto de trabajo del ventilador de apoyo queda:

Escenario	Diferencial presión a aportar por la ventilación	Caudal a aportar por la ventilación a través de la rejilla de 400 x 330 mm.
VE parada	+ 50 Pa	33120 x 1,15 = 38088 m <sup>3</sup> /h
VE activada al 100% impulsando aire hacia	+ 105 Pa	33120 x 1,15 = 38088 m <sup>3</sup> /h

Bentaberri		
VE activada al 100% extrayendo aire desde Bentaberri	- 5 Pa	33120 x 1,15 = 38088 m <sup>3</sup> /h

*Tabla nº 8. Presiones y caudales a regular por el ventilador de cara a conseguir 2 m/s a través de la primera puerta de emergencia.*

## 7.6. SELECCIÓN DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN

Las características de ventilación que ha de cubrir el sistema de ventilación se definen en las tablas:

- Tabla nº 6, donde se especifican los requisitos del sistema de ventilación para conseguir el diferencial de 50 Pa extras en relación a la presión en el túnel ferroviario.
- Tabla nº 8, donde se especifican los requisitos del sistema de ventilación para conseguir una velocidad de 2 m/s a través de la puerta de emergencia que da entrada al recinto presurizado desde el túnel ferroviario.

Para conseguir la regulación de ambos escenarios de ventilación hará falta variador y presostato independiente para cada uno de los escenarios. Un presostato monitorizará la diferencia de presión entre el túnel ferroviario y el recinto presurizado y otro el diferencial de presión entre dicho recinto presurizado y la galería de evacuación.

En base a fabricante (SODECA) no se consigue un único ventilador capaz de regular caudal y presión de manera que pueda atender a los datos de las dos tablas citadas, por lo que se considera un ventilador para cubrir las necesidades de sobrepresión (50 Pa) y otro para la velocidad.

Se considera, por tanto, los siguientes ventiladores como los que se proponen a continuación o de propiedades similares:

Ventilador de sobrepresión 50 Pa (según requisitos de Tabla nº 6):



INFORME TÉCNICO DE DATOS  
27/10/2017

## HC-31-2T/H



### Ventiladores helicoidales murales, con motor IP55

Ventiladores helicoidales murales, con hélice de plástico reforzado en fibra de vidrio

#### Ventilador:

- Marco soporte en chapa de acero
- Hélice en poliamida 6 reforzada con fibra de vidrio
- Rejilla de protección contra contactos según norma UNE-EN ISO 13409
- Modelos 71, 80, 90 y 100, la rejilla de protección se suministra como accesorio
- Dirección aire motor-hélice

#### Motor:

- Motores de eficiencia IE3 para potencias iguales o superiores a 0,75kW, excepto monofásicos, 2 velocidades y 8 polos
- Motores clase F, con rodamientos a bolas, protección IP55, excepto modelos monofásicos desde el tamaño 45 hasta el tamaño 63, protección IP54, De 1 ó 2 velocidades según modelo
- Monofásicos 230V-50Hz, y trifásicos 230/400V-50Hz (hasta 4kW) y 400/690V 50Hz (potencias superiores a 4kW)
- Temperatura de trabajo: -25°C+ 60°C

#### Acabado:

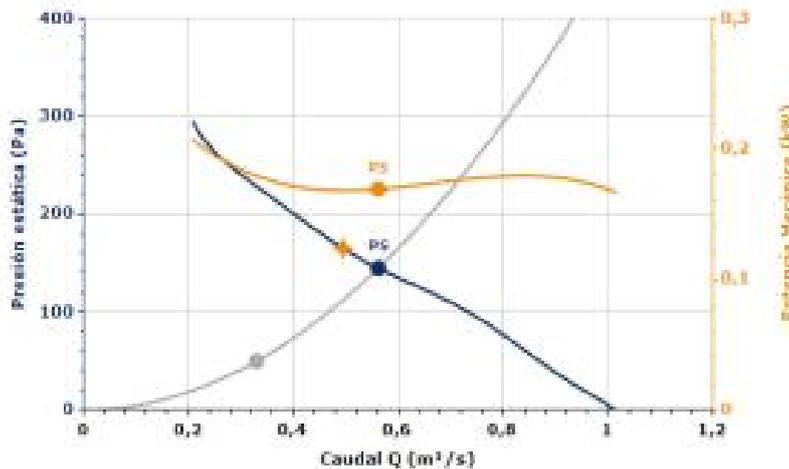
- Anticorrosivo en resina de políster polimerizada a 190 °C, previa desengrasa con tratamiento nanotecnológico libre de fosfatos.

#### Bajo demanda:

- Conjunto motor, hélice y rejilla (versión F)
- Grupo motor hélice, versión G
- Dirección aire hélice-motor.
- Bobinados especiales para diferentes tensiones.



### CURVA CARACTERÍSTICA Y ACÚSTICA PARA 1,2KG/M<sup>3</sup>

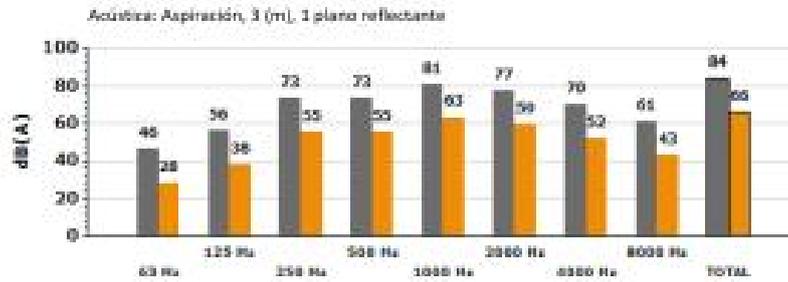


#### Punto Diseño

Q (m <sup>3</sup> /s)	0,33
P <sub>st</sub> (Pa)	50

#### Punto Servicio (PS)

Q (m <sup>3</sup> /s)	0,562
P <sub>st</sub> (Pa)	145,01
P <sub>d</sub> (Pa)	34,61
P <sub>t</sub> (Pa)	170,62
Velocidad (rpm)	2750
Máx. Temp. (°C)	60
Velocidad salida aire (m/s)	7,59
SFP (kW/m <sup>3</sup> /s)	0,46
Potencia Mecánica (kW)	0,17



Banda	Leq dB(A)	Lo dB(A)
63 Hz	46	28
125 Hz	56	38
250 Hz	73	55
500 Hz	73	55
1000 Hz	81	63
2000 Hz	77	59
4000 Hz	70	52
8000 Hz	61	43
TOTAL	84	66

### CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Caudal máximo (m³/s)	1,01
Velocidad (rpm)	2750
Peso aprox. (kg)	6

### ERP

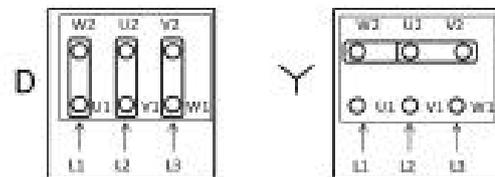
Rendimiento	31,6%
Grado eficiencia N	41,6
Categoría de medición	A
Categoría eficiencia	Estático
Relación específica	1,00
Caudal (m³/h)	1781

Presión (Pa)	165
Potencia eléctrica (kW)	0,259
Velocidad (rpm)	2756
Variador de velocidad	VSD no necesario
Cumplimiento ErP	2015

📌 Datos establecidos en el punto de máxima eficiencia

### DATOS DEL MOTOR

Potencia Mecánica Nominal (kW)	0,18
H <sub>n</sub> /fases	50/3
Motor (rpm)	2750
Polos	2
Corriente máx. (A) 380-415 V Y	0,70
Corriente máx. (A) 220-240 V D	1,21
Protección del motor	IP55
Tamaño del bastidor del motor	56



Los datos pueden cambiar, por favor consulte la placa del motor

Ventilador de velocidad 2 m/s (según requisitos de Tabla nº 8):



INFORME TÉCNICO DE DATOS  
27/10/2017

Propuesta de ventilador para recinto  
presurizado de la SE de Pio Baroja

## HCH/EW-90-4T-7.5/AL-IE3-VSD3-D



**Ventiladores helicoidales murales, equipados con motor asincrónico de alta eficiencia IE3 regulable electrónicamente.**

**Ventilador:**

- Dirección aire motor-hélice.
- Hélices en versión PL en poliamida 6 reforzada con fibra de vidrio y versión AL en fundición de aluminio.
- Anillo soporte mural en chapa de acero con una sola brida.

**Motor:**

- Nuevos motores AC asíncronos de alta eficiencia (IE3).
- Equipados con rodamientos a bolas de larga duración, Protección IP55.
- Trifásicos 230/400 V 50 Hz. (hasta 4kW) y 400/690 V 50 Hz. (potencias superiores a 4kW).
- Temperatura de trabajo ventilador: -25 °C +60 °C.

**Variador electrónico de velocidad:**

- Velocidad ajustable mediante señal 0-10 V o control automático PI integrado en el variador.
- Variador electrónico altamente configurable con 2 entradas analógicas, 2 entradas digitales, 1 salida de relé y 1 salida analógica o digital a seleccionar.
- Posibilidad de conexión a buses de campo MODBUS y CAN Open.
- Variador electrónico de fácil instalación fuera de la zona de trabajo, gracias a su carril DIN puede montarse en cuadros de control minimizando las conexiones.
- Se suministra precableado con cable apantallado de acuerdo con la directiva EMC 2014/30/UE.
- Disponibles con entrada monofásica 220-240 V 50/60 Hz hasta 3CV (Tipo VSD1/A-RFM) o trifásica 380-415 V 50/60 Hz (Tipo VSD3/A-RFT). Protección estándar IP20, protección IP66 hasta 30CV bajo pedido.
- Temperatura de trabajo (VSD): -25 °C +50 °C.

**Acabado:**

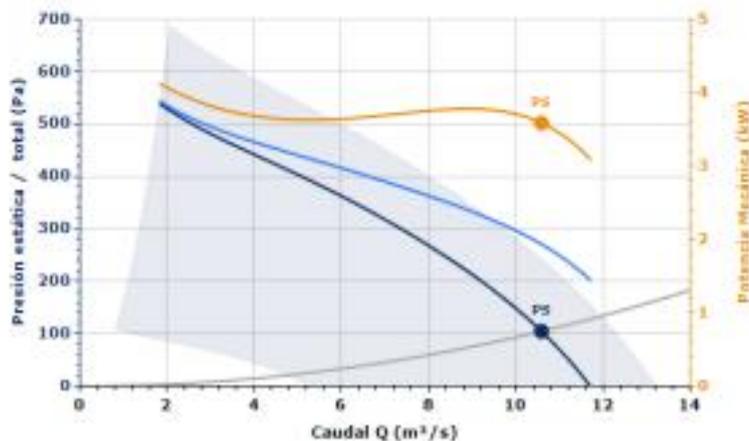
- Anticorrosivo en resina de poliéster polimerizada a 180 C, previo desengrase con tratamiento nanotecnológico libre de fosfatos.

**Bajo demanda:**

- Dirección aire hélice-motor
- Hélices reversible 100%



### CURVA CARACTERÍSTICA PARA 1,2KG/M<sup>3</sup>



#### Punto Diseño

Q (m³/s)	10,58
Pe (Pa)	205

#### Punto Servicio (PS)

Q (m³/s)	10,58
Pe (Pa)	205
Pd (Pa)	166,04
Pt (Pa)	271,04
Velocidad (rpm)	1258
Máx. Temp. (°C)	60
Velocidad salida aire (m/s)	16,64
SFP (kW/m³/s)	0,38
Potencia Mecánica (kW)	3,59

### CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Caudal máximo (m³/s)	11,70
Velocidad (rpm)	1258
Peso aprox. (kg)	83

## ERP

Rendimiento	54,2%	Presión (Pa)	427
Grado eficiencia A	55,6	Potencia eléctrica (kW)	6,132
Categoría de medición	A	Velocidad (rpm)	1466
Categoría eficiencia	Estático	Variador de velocidad	VSD incorporado en el ventilador
Relación específica	1,01	Cumplimiento ERP	2015
Caudal (m³/h)	26945		

## DATOS DEL MOTOR

Potencia Mecánica Nominal (kW)	5,50
H <sub>z</sub> /Fases	50/3
Motor VSD Máx. (rpm)	1465
Motor VSD Min. (rpm)	385
Polos	4
Corriente máx. (A) 380-415 V	12,81
Protección del motor	IP55
Tamaño del bastidor del motor	132

Los datos pueden cambiar, por favor consulte la placa del motor

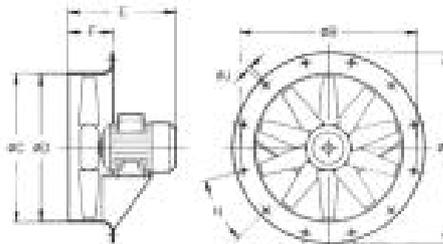
## ACCESORIOS DISPONIBLES

No tiene accesorios.

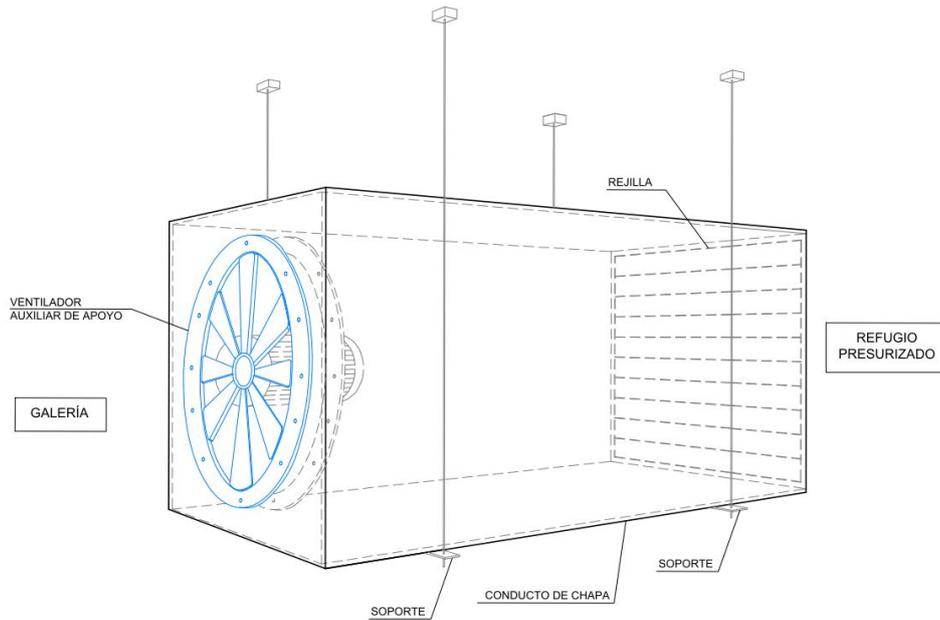
## DIMENSIONES

DA	DB	DC	DD	E	F	GB	H
1015	970	906	900	436	180	15	16x22x30

Las dimensiones sin unidades definidas explícitamente se muestran en milímetros (mm)



A continuación, se muestra de manera esquemática la forma en la que irá instalado el ventilador en el conducto de 2 metros de longitud ya mencionado, así como la posición de la rejilla antiretorno, regulada de modo que se asegure la estanqueidad en cuanto al escenario en el que haya que mantener, al menos, los 50 Pa.



**DETALLE VENTILADOR AUXILIAR DE APOYO EN CONDUCTO**  
S/JF

Figura nº 2. Esquema de montaje del ventilador – calderería – rejilla anti-retorno para conseguir al menos 2 m/s de velocidad de paso de aire a través de la puerta de salida de emergencia que conecta el túnel de metro con el recinto presurizado.

## 7.7. ANÁLISIS DE PRESIÓN DIFERENCIAL EN PUERTAS DE EMERGENCIA

En relación a la primera puerta de emergencia que comunica el túnel ferroviario con el recinto presurizado, no hay pega, dado que el diferencial se controlará a través de presostato – variador – rejilla – ventilador a 50 Pa, lo que sobre una hoja de 1 x 2,3 metros procura una fuerza a vencer de 11,73 Kgf = 115 N. Este valor supera el definido en requisitos de 65 N, pero se considera que, en situación de emergencia, se podrá hacer una fuerza equivalente a unos 12 Kgf para vencer esta resistencia.

En relación a la segunda puerta que comunica el recinto presurizado, la diferencia de presión entre ambas hojas máxima es de 105 Pa. En esta puerta, esta presión sería a favor de la apertura de la misma, por lo que, se considera menos crítico que en la primera. Para esta puerta el escenario más crítico en cuanto a presión en contra sería de “- 5 Pa”, lo que provoca un esfuerzo a realizar sobre cada hoja de tan solo 11,5 N (< 65 N), por lo que la solución se considera viable.