

Proyecto de Instalaciones Eléctricas y Equipos del tramo Altza- Galtzaraborda

Anejo 4 – Cálculos justificativos de ventilación.

TTE-II-21004-PWS-IEE-ANX-0004
V1



We Make
Your Way Easier

Preparado para:



Nombre: Euskal Trenbide Sarea
Dirección: San Vicente 8, Edificio
Albia I. Planta 14. Bilbao.
CP: 48001

Preparado por :



Nombre: CAF Turnkey
& Engineering
Dirección: Laida Bidea,
Edificio 205,Zamudio
CP: 48170

Proyecto de Instalaciones Eléctricas y Equipos del tramo Altza-Galtzaraborda

Anejo 4 – Cálculos justificativos de ventilación.

TTE-II-21004-PWS-IEE-ANX-0004

V1

Revisión del documento		
Revisión	Fecha	Objetivo de la revisión
1	20/06/2024	Versión Inicial

<i>Preparado por</i>	APC	<i>Revisado por</i>	IAA	<i>Aprobado por</i>	BIR
Nombre	Ander Pérez Caro	Nombre	Iker Aizpuru Aragón	Nombre	Borja Irazu Rivero
Firma		Firma		Firma	
Fecha:	20/06/2024	Fecha:	20/06/2024	Fecha:	20/06/2024

Índice de Contenidos

1. Objeto	6
2. Ventilación de emergencia	6
2.1. Introducción.....	6
2.2. Puntos de partida	6
2.3. Metodología de cálculo de pérdidas en las salas de ventilación de emergencia.....	7
2.4. Metodología cálculo de pérdidas en túnel y caudales de aspiración	8
2.5. Cálculo	12
2.5.1. Cálculos de pérdidas de carga en las salas de ventilación.....	12
2.5.2. Cálculo de pérdidas de carga en túnel y caudales de aspiración	25
3. EBA30	
3.1. Introducción.....	30
3.2. Cálculos.....	30
4. Ventilación cuartos técnicos	31
4.1. Introducción.....	31
4.2. Datos de inicio.....	31
4.3. Metodología de cálculo.....	33
4.4. Accesorios.....	33
4.5. Resultados	33
5. Sistema de sobrepresión	37
5.1. Objeto.....	37
5.2. Datos de inicio.....	37
5.3. Metodología de cálculo.....	37
5.4. Caudal	37
5.4.1. Caudal a puera abierta.....	38
5.4.2. Caudal con las puertas cerradas.....	39
5.5. Instalación propuesta	41
5.5.1. Salida de emergencia de Sasuategi.....	41
5.5.2. Escalera de Pasaia	42
5.6. Resultados	44

Índice de Figuras

Figura 1. Velocidad crítica	9
Figura 2. Velocidad mínima en incendio en túnel.....	10
Figura 3. Tipos de sistemas de sobrepresión.....	38
Figura 4. Presiones mínimas para los sistemas de clase C	39
Figura 5. Datos de fuga del aire a través de puertas.....	40
Figura 6. Sistema de control de la ventilación de sobrepresión de Sasuategi	42
Figura 7. Detalles de ventilación de sobrepresión de Pasaia	43
Figura 8. Detalle rejilla exterior de Pasaia.....	43
Figura 9. Sistema de control de la ventilación de sobrepresión de Pasaia	44

Índice de Tablas

Tabla 1. Resumen pérdidas de ventilaciones de emergencia.	7
Tabla 2. Características ventilador emergencia	8
Tabla 3. Datos ventilador emergencia.....	13
Tabla 4. Pérdidas V.E.1 calle-túnel	15
Tabla 5. Pérdidas V.E.1 túnel-calle	16
Tabla 6. Pérdidas V.E.2 calle-túnel	18
Tabla 7. Pérdidas V.E.2 túnel-calle	20
Tabla 8. Pérdidas V.E.3 calle-túnel	22
Tabla 9. V.E.3 Pérdidas túnel-calle	24
Tabla 10. Datos tramo V.E.1-V.E.2.....	25
Tabla 11. Pérdidas V.E.1-V.E.2 (aspirando desde V.E.2)	26
Tabla 12. Resumen pérdidas V.E.1-V.E.2 (aspirando desde V.E.2).....	27
Tabla 13. Pérdidas V.E.1-V.E.2 (aspirando desde V.E.1)	29
Tabla 14. Resumen pérdidas V.E.1-V.E.2 (aspirando desde V.E.1).....	30
Tabla 15. Pérdidas de carga en función de la potencia del transformador	32
Tabla 16. Datos de partida de la ventilación de los cuartos técnicos.....	34
Tabla 17. Conductos de impulsión de la ventilación de los cuartos técnicos.....	35
Tabla 18. Conductos de aspiración de la ventilación de los cuartos técnicos.....	36
Tabla 19. Resumen ventilación de sobrepresión.....	45

1. Objeto

El presente documento tiene por objeto el diseño y dimensionamiento de los siguientes sistemas de Ventilación del tramo Altza-Galtzaraborda:

- / Ventilación de emergencia
- / Ventilación EBA
- / Ventilación de Cuartos Técnicos
- / Ventilación de Sobrepresión

2. Ventilación de emergencia

2.1. Introducción

Mediante los planos de las ventilaciones de emergencia, “08.Obras_subterranea” y “10.Obras singulares”, se trata de comprobar que los ventiladores propuestos son suficientes para cumplir los objetivos expuestos a lo largo del proyecto.

Estos cálculos no eximen al futuro contratista de realizar las comprobaciones que sean necesarias para comprobar que, tanto los datos, como los criterios de cálculo son correctos. Entre estas comprobaciones se considera necesario realizar simulaciones con humo en la estación de Pasaia.

2.2. Puntos de partida

El sistema de ventilación de emergencia debe permitir, en caso de fuego, la correcta evacuación del personal por vías libres de humo y temperatura controlada y la aproximación al foco de incendio de los equipos de rescate y extinción.

Cada sala de ventilación dispondrá de dos ventiladores axiales, reversibles 100%, de instalación horizontal, capaces de dar un caudal mínimo de aire, en las condiciones ambientales, de 90 m³/s cada uno. Estos ventiladores estarán provistos de difusores (confusor y difusor) en la aspiración/impulsión y una compuerta automática en la impulsión. La potencia del motor será de 132 KW y la presión total del ventilador será de 870 Pa mínimo.

El fuego puede producirse:

- / En estación
- / En túnel, entre estaciones

En el primer caso, las dos salas de ventilación situadas en los extremos de la estación extraerán humo de la estación, impulsándolo a la calle. De esta forma el humo se irá por el túnel a las salas de ventilación y de ahí, a la calle, mientras que el aire nuevo entrará por los cañones permitiendo la salida de los usuarios a través del aire limpio de la calle.

Las pérdidas a vencer por los ventiladores serían las pérdidas en la extracción más las que se producen en el camino de evacuación de los usuarios por donde entra el aire.

Cuando el fuego se produce entre estaciones una sala extraerá el humo del túnel para impulsarlo a la calle, mientras que la otra introducirá aire fresco de la calle impulsándolo al túnel. De esta forma el humo no irá a las estaciones. En este caso se comprobará que la ventilación de extracción vence las pérdidas de la propia sala de ventilación más las que se producen en el tramo de túnel entre las ventilaciones de emergencia. La ventilación de aspiración solo tendrá que vencer las pérdidas en la aspiración del aire de la calle.

Teniéndose en cuenta que el caso más desfavorable es el segundo caso, es decir, cuando el fuego se produce entre dos estaciones en el interior del túnel, no se hace necesario comprobar las pérdidas en el primer caso, cuando se produce el fuego en una estación. Esto es debido a que en el caso de que el incendio se produzca dentro de la estación el número de ventiladores que entrarían en funcionamiento para aspirar los humos hacia el exterior sería el doble que en el caso de incendio en el túnel, es decir, se aspiraría el aire desde los ventiladores de los dos extremos de la estación y el aire fresco entraría desde el acceso a la estación. Además, las pérdidas de carga generadas en el tramo túnel serían menores que si el incendio se produce en el túnel ya que los ventiladores se encuentran muy cerca de la estación

2.3. Metodología de cálculo de pérdidas en las salas de ventilación de emergencia

Estos cálculos se han llevado a cabo según las dimensiones de las salas de ventilaciones de emergencia obtenidas de los documentos de planos de los proyectos de Obra Civil de la línea Altza-Galtzaraborda de Donosti.

La tabla que a continuación se presenta es un resumen de las pérdidas de presión en cada sala. Los cálculos se pueden ver de forma detallada en apartado 5.1. Cálculo de pérdidas de carga en las salas de ventilación.

Nº	Ventilación de emergencia (VE)	Pérdidas (Pa)	
		Impulsión (Hacia túnel)	Impulsión (Hacia calle)
1	SASUATEGI	527,18	305,26
2	PASAIA (CALLE LORETE)	757,94	512,13
3	PASAIA (CALLE SAN MARCOS)	750,46	504,64

Tabla 1. Resumen pérdidas de ventilaciones de emergencia.

Las pérdidas se han calculado en base a planos y estimaciones realizadas. ETS no se responsabiliza de la validez de los cálculos. El contratista está obligado a comprobar que los cálculos realizados son correctos

Las pérdidas se han calculado para un caudal de aire de 180 m³/s (el punto de operación de mejor rendimiento de un ventilador es 90 m³/s, siendo 2 ventiladores en cada sala) a ρ=1,2 kg/m³.

Las fórmulas de aplicación son:

Presión dinámica

$$Pd = \frac{1}{2} * \rho * v^2$$

Donde:

- / ρ=densidad del aire (Kg/m³)
- / V=velocidad del aire (m/s)

Pérdidas en tramos rectos

$$P_{tot} = f * \frac{L}{D} * Pd$$

Donde:

- / L=longitud (m)
- / D=diámetro (m)
- / f=factor de fricción (para el hormigón 0,02)

Pérdidas Puntuales

$$P_{tot} = K_p * Pd$$

Donde:

- / Kp=coeficiente de pérdida local

Los coeficientes de pérdida de carga local se han tomado de acuerdo a "HVAC FUNDAMENTALS. SPANISH EDITION".

Caudal / ventilador	90	m ³ /s
Caudal para 2 ventiladores	180	m ³ /s
P.total ventilador	870	Pa
Densidad (20°C)	1,2	kg/m ³
Potencia instalada	132	kw
Rend. mínimo admisible	72%	%
Pot. (Potencia consumida por el ventilador)	104,4	kw
Pot./Pot. instalada	0,79	[-]
Margen de seguridad del motor	21	[%]

Tabla 2. Características ventilador emergencia

2.4. Metodología cálculo de pérdidas en túnel y caudales de aspiración

Partiendo de los planos "04.Definición geométrica", "08.Obras subterráneas" y "10.Obras singulares", en el que se dispone las secciones de vía tipo, pendientes y disposición de las ventilaciones, se pretende comprobar que tanto los caudales que tienen que aspirar o impulsar los ventiladores previstos, como las caídas de presión totales, suma de las ya calculadas en cada sala de ventilación (apartado 5.1.), más las de túnel calculadas (apartado 5.2.), pueden ser absorbidos por los ventiladores previstos.

Para el cálculo de las pérdidas de carga de túnel se deberán tener en cuenta las siguientes formulas:

VELOCIDAD CRITICA

La Velocidad crítica (V_c) es aquella a partir de la cual no se produce retroceso en los humos.

Se define como velocidad de desestratificación (V_d), aquella en la que, si la velocidad de una corriente de aire es inferior a V_d , el humo sigue estratificándose y no es extraído del túnel, caso (a). Si la velocidad sigue aumentando y supera la V_d el humo comienza a desestratificarse. Si esta velocidad se encuentra entre la velocidad de desestratificación y la velocidad crítica, caso (b), parte del humo deja de estar estratificado y es evacuado, pero otra parte de él sigue retrocediendo. Cuando el aire supera la V_c , caso (c), el humo deja de retroceder y se hace posible la evacuación total de los humos.

La velocidad crítica depende de la geometría del túnel, pendiente y temperatura.



FIG. 2.3 – Comportement des fumées en l'absence de pente et en présence de courant d'air ;
(a) $V < V_d$; (b) $V_d < V < V_c$; (c) $V > V_c$.

Figura 1. Velocidad crítica

Según el CETU (Centre d'études de Tunnels), la forma para calcular la Velocidad Crítica es:

$$V_c = K_1 K_2 \left[\frac{g H Q}{\rho C_p A \left(\frac{Q}{\rho C_p A V_c} + T \right)} \right]^{1/3}$$

Donde:

- / V_c = Velocidad Crítica (m/s)
- / K_1 = 0.61 (Constante adimensional)
- / K_2 = Constante de corrección por la pendiente del túnel

$$K_2 = 1 + 0.0374 S^{0.8}$$

- / g = 9,81m/s²
- / H = Altura del túnel (m)
- / Q = Potencia de Fuego – HRR (W). Se contempla una Potencia de fuego de 30 MW. Según el dossier del CETU se transmite al aire los dos tercios, es decir $Q = 20$ MW.
- / ρ = densidad de aire a 20 °C (1,2 kg/m³)
- / C_p = calor específico (1.004 J/kg K)
- / A = sección del túnel (m²)
- / T = Temperatura ambiente (K)

De acuerdo con el criterio del CETU (Centre d'études de tunnels), 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.

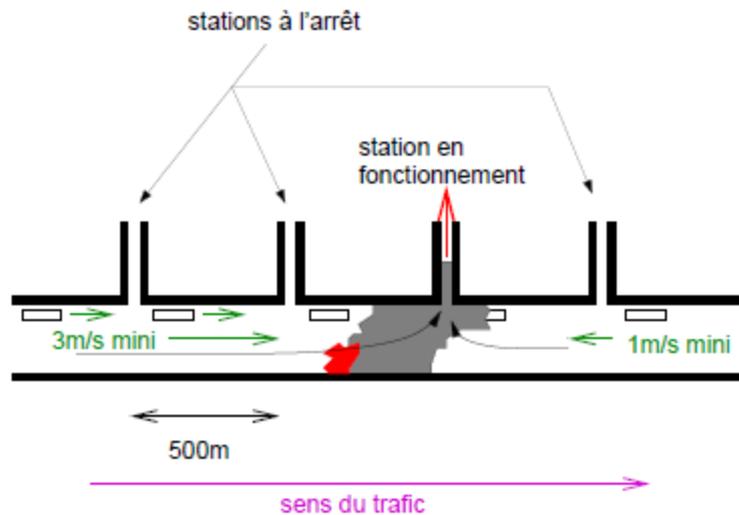


Figura 2. Velocidad mínima en incendio en túnel

El algoritmo de cálculo es el siguiente:

/ Se define el sentido de soplado y las estaciones que entran en juego

Si el fuego se produce en una estación se extrae el humo hacia la calle por las dos ventilaciones en los extremos de la misma (este caso no se calcula).

Si el fuego se produce en un punto dentro de un túnel, entre dos estaciones, se introducirá aire fresco al túnel por una ventilación y se extraerá el humo por la otra ventilación, de tal forma que el humo no llega a la estación.

/ Se calcula la temperatura en el foco del incendio

La temperatura se obtiene como:

$$T = T_0 + \left(\frac{Q}{\rho C_p S W_0} \right)$$

Donde:

- T = Temperatura ambiente (K)
- Q = Potencia de Fuego – HRR (W). Se contempla una Potencia de fuego de 30 MW. Según el dossier del CETU se transmite al aire los dos tercios, es decir Q = 20 MW.
- ρ = densidad de aire a 20 °C (1,2 kg/m³)
- Cp = calor específico (1,004 J/kg K)
- Wo = Velocidad del aire fresco

/ Se define el perfil de temperatura decreciente desde el foco del incendio hasta la extracción.

En el dossier CETU se indica de manera simplificada y conservativa que fórmula de la evolución de la temperatura es:

$$T = T_{\infty} + (T_{max} - T_{\infty}) * e^{\frac{-x}{x_e}}$$

Donde

$$x_e = \frac{c_p * \rho_0 * W_0}{4h_{app}} * D_H$$

y:

- T ∞ es la temperatura ambiente 293° K
- Tmax es la temperatura en el foco del incendio
- “X” la abcisa curvilínea contada desde el incendio
- haap = es un coeficiente que en la tabla del CETU para 15 min y 3 m/s es igual a 10 W/K m2

/ En cada punto la densidad del aire es inversamente proporcional a la temperatura

$$Densidad = 1.2 \frac{kg}{m^3} * \frac{T_{punto}}{T_{ambiente}}$$

/ Se calcula, en función de la velocidad mínima, la velocidad en el tramo, desde el incendio hasta la extracción

Se supone junto a la extracción, normalmente, una velocidad de 3 m/s (o la que corresponda), ya que en este punto es la temperatura más baja del tramo (es el punto más lejano).

Con la sección en este punto y la densidad, que depende de la temperatura, podemos calcular el caudal másico, que es constante en el tramo.

$$Caudal\ másico = P * v * S$$

/ Con esta velocidad se calculan las pérdidas por fricción

Las pérdidas por fricción se determinan mediante la siguiente fórmula:

$$Pérdida\ por\ fricción = f * \left(\frac{L}{Dh}\right) * 0,5 * \rho * v^2$$

Donde:

- L es la longitud del túnel considerada
- Dh es el diámetro hidráulico = 4S(m2) /perímetro (m)
- f es un coeficiente de fricción (0,02 hormigón y 0,04 superficie rocosa) que se toma 0,04

/ A partir de la densidad en cada punto se obtienen las pérdidas por efecto chimenea

$$Pérdidas\ de\ efecto\ chimenea = (\rho - \rho_0) * g * H$$

ρ y ρ_0 son la densidad en el punto considerado y densidad ambiente, g es la gravedad, y H la diferencia de altura entre los dos puntos (longitud de túnel x pendiente)

/ Se obtiene el caudal de aire que pasa por la sala de extracción

Normalmente en la extracción la velocidad del humo (de zona caliente) es de 3 m/s y de 1 m/s de la zona fría:

$$Q = V(m/s) \times S(m^2)$$

/ Se añaden las pérdidas en la sala de extracción y se hacen las conversiones de acuerdo con los caudales y densidades reales.

Las pérdidas son directamente proporcionales al cuadrado de los caudales

Las pérdidas son directamente proporcionales a las densidades

/ Se comprueba que las pérdidas en cada sala, más las de fricción y las del efecto chimenea son menores que la capacidad del ventilador.

Las pérdidas totales son las de fricción y efecto chimenea en túnel, más las de la sala de extracción.

Como en funcionamiento se pone una sala metiendo aire al túnel y la otra sacando, la que extrae debe vencer las pérdidas del túnel más las de extracción en sala. La que mete aire (aspira aire de la calle) solo debe de vencer las pérdidas de la sala en aspiración. Son previsiones conservativas.

Las características de los ventiladores especificados son 90 m³/seg y 870 Pa (cada sala 180 m³/s y 870 Pa) a densidad de 1,2 kg/m³ y un motor instalado de 132 KW. Si este caudal y presión, llevados a la densidad correspondiente y a la temperatura que se tenga son mayores que el caudal y pérdidas obtenidos, la instalación va holgada, siempre que las dimensiones y criterios hayan sido correctos.

2.5. Cálculo

En este apartado se presentan todos los cálculos realizados que demuestran el correcto dimensionamiento de los ventiladores de emergencia. Dichos cálculos se han llevado a cabo utilizando las metodologías y las hipótesis descritas anteriormente.

Inicialmente, se presentan los cálculos de pérdidas de carga de cada caverna de ventilación, en función de su geometría, dimensiones y del ventilador elegido.

Finalmente, se lleva a cabo un cálculo haciendo hipótesis de diferentes situaciones de incendios a lo largo de la línea, analizándose siempre la peor situación de cada tramo ensayado, y demostrando en todos los casos que los ventiladores permiten la evacuación de los humos.

2.5.1. Cálculos de pérdidas de carga en las salas de ventilación

En esta primera tabla se adjuntan los datos de partida necesarios para los cálculos de las pérdidas de carga en las salas de ventilación.

Caudal / ventilador	90 m ³ /s
Caudal para 2 ventiladores	180 m ³ /s
Ptotal ventilador	870 Pa
Densidad (20°C)	1,2 kg/m ³
Potencia instalada	132 kw
Rend. mínimo admisible	72% %
Pot. (Potencia consumida por el ventilador)	104,4 kw
Pot/Pot instalada	0,79 [-]
Margen de seguridad del motor	21 [%]

Tabla 3. Datos ventilador emergencia

A continuación, se adjuntan todas las tablas de cálculo con los resultados de las pérdidas de carga:

V.E. 1 / VENTILACIÓN DE EMERGENCIA SASUATEGI (PK 1+439)

Dirección del flujo: De calle hacia tunel

Nº	Elemento	Geometría	Sección (m2)	Diametro hidraulico (m)	Caudal (m3/s)	Velocidad (m/s)	Coef. local perdidas	Presión dinámica (Pa)	Perdidas (Pa)
1	Rejilla de entrada desde calle. Aceleración flujo a la entrada C0 = 0,5	Dimensiones = 4,65*7,2m	33,48	6,53	180	5,38	0,5	17,34	8,67
2	Codo de 90° C0 = 1,2		33,48	6,53	180	5,38	1,2	17,34	20,81
3	Compresión (Cambio de sección) Entrada a la galería horizontal C0 = 0,26	A1 = 33,48 m2 A0 = 26,1 m2 A1/A0=1,28	26,1	5,76	180	6,90	0,26	28,54	7,42
4	Tramo recto. Pérdidas por fricción (Galería horizontal) Pérdidas tramos rectos (Coeficiente hormigón)	Longitud = 350 m Factor de fricción f = 0,02	26,1	5,76	180	6,90	0,02	28,54	34,68
5	Compresión (Cambio de sección) Entrada a los difusores del ventilador C0 = 0,41	A1 = 26,1 m2 A0 = 2,5^2/4*Pi*2 = 9,82 m2 A1/A0=2,66	9,82	3,54	180	18,33	0,41	201,59	82,65

V.E. 1 / VENTILACIÓN DE EMERGENCIA SASUATEGI (PK 1+439)									
Dirección del flujo: De calle hacia tunel									
Nº	Elemento	Geometría	Sección (m ²)	Diametro hidraulico (m)	Caudal (m ³ /s)	Velocidad (m/s)	Coef. local perdidas	Presión dinámica (Pa)	Perdidas (Pa)
6	Expansión brusca a la salida de los difusores hacia el tunel de metro C0 = 0,65	A0 = 9,82 m ² A1 = 45,3 m ² A1/A0=4,61	9,82	3,54	180	18,33	0,65	201,59	131,03
7	Codo 90°, biselado redondo Flujo perpendicular a el tunel de metro C0 = 1,2		9,82	3,54	180	18,33	1,2	201,59	241,91
								TOTAL	527,18

Tabla 4. Pérdidas V.E.1 calle-túnel

V.E. 1 / VENTILACIÓN DE EMERGENCIA SASUATEGI (PK 1+439)									
Dirección del flujo: De tunel hacia calle									
Nº	Elemento	Geometría	Sección (m ²)	Diametro hidraulico (m)	Caudal (m ³ /s)	Velocidad (m/s)	Coef. local perdidas	Presión dinámica (Pa)	Perdidas (Pa)
1	Rejilla de entrada desde calle. Aceleración flujo a la entrada C0 = 0,5	Dimensiones = 4,65*7,2m	33,48	6,53	180	5,38	0,5	17,34	8,67
2	Codo de 90° C0 = 1,2		33,48	6,53	180	5,38	1,2	17,34	20,81

V.E. 1 / VENTILACIÓN DE EMERGENCIA SASUATEGI (PK 1+439)									
Dirección del flujo: De tunel hacia calle									
Nº	Elemento	Geometría	Sección (m ²)	Diametro hidraulico (m)	Caudal (m ³ /s)	Velocidad (m/s)	Coef. local perdidas	Presión dinámica (Pa)	Perdidas (Pa)
3	Expansión (Cambio de sección) Salida de la galería horizontal C0 = 0,35	A1 = 33,48 m ² A0 = 26,1 m ² A1/A0=1,28	26,1	5,76	180	6,90	0,35	28,54	9,99
4	Tramo recto. Pérdidas por fricción (Galería horizontal) Pérdidas tramos rectos (Coeficiente hormigón)	Longitud = 350 m Factor de fricción f = 0,02	26,1	5,76	180	6,90	0,02	28,54	34,68
5	Expansión (Cambio de sección) Salida a la sala de ventilación C0 = 0,67	A1 = 26,1 m ² A0 = $2,5^2/4 \cdot \pi \cdot 2 = 9,82$ m ² A1/A0=2,66	9,82	3,54	180	18,33	0,67	201,59	135,07
6	Compresión brusca a los difusores desde el tunel de metro C0 = 0,42	A0 = 9,82 m ² A1 = 45,3 m ² A1/A0=4,61	9,82	3,54	180	18,33	0,42	201,59	84,67
7	Codo 90°, biselado redondo Flujo perpendicular a el tunel de metro C0 = 1,2		45,3	7,6	180	3,97	1,2	9,47	11,37
								TOTAL	305,26

Tabla 5. Pérdidas V.E.1 túnel-calle

V.E. 2 / VENTILACIÓN DE EMERGENCIA CALLE LORETE (PK 1+900)									
Dirección del flujo: De calle hacia tunel									
Nº	Elemento	Geometría	Sección (m ²)	Diametro hidraulico (m)	Caudal (m ³ /s)	Velocidad (m/s)	Coef. local perdidas	Presión dinámica (Pa)	Perdidas (Pa)
1	Rejilla de entrada desde calle. Aceleración flujo a la entrada C0 = 0,5	Dimensiones = 2*3,6*3,6 m	25,92	5,5	180	6,94	0,5	28,94	14,47
2	2 codos seguidos de 90° despues de la rejilla C0 = 3,32		25,92	5,5	180	6,94	3,32	28,94	96,06
3	Compresión (Cambio de sección) Entrada a los conductos de chimenea C0 = 0,26	A1 = 25,92 m ² A0 = 3 ² /4*Pi*2 = 14,4 m ² A1/A0=1,8	14,4	4,28	180	12,50	0,26	93,75	24,38
4	Tramo recto. Pérdidas por fricción (Chimenea) Pérdidas tramos rectos (Coeficiente hormigón)	Longitud = 21,41 m Factor de fricción f = 0,02	14,4	4,28	180	12,50	0,02	93,75	9,38
5	Expansión brusca a la salida de los conductos de chimenea a la sala de ventilación C0 = 0,48	A0 = 14,4 m ² A1 = Pi*4,8 ² /2 = 36,2 m ² A1/A0=2,51	14,4	4,28	180	12,50	0,48	93,75	45,00
6	Codo 90°, biselado redondo Unión de la chimenea con la sala de ventilación C0 = 1,2		14,4	4,28	180	12,50	1,2	93,75	112,50

V.E. 2 / VENTILACIÓN DE EMERGENCIA CALLE LORETE (PK 1+900)									
Dirección del flujo: De calle hacia túnel									
Nº	Elemento	Geometría	Sección (m ²)	Diametro hidráulico (m)	Caudal (m ³ /s)	Velocidad (m/s)	Coef. local pérdidas	Presión dinámica (Pa)	Pérdidas (Pa)
7	Tramo recto. Pérdidas por fricción (Sala de ventiladores) Pérdidas tramos rectos (Coeficiente hormigón)	Longitud = 12,8 m Factor de fricción f = 0,02	36,2	6,79	180	4,97	0,02	14,83	0,56
8	Compresión (Cambio de sección) Entrada a los difusores del ventilador C0 = 0,41	A1 = 36,2 m ² A0 = $2,5^2/4 \cdot \pi \cdot 2 = 9,82$ m ² A1/A0=3,69	9,82	3,54	180	18,33	0,41	201,59	82,65
9	Expansión brusca a la salida de los difusores hacia el túnel de metro C0 = 0,65	A0 = 9,82 m ² A1 = 45,3 m ² A1/A0=4,61	9,82	3,54	180	18,33	0,65	201,59	131,03
10	Codo 90°, biselado redondo Flujo perpendicular a el túnel de metro C0 = 1,2		9,82	3,54	180	18,33	1,2	201,59	241,91
								TOTAL	757,94

Tabla 6. Pérdidas V.E.2 calle-túnel

V.E. 2 / VENTILACIÓN DE EMERGENCIA CALLE LORETE (PK 1+900)

Dirección del flujo: De tunel hacia calle

Nº	Elemento	Geometría	Sección (m ²)	Diametro hidraulico (m)	Caudal (m ³ /s)	Velocidad (m/s)	Coef. local perdidas	Presión dinámica (Pa)	Perdidas (Pa)
1	Rejilla de entrada desde calle. Aceleración flujo a la entrada C0 = 0,5	Dimensiones = 2*3,6*3,6m	25,92	5,5	180	6,94	1	28,94	28,94
2	2 codos seguidos de 90° despues de la rejilla C0 = 2,31		25,92	5,5	180	6,94	2,31	28,94	66,84
3	Expansión (Cambio de sección) Salida de los conductos de chimenea C0 = 0,35	A1 = 23,79 m ² A0 = $3^2/4 \cdot \pi \cdot 2 = 14,4$ m ² A1/A0=1,8	14,4	4,28	180	12,50	0,35	93,75	32,81
4	Tramo recto. Pérdidas por fricción (Chimenea) Pérdidas tramos rectos (Coeficiente hormigón)	Longitud = 21,41 m Factor de fricción f = 0,02	14,4	4,28	180	12,50	0,02	93,75	9,38
5	Compresión brusca de la sala de ventilación a los conductos de chimenea C0 = 0,32	A0 = 14,4 m ² A1 = $\pi \cdot 4,8^2/2 = 36,2$ m ² A1/A0=2,51	14,4	4,28	180	12,50	0,32	93,75	30,00
6	Codo 90°, biselado redondo Unión de la chimenea con la sala de ventilación C0 = 1,2		14,4	4,28	180	12,50	1,2	93,75	112,50

V.E. 2 / VENTILACIÓN DE EMERGENCIA CALLE LORETE (PK 1+900)									
Dirección del flujo: De tunel hacia calle									
Nº	Elemento	Geometría	Sección (m2)	Diametro hidraulico (m)	Caudal (m3/s)	Velocidad (m/s)	Coef. local perdidas	Presión dinámica (Pa)	Perdidas (Pa)
7	Tramo recto. Pérdidas por fricción (Sala de ventiladores) Pérdidas tramos rectos (Coeficiente hormigón)	Longitud = 12,8 m Factor de fricción $f = 0,02$	36,2	6,79	180	4,97	0,02	14,83	0,56
8	Expansión (cambio de sección) Salida a la sala de ventilación $C0 = 0,67$	$A1 = 36,2 \text{ m}^2$ $A0 = 2,5^2/4 \cdot \pi \cdot 2 = 9,82 \text{ m}^2$ $A1/A0=3,69$	9,82	3,54	180	18,33	0,67	201,59	135,07
9	Compresión brusca a los difusores desde el túnel de metro $C0 = 0,42$	$A0 = 9,82 \text{ m}^2$ $A1 = 45,3 \text{ m}^2$ $A1/A0=4,61$	9,82	3,54	180	18,33	0,42	201,59	84,67
10	Codo 90°, biselado redondo Flujo perpendicular a el tunel de metro $C0 = 1,2$		45,3	7,6	180	3,97	1,2	9,47	11,37
								TOTAL	512,13

Tabla 7. Pérdidas V.E.2 túnel-calle

V.E. 3 / VENTILACIÓN DE EMERGENCIA CALLE SAN MARCOS (PK 2+126)

Dirección del flujo: De calle hacia tunel

Nº	Elemento	Geometría	Sección (m ²)	Diametro hidraulico (m)	Caudal (m ³ /s)	Velocidad (m/s)	Coef. local perdidas	Presión dinámica (Pa)	Perdidas (Pa)
1	Rejilla de entrada desde calle. Aceleración flujo a la entrada C0 = 0,5	Dimensiones = 2*3,6*3,6m	25,92	5,5	180	6,94	0,5	28,94	14,47
2	2 codos seguidos de 90° despues de la rejilla C0 = 3,32		25,92	5,5	180	6,94	3,32	28,94	96,06
3	Compresión (Cambio de sección) Entrada a los conductos de chimenea C0 = 0,26	A1 = 25,92 m ² A0 = $3^2/4 \cdot \pi \cdot 2 = 14,4$ m ² A1/A0=1,8	14,4	4,28	180	12,50	0,26	93,75	24,38
4	Tramo recto. Pérdidas por fricción (Chimenea) Pérdidas tramos rectos (Coeficiente hormigón)	Longitud = 4,5 m Factor de fricción f = 0,02	14,4	4,28	180	12,50	0,02	93,75	1,97
5	Expansión brusca a la salida de los conductos de chimenea a la sala de ventilación C0 = 0,48	A0 = 14,4 m ² A1 = $\pi \cdot 4,8^2/2 = 36,2$ m ² A1/A0=2,51	14,4	4,28	180	12,50	0,48	93,75	45,00
6	Codo 90°, biselado redondo Unión de la chimenea con la		14,4	4,28	180	12,50	1,2	93,75	112,50

V.E. 3 / VENTILACIÓN DE EMERGENCIA CALLE SAN MARCOS (PK 2+126)
Dirección del flujo: De calle hacia tunel

Nº	Elemento	Geometría	Sección (m ²)	Diametro hidraulico (m)	Caudal (m ³ /s)	Velocidad (m/s)	Coef. local perdidas	Presión dinámica (Pa)	Perdidas (Pa)
	sala de ventilación C0 = 1,2								
7	Tramo recto. Pérdidas por fricción (Sala de ventiladores) Pérdidas tramos rectos (Coeficiente hormigón)	Longitud = 11 m Factor de fricción f = 0,02	36,2	6,79	180	4,97	0,02	14,83	0,48
8	Compresión (Cambio de sección) Entrada a los difusores del ventilador C0 = 0,41	A1 = 36,2 m ² A0 = 2,5 ² /4*Pi*2 = 9,82 m ² A1/A0=3,69	9,82	3,54	180	18,33	0,41	201,59	82,65
9	Expansión brusca a la salida de los difusores hacia el tunel de metro C0 = 0,65	A0 = 9,82 m ² A1 = Pi*4,8 ² /2+ 8,3*1,4 = 47,8 m ² A1/A0=4,61	9,82	3,54	180	18,33	0,65	201,59	131,03
10	Codo 90º, biselado redondo Flujo perpendicular a el tunel de metro C0 = 1,2		9,82	3,54	180	18,33	1,2	201,59	241,91
								TOTAL	750,46

Tabla 8. Pérdidas V.E.3 calle-túnel

V.E. 3 / VENTILACIÓN DE EMERGENCIA CALLE SAN MARCOS (PK 2+126)
Dirección del flujo: De tunel hacia calle

Nº	Elemento	Geometría	Sección (m ²)	Diametro hidraulico (m)	Caudal (m ³ /s)	Velocidad (m/s)	Coef. local perdidas	Presión dinámica (Pa)	Perdidas (Pa)
1	Rejilla de entrada desde calle. Aceleración flujo a la entrada C0 = 0,5	Dimensiones = 2*3,6*3,6 m	25,92	5,5	180	6,94	1	28,94	28,94
2	2 codos seguidos de 90° despues de la rejilla C0 = 2,31		25,92	5,5	180	6,94	2,31	28,94	66,84
3	Expansión (Cambio de sección) Salida de los conductos de chimenea C0 = 0,35	A1 = 25,92 m ² A0 = $3^2/4 \cdot \pi \cdot 2^2 = 14,4$ m ² A1/A0=1,8	14,4	4,28	180	12,50	0,35	93,75	32,81
4	Tramo recto. Pérdidas por fricción (Chimenea) Pérdidas tramos rectos (Coeficiente hormigón)	Longitud = 4,5 m Factor de fricción f = 0,02	14,4	4,28	180	12,50	0,02	93,75	1,97
5	Compresión brusca de la sala de ventilación a los conductos de chimenea C0 = 0,32	A0 = 14,4 m ² A1 = $\pi \cdot 4,8^2/2 = 36,2$ m ² A1/A0=2,51	14,4	4,28	180	12,50	0,32	93,75	30,00
6	Codo 90°, biselado redondo Unión de la chimenea con la sala de ventilación C0 = 1,2		14,4	4,28	180	12,50	1,2	93,75	112,50

V.E. 3 / VENTILACIÓN DE EMERGENCIA CALLE SAN MARCOS (PK 2+126)

Dirección del flujo: De tunel hacia calle

Nº	Elemento	Geometría	Sección (m ²)	Diametro hidraulico (m)	Caudal (m ³ /s)	Velocidad (m/s)	Coef. local perdidas	Presión dinámica (Pa)	Perdidas (Pa)
7	Tramo recto. Pérdidas por fricción (Sala de ventiladores) Pérdidas tramos rectos (Coeficiente hormigón)	Longitud = 11 m Factor de fricción $f = 0,02$	36,2	6,79	180	4,97	0,02	14,83	0,48
8	Expansión (Cambio de sección) Salida a la sala de ventilación $C_0 = 0,67$	$A_1 = 36,2 \text{ m}^2$ $A_0 = 2,5^2/4 * \pi * 2 = 9,82 \text{ m}^2$ $A_1/A_0 = 3,69$	9,82	3,54	180	18,33	0,67	201,59	135,07
9	Compresión brusca a los difusores desde el túnel de metro $C_0 = 0,42$	$A_0 = 9,82 \text{ m}^2$ $A_1 = 45,3 \text{ m}^2$ $A_1/A_0 = 4,61$	9,82	3,54	180	18,33	0,42	201,59	84,67
10	Codo 90°, biselado redondo Flujo perpendicular a el tunel de metro $C_0 = 1,2$		45,3	7,6	180	3,97	1,2	9,47	11,37
								TOTAL	504,64

Tabla 9. V.E.3 Pérdidas túnel-calle

2.5.2. Cálculo de pérdidas de carga en túnel y caudales de aspiración

En este apartado se realizarán los cálculos de pérdidas de carga en el túnel por cada tramo, y en cada tramo se estudiarán dos posibles casos límite, que el incendio se produzca en uno de los extremos del tramo estudiado o que se produzca en el otro extremo.

Una vez obtenidas las pérdidas de carga en el túnel, se deben calcular las pérdidas de carga de la galería de ventilación por la cual se va a realizar la aspiración teniendo en cuenta el caudal y la densidad del aire en ese punto. Por lo que, para ello, se parte de las pérdidas calculadas en el apartado anterior y se actualizan con el caudal y densidad correspondientes. A continuación, se calcula la diferencia de presión que el ventilador es capaz de aportar, pero en las condiciones de caudal y densidad que se den. Finalmente, se realiza la diferencia entre la presión del ventilador y las pérdidas de carga totales en esas condiciones y se comprueba que es un valor suficiente para que el ventilador funcione correctamente.

1º TRAMO: V.E.1 (SASUATEGI) - V.E.2 (CALLE LORETE)

DATOS	Sección del túnel (m ²)	45,3
	Diámetro hidráulico (m)	7,6
	Temperatura del Foco (K)	415,15

Tabla 10. Datos tramo V.E.1-V.E.2

$$T = T_0 + \left(\frac{Q}{\rho C_p S W_0} \right) = 293 + \frac{\frac{2}{3} * 30000000}{1,2 * 1004 * 45,3 * 3} = 415,15 \text{ K}$$

$$x_e = \frac{C_p * \rho_0 * W_0}{4 h_{app}} * D_H = \frac{1004 * 1,2 * 3}{4 * 10} * 7,6 = 686,74 \text{ m}$$

Hipótesis:

Se va a suponer que el incendio se produce en el túnel, cerca de la ventilación de emergencia de Sasuategi, teniendo que sacar el humo del túnel por la V.E.2 (Calle Lorete) y metiendo aire fresco desde la V.E.1 (Sasuategi).

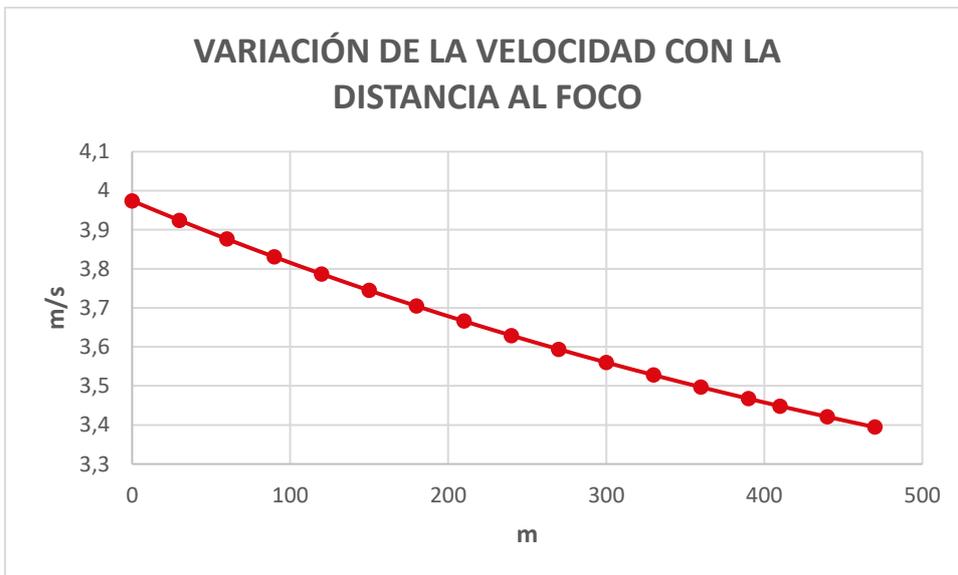
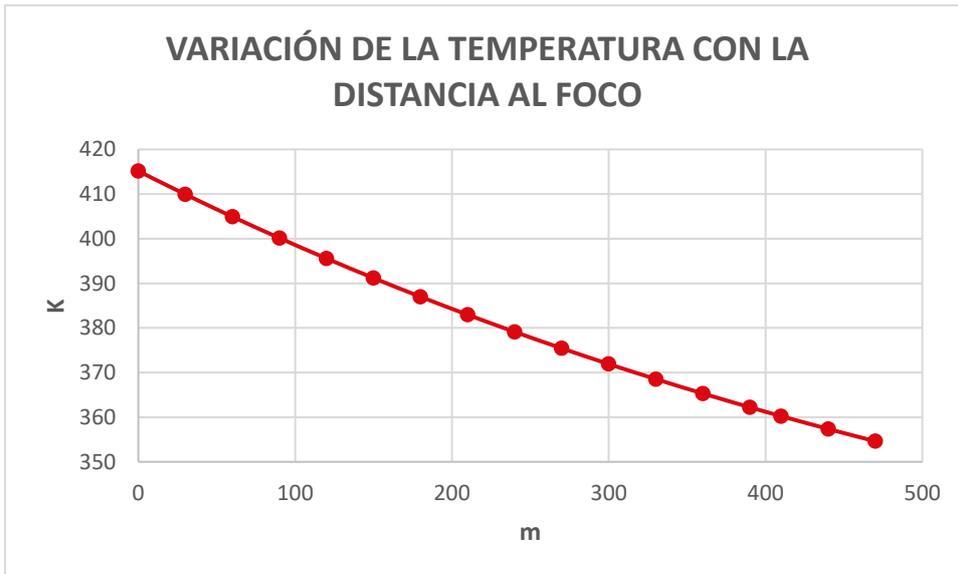
SE ASPIRA DESDE V.E.2 (Calle Lorete)

Posición x (m)	T (K)	Velocidad (m/s)	Pérdidas fricción (Pa)	Pendiente (%)	Sección (m ²)	Densidad (kg/m ³)	Pérdidas por efecto chimenea (Pa)
0	415,15	3,974		-4,24	45,3	0,847	
30	409,929	3,924	1,069	-4,24	45,3	0,858	-4,406
60	404,931	3,876	1,056	-4,24	45,3	0,868	-4,271

Posición x (m)	T (K)	Velocidad (m/s)	Pérdidas fricción (Pa)	Pendiente (%)	Sección (m ²)	Densidad (kg/m ³)	Pérdidas por efecto chimenea (Pa)
90	400,146	3,830	1,042	-4,24	45,3	0,879	-4,139
120	395,566	3,787	1,030	-4,24	45,3	0,889	-4,010
150	391,182	3,745	1,017	-4,24	45,3	0,899	-3,883
180	386,986	3,704	1,006	-4,24	45,3	0,909	-3,758
210	382,968	3,666	0,995	-4,24	45,3	0,918	-3,637
240	379,123	3,629	0,984	-4,24	45,3	0,927	-3,518
270	375,441	3,594	0,974	-4,24	45,3	0,936	-3,402
300	371,918	3,560	0,964	-4,24	45,3	0,945	-3,288
330	368,544	3,528	0,955	-4,24	45,3	0,954	-3,177
360	365,315	3,497	0,946	-4,24	45,3	0,962	-3,069
390	362,224	3,467	0,937	-4,24	45,3	0,971	-2,964
410	360,237	3,448	0,926	-4,24	45,3	0,976	-2,862
440	357,363	3,421	0,924	-4,24	45,3	0,984	-2,795
470	354,612	3,395	0,916	-4,24	45,3	0,992	-2,697
			15,740				-55,875

Tabla 11. Pérdidas V.E.1-V.E.2 (aspirando desde V.E.2)

$$\text{Caudal de salida} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right) = 3 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 45,3 \text{ m}^2 + 1 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 45,3 \text{ m}^2 = 181,2 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$



PÉRDIDAS EN SALA DE VENTILACIÓN HACIA CALLE ($\rho=1,2 \text{ kg/m}^3$)	512,13 Pa
PÉRDIDAS EN SALA A ESE CAUDAL (181,2 m³/s)	518,98 Pa
PÉRDIDAS EN SALA A ESA DENSIDAD ($\rho=0,992 \text{ kg/m}^3$)	429,02 Pa
PÉRDIDAS TOTALES (P. SALA+P. FRICCIÓN+P. EFECTO CHIMENEA)	388,88 Pa
PUNTO DE PRESIÓN DEL VENTILADOR (Q=181,2 m³, $\rho=0,992 \text{ kg/m}^3$)	719,2 Pa
DIFERENCIA PRESIÓN VENTILADOR PÉRDIDAS TOTALES	330,32 Pa

Tabla 12. Resumen pérdidas V.E.1-V.E.2 (aspirando desde V.E.2)

Hipótesis:

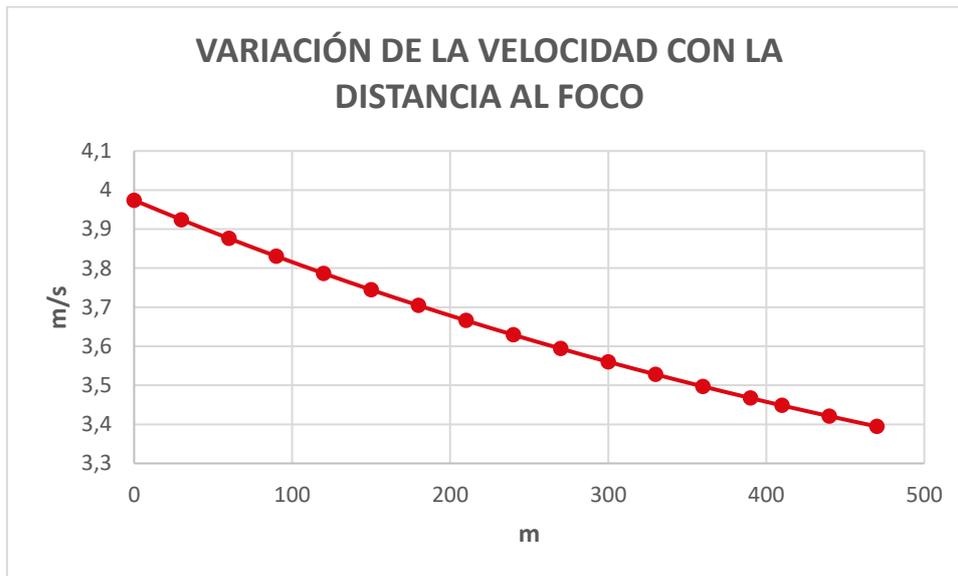
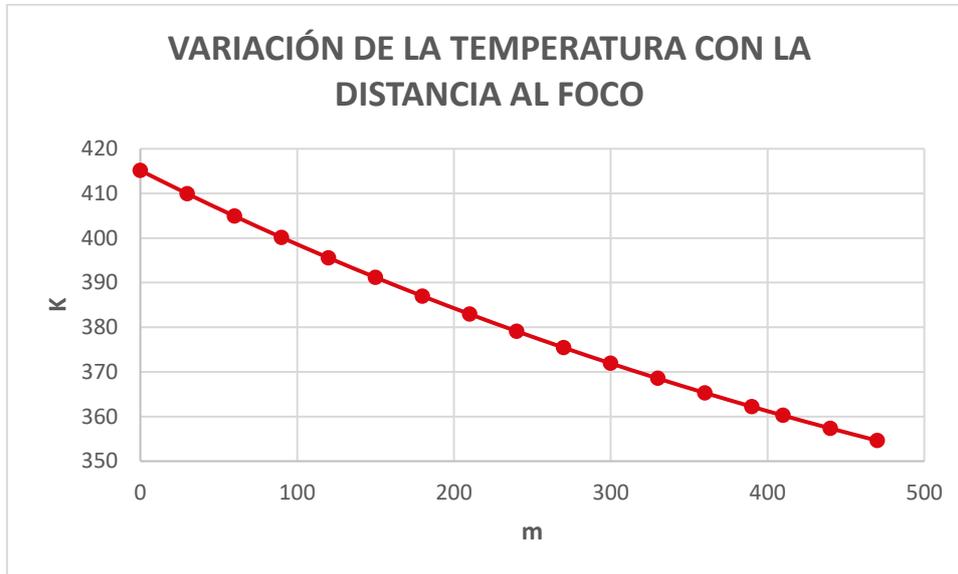
Se va a suponer que el incendio se produce en el túnel, cerca de la estación de Pasaia, teniendo que sacar el humo del túnel por la V.E.1 (Calle Sasuategi) y metiendo aire fresco desde la V.E.2 (Calle Lorete).

SE ASPIRA DESDE V.E.1 (SASUATEGI)

Posición x (m)	T (K)	Velocidad (m/s)	Pérdidas fricción (Pa)	Pendiente (%)	Sección (m ²)	Densidad (kg/m ³)	Pérdidas por efecto chimenea (Pa)
0	415,150	3,974		4,24	45,3	0,847	
30	409,929	3,924	1,069	4,24	45,3	0,858	4,406
60	404,931	3,876	1,056	4,24	45,3	0,868	4,271
90	400,146	3,830	1,042	4,24	45,3	0,879	4,139
120	395,566	3,787	1,030	4,24	45,3	0,889	4,010
150	391,182	3,745	1,017	4,24	45,3	0,899	3,883
180	386,986	3,704	1,006	4,24	45,3	0,909	3,758
210	382,968	3,666	0,995	4,24	45,3	0,918	3,637
240	379,123	3,629	0,984	4,24	45,3	0,927	3,518
270	375,441	3,594	0,974	4,24	45,3	0,936	3,402
300	371,918	3,560	0,964	4,24	45,3	0,945	3,288
330	368,544	3,528	0,955	4,24	45,3	0,954	3,177
360	365,315	3,497	0,946	4,24	45,3	0,962	3,069
390	362,224	3,467	0,937	4,24	45,3	0,971	2,964
410	360,237	3,448	0,926	4,24	45,3	0,976	2,862
440	357,363	3,421	0,924	4,24	45,3	0,984	2,795
470	354,612	3,395	0,916	4,24	45,3	0,992	2,697
			15,740				55,875

Tabla 13. Pérdidas V.E.1-V.E.2 (aspirando desde V.E.1)

$$\text{Caudal de salida } \left(\frac{m^3}{s}\right) = 3 \frac{m}{s} \times 45,3 m^2 + 1 \frac{m}{s} \times 45,3 m^2 = 181,2 \frac{m^3}{s}$$



PÉRDIDAS EN SALA DE VENTILACIÓN HACIA CALLE ($\rho=1,2 \text{ kg/m}^3$)	305,26 Pa
PÉRDIDAS EN SALA A ESE CAUDAL (181,2 m³/s)	309,34 Pa
PÉRDIDAS EN SALA A ESA DENSIDAD ($\rho=0,992 \text{ kg/m}^3$)	255,72 Pa
PÉRDIDAS TOTALES (P. SALA+P. FRICCIÓN+P. EFECTO CHIMENEA)	327,34 Pa
PUNTO DE PRESIÓN DEL VENTILADOR (Q=181,2 m³, $\rho=0,992 \text{ kg/m}^3$)	719,2 Pa
DIFERENCIA PRESIÓN VENTILADOR PÉRDIDAS TOTALES	391,86 Pa

Tabla 14. Resumen pérdidas V.E.1-V.E.2 (aspirando desde V.E.1)

CON ESTOS CAUDALES PARA CADA UNO DE LOS VENTILADORES LAS DIFERENCIAS DE PRESIÓN ESTAN COMPENSADAS

3. EBA

3.1. Introducción

El objeto de la Ventilación de Extracción Bajo Andén (EBA) es, fundamentalmente, conseguir una renovación de aire en la estación (Contaminación térmica), a la vez que elimina las partículas producidas por los trenes en la frenada (ambiente confortable).

En el tramo de línea Altza-Galtzaraborda, la estación Pasaia dispone de ventilación EBA y se han tenido en cuenta los planos “11.Estación Pasaia”.

3.2. Cálculos

Cada Ventilación de Extracción Bajo Andén (EBA) dispone de dos ventiladores (30 kW) capaces de expulsar 20 m³/s.

La capacidad de cada cañón de ventilación EBA será:

$$2 \text{ ventiladores} \times 20 \text{ m}^3/\text{s} = 40 \text{ m}^3/\text{s} = 144.000 \text{ m}^3/\text{h}$$

Teniendo en cuenta que la estación de Pasaia tiene una sección de 150,72 m² (16,4m x 9,19m) y una longitud de 107,41 m, se puede calcular el volumen aproximado de la siguiente forma:

$$\text{Volumen de la estación} = 150,72 \text{ m}^2 \times 107,41 \text{ m} = 16.188,8 \text{ m}^3$$

Debido a la geometría de la estación, se va a tener en cuenta el volumen de la zona de acceso a la estación (10,31m x 9,89m x 9,19m):

$$\text{Volumen de la estación} = 16.188,8 + 937,07 = 17.125,87$$

Una vez conocido el volumen de la estación, se puede hallar el N^o de renovaciones por hora:

$$N^{\circ} \text{ de renovaciones/hora} = \frac{144.000 \text{ m}^3/\text{h}}{17.125,87 \text{ m}^3} = 8,41 \text{ renovaciones/h}$$

Teniendo en cuenta la normativa DIN 1946 sobre ventilación y calidad del aire, los valores de renovaciones por hora calculados son suficientes para garantizar una correcta ventilación de la estación. Estas renovaciones se producen principalmente por los flujos principales (cañones y zonas centrales de andenes).

Por este motivo, el funcionamiento de estas ventilaciones se regula controlando las condiciones térmicas y ambientales, interiores y exteriores de la estación, y de acuerdo a los criterios que se explican en el apartado correspondiente del PPTP, la EBA se pone en funcionamiento.

4. Ventilación cuartos técnicos

4.1. Introducción

Con el fin de evitar la acumulación de calor y altas temperaturas en los cuartos técnicos y zonas anexas es necesaria la instalación de un sistema de ventilación en aquellos cuartos en los que se prevea la ubicación de equipos generadores de calor.

Las instalaciones de ventilación en cuartos técnicos constarán básicamente de ventiladores y conductos de ventilación, con sus correspondientes rejillas de aspiración e impulsión, compuertas cortafuegos y de regulación y demás elementos necesarios para un correcto funcionamiento.

Son excepción a lo anteriormente indicado los cuartos para los jefes de estación, los cuartos de corrientes débiles y los cuartos de comunicaciones donde se prevé la instalación de equipos de climatización.

Las dimensiones de los cuartos técnicos a ventilar, así como su ubicación y distribución en las estaciones y salidas de emergencia son los que se indican en los planos que se adjuntan en el documento 2 de este proyecto.

La ventilación de los cuartos técnicos en estación se diseñará de tal forma que consiga mantener la temperatura por debajo de los 26º con un nivel sonoro inferior a 50 dB en los lugares próximos a las zonas de trabajo habitual.

El diseño y la implantación de los sistemas de ventilación se realizan de acuerdo con las dimensiones de los cuartos citados, la ubicación de los equipos que en ellos se instalan, las aberturas y conductos existentes y las condiciones de diseño ya especificadas

4.2. Datos de inicio

Los sistemas de ventilación de cuartos técnicos (VCT) se diseñarán para un régimen de funcionamiento continuo, es decir de 7 días a la semana y 24 horas al día.

Su diseño, en cada caso, se realizará en función de los cuartos que se han de ventilar y los caudales mínimos necesarios para disipar el calor absorbido en cada cuarto

Se han previsto conductos de entrada (impulsión) y salida (extracción) de aire con toma y descarga de aire a nivel del bajo andén y extracción de bajo andén (E.B.A.) respectivamente.

Se solicita realizar un cálculo para una disipación media de calor de 2000 W, a excepción del Centro de transformación y vestuarios y aseos, cuyas hipótesis son diferentes.

Para que cualquier sistema de ventilación funcione correctamente, es necesario que:

- / el caudal y presión de aire del ventilador sea suficiente
- / establecer una corriente entre el punto o puntos de entrada de aire y los de extracción

Las salas a ventilar en cada una de las estaciones son:

- / Centro de transformación de estaciones (CT)
- / Seccionamiento de catenaria
- / Cuartos baja tensión (CBT)
- / Aseos y vestuarios
- / Cuartos técnicos de Salidas de emergencia:

- Centro de transformación de estaciones (CT)
- Cuartos baja tensión CGBT. (CBT)

CENTROS DE TRANSFORMACIÓN

Considerando lo siguiente:

- / En el caso de las estaciones se montan dos transformadores, cuya potencia se ha calculado con un balance de potencias y que es un sistema duplicado, es decir, solo funcionaría un transformador al 100% o los dos al 50%.
- / En el caso de las salidas de emergencia se monta un solo transformador, cuya potencia se ha calculado de la misma forma que los anteriores y se considera que funcionaría al 100%.
- / Según datos de los fabricantes de transformadores, considerando un funcionamiento normal, tienen aproximadamente las siguientes pérdidas:

Potencia Nominal (KVA)	Pérdidas de carga (Pk) 75°C
400	5.500 W
630	7.300 W
800	9.000 W
1000	10.500 W
1250	11.700 W
1600	14.440 W
2000	16.500 W
2500	18.900 W

Tabla 15. Pérdidas de carga en función de la potencia del transformador

- / Se estima un salto térmico de 5°C

RESTO DE CUARTOS TÉCNICOS

Es difícil la medición del calor que disipan los equipos que se ubican en los cuartos. La experiencia considera estima que el calor a disipar en estos cuartos es inferior a 2 kW.

ASEOS Y VESTUARIOS

Las bases de cálculo de estos cuartos se consideran diferentes, ya que no disponen de equipos emisores de calor si no que el objetivo es la renovación de aire en dichos espacios. Por lo que se estima extraer 60 m³/h por cada inodoro y zona de taquillas y 90 m³/h para cada ducha

CUARTO TÉCNICO DE RED, DE ATENCIÓN AL CLIENTE, DE OPERADORES, DE COMUNICACIONES, TÉCNICO y AUXILIAR DE COMUNICACIONES

Es difícil la medición del calor que disipan los equipos que se ubican en los cuartos citados en este apartado. El número de equipos y tarjetas, que es variable, generan este calor.

Se considera un consumo medio de 5 kW aproximadamente.

Los incrementos de temperatura tolerados son de 10°C en centros de transformación y cuartos de corrientes débiles y 5°C en el resto de recintos, siendo el nivel de ruido máximo permitido a transmitir a zonas de estancia habitual de personas de 50 dB.

El cuarto técnico de red, cuarto de atención al cliente, cuarto de operadores, cuarto de comunicaciones, cuarto técnico y cuarto auxiliar de comunicaciones serán climatizados. Contarán con una unidad interior en cada cuarto y otra unidad exterior situada cerca del túnel.

4.3. Metodología de cálculo

Suponiendo que el diseño de la entrada de aire y extracción estén correctamente diseñados el caudal de los ventiladores se calculará según la siguiente fórmula.

$$Q = \frac{P}{C \times \rho \times \Delta T}$$

P= Son las PÉRDIDAS en Vatios

C=Calor específico del aire (a 30°C) = 1,005 kJ/°C·kg

ρ = Densidad de aire (30°C i 68% HR) = 1,152 kg/m³

A continuación, se adjuntan una serie de tablas en las que se exponen los caudales necesarios según los requerimientos de cada cuarto técnico:

4.4. Accesorios

Además de los ventiladores, el sistema de ventilación contempla una serie de accesorios, tales como, rejillas de intemperie, rejillas de sobrepresión, rejillas, compuertas cortafuegos, conductos, difusores, piezas de transición, etc..

4.5. Resultados

A continuación, se presentan una serie de tablas que muestran, en base a la metodología de cálculo y a los datos iniciales anteriormente presentados, el dimensionamiento de todos los equipos que componen este sistema:

Estación	Cuarto	DATOS CÁLCULOS					DATOS VENTILADOR					
		Potencia	Pérdidas (KW)	$\Delta T(^{\circ}C)$	Q(m ³ /s)	Q(m ³ /h)	Tipo de Ventilador	Tipo de alimentación	Nº de polos	Potencia (W)	Q (m ³ /h)	Sección nominal (m)
PASAIA	Seccionamiento de catenaria	2000 W	2		0,34 5	1243,7 8	Centrífugo	Trifásico (400 V)	4	237 9	1072 0	0,4x0,4
	Centro de Transformación	1000 kVA	10,5	5	1,81 4	7773,6						
	Cuarto de Ascensor	2000 W	2		0,34 5	1243,7 8						
	Pasillo	-	-		-	-						
	Cuarto Técnico de Red	2000 W	2		0,34 5	1243,7 8	Centrífugo	Trifásico (400 V)	4	214 2	9580	0,4x0,4
	Servicio Atención al Cliente	4000 W	2	5	0,69	2487,5 6						
	Cuarto Operadores Telefonía	2000 W	2		0,34 5	1243,7 8						
	Aseos y Vestuarios	-	-	-	-	-						
S.E. SASUATEG I	Centro de transformación	630 kVA	9,3	5	1,60 7	5783,5 8	Centrífugo	Trifásico (400)	4	150 1	7940	0,8x0,5

Tabla 16. Datos de partida de la ventilación de los cuartos técnicos

Estación	Cuarto	IMPULSIÓN							
		Sección de Conducto (mxm)	Longitud (m)	Dimensiones Compuerta Cortafuegos (mm)	Ud	Dimensiones rejilla Conducto (mm)	Ud	Dimensiones rejilla Exterior (mm)	Ud
PASAIA	Seccionamiento de catenaria	400x400	4	400x400x240	2	1025x225	2	400x413	1
	Centro de Transformación	400x400	6	400x400x240	1	1025x225	3		
	Cuarto de Ascensor	400x400	3	400x400x240	1	1025x225	1		
	Pasillo	400x400	7	400x400x240	1	425x225	2		
	Cuarto Técnico de Red	400x400	3	400x400x240	1	425x225	2	400x413	1
	Servicio Atención al Cliente	400x400	5	400x400x240	1	1025x225	3		
	Cuarto Operadores Telefonía	400x400	3	400x400x240	1	425x225	2		
S.E. SASUATEGI	Centro de transformación	800x800	11	800x800x240	1	1025x225	3	800x825	1

Tabla 17. Conductos de impulsión de la ventilación de los cuartos técnicos

Estación	Cuarto	ASPIRACIÓN							
		Sección de Conducto (mxm)	Longitud (m)	Dimensiones Compuerta Cortafuegos (mm)	Ud	Dimensiones rejilla de sobrepresión (mm)	Ud	Dimensiones rejilla Conducto (mm)	Ud
PASAIA	Seccionamiento de catenaria	400x400	2,5	400x400x240	1	400x415	1	1025x225	1
	Centro de Transformación	700x400	7,5	700x400x240	1	700x415	1	1225x325	2
	Cuarto de Ascensor	400x400	2,5	400x400x240	1	400x415	1	1025x225	1
	Cuarto de Operadores de Telefonía	125 Ø	4	-	-	-	-	125 Ø	1
	Servicio Atención al Cliente	125 Ø	6	-	-	-	-	125 Ø	2
	Cuarto Técnico de Red	125 Ø	3	-	-	-	-	125 Ø	1
	Aseos y vestuarios	125 Ø /200x200	15,5/9,2	200x200x240	2	200x215	1	125 Ø	4
S.E. SASUATEGI	Centro de transformación	800x800	5,3	800x800x240	1	1000x1015	1	1025x225	3

Tabla 18. Conductos de aspiración de la ventilación de los cuartos técnicos

5. Sistema de sobrepresión

5.1. Objeto

Determinar el sistema y tipo de ventiladores adecuados para sobrepresionar las salas en las salidas de emergencia y escaleras de emergencia en las nuevas estaciones del nuevo tramo de línea de Altza-Galtzaraborda. Para ello se han tenido en cuenta los planos “10.Obras singulares” y “11.Estación_Pasaia-

5.2. Datos de inicio

En la salida de emergencia de Sasuategi se construirá un vestíbulo en el principio del túnel con acceso y salida a los mismos mediante puertas dobles de 2x2.3 m.

En Pasaia el acceso a la escalera desde el andén se realiza a través de dos puertas dobles, una a cada lado del mismo y las dos escaleras ascienden hasta confluir para salir con una única puerta doble. Finalmente hay un último tramo de escaleras que conduce hasta la puerta de salida a la calle.

5.3. Metodología de cálculo

El documento DB SI Seguridad en caso de incendio, establece en su Anejo A Terminología, y en su definición de Escalera protegida, se especifica que Escalera protegida es aquella escalera de trazado continuo desde su inicio hasta su desembarco en planta de salida del edificio que, en caso de incendio, constituye un recinto suficientemente seguro para permitir que los ocupantes puedan permanecer en el mismo durante un determinado tiempo.

Para ello se deben cumplir una serie de condiciones que, en lo que respecta a la protección contra el humo, se especifica en su apartado 4:

“4. El recinto cuenta con protección frente al humo, mediante una de las siguientes opciones:

- a) Ventilación natural mediante ventanas practicables o huecos abiertos al exterior con una superficie de ventilación de la menos 1 m² en cada planta.
- b) Ventilación mediante conductos independientes de entrada y salida de aire, dispuestos exclusivamente para esta función y que cumplen las condiciones (especificadas)
- c) Sistema de presión diferencial”

Siendo inviables otras alternativas, se usará el sistema de protección mediante sobrepresión y se seguirán los criterios de la norma UNE EN 12101-6.

5.4. Caudal

Para determinar el caudal necesario para la sobrepresión hay que determinar en primer lugar la clase de sistema en función del uso del edificio en función del uso del mismo, conforme a la tabla 1 de la citada norma.

Tabla 1 – Clases de sistemas

Clase de sistema	Ejemplos de uso	Condiciones diseño
Sistema de clase A	Para medios de escape. Defensa <i>in situ</i>	Apartado 4.2 y figura 2
Sistema de clase B	Para medios de escape y lucha contra incendios	Apartado 4.3 y figura 3
Sistema de clase C	Para medios de escape mediante evacuación simultánea	Apartado 4.4 y figura 4
Sistema de clase D	Para medios de escape. Riesgo de personas dormidas	Apartado 4.5 y figura 5
Sistema de clase E	Para medios de escape, con evacuación por fases	Apartado 4.6 y figura 6
Sistema de clase F	Sistema contra incendios y medios de escape	Apartado 4.7 y figura 7

Figura 3. Tipos de sistemas de sobrepresión

En este caso se parte del supuesto que se puede considerar un sistema de clase C, basada en la hipótesis de que todos los ocupantes del edificio sean evacuados simultáneamente al activarse la señal de alarma de incendio.

Seguidamente hay que hacer una valoración de cuál es el sistema que exige mayor cantidad de aire para lograr la sobrepresión, exigiéndose 2 criterios:

- I. Con las puertas que se encuentran a nivel de la misma planta abiertas
- II. Con todas las puertas cerradas y compensación de las fugas de aire a través de las mismas.

5.4.1. Caudal a puera abierta

Para este sistema, la norma EN-12101-6 indica lo siguiente:

“4.4.2.1. Criterio de flujo de aire.

La velocidad del flujo de aire a través de la puerta entre un espacio presurizado y el área de alojamiento no debe ser inferior a 0.75 m/s siempre que:

- a) estén abiertas, en el piso del incendio, las puertas entre el alojamiento y la escalera presurizada y el vestíbulo;
- b) estén abiertos los trayectos de escape de aire al exterior desde el alojamiento, en la planta afectada, en la que se realice la medición de la velocidad del aire;
- c) permanezcan cerradas todas las demás puertas excepto las de la planta siniestrada.

5.4.1.1. Diferencia de presión

La diferencia de presión a ambos lados de una puerta cerrada entre el espacio presurizado y el área de alojamiento debe tener el valor que se indica en la tabla 3.”

Tabla 3 – Presiones diferenciales mínimas para los sistemas de clase C

Posición de las puertas	Valor mínimo de la presión diferencial a mantener, mín.
i) Las puertas entre el área de alojamiento y el espacio presurizado están cerradas en todas las plantas	50 Pa
ii) Todas las puertas entre la escalera presurizada y la salida final están cerradas	
iii) Las aberturas de escape de aire al exterior, desde el área de alojamiento en la planta incendiada en la que se mida la presión diferencial, están abiertas	
iv) La puerta final de salida está cerrada.	
v) La puerta final de salida está abierta, y se cumplen los apartados i) al iii) anteriores	10 Pa
NOTA Se admite un margen de tolerancia de ± 10% en la aceptación de los resultados de los ensayos.	

Figura 4. Presiones mínimas para los sistemas de clase C

Por tanto, en la salida de emergencia de Sasuategi la sección de la puerta es 2 x 2,3 m². El caudal necesario será de:

$$Q(m^3/s) = V(m/s) \times S(m^2)$$

$$Q = 0,75 \times (2 \times 2,3) = 3,45 m^3/s = 12.420 m^3/h$$

En el caso de las escaleras de emergencia de Pasaia, existen 2 puertas que acceden a la salida de emergencia, por lo tanto el caudal a contemplar es el doble.

$$Q = 0,75 \times 2 \times (2 \times 2,3) = 6,9 m^3/s = 24.840 m^3/h$$

Si bien en el apartado de la norma se indica:

“11.02.2. El caudal previsto en una situación de puertas abiertas no debe ser inferior al caudal calculado de aire a impulsar, o extraer, de todos los espacios presurizados o despresurizados, respectivamente, servidos por sus correspondientes ventiladores, caudal total que se incrementará en un 15 % para cubrir posibles fugas a través de los conductos”

no se aplicará este criterio a estas instalaciones ya que el supuesto conducto se ubicará ya dentro del espacio a proteger.

5.4.2. Caudal con las puertas cerradas

El cálculo del caudal necesario para la sobrepresión de la escalera se realizará mediante el método de flujo de aire que fluye por una abertura. Éste caudal se puede obtener en función del área de dicho hueco, y de la diferencia de presión entre ambos lados de la abertura, mediante la siguiente ecuación:

$$Q = 0,83 \times A_e \times P^{1/R}$$

Nota: En el caso de resquicios anchos, como los que se forman alrededor de las puertas y de grandes aberturas, el valor de R puede tomarse como 2.

Donde A_e es la suma de todas las áreas de fuga (puertas) y P la presión a la que se quiere mantener la sobrepresión (50 Pa)

5.4.2.1. Area de fugas

Nota: En el caso de resquicios anchos, como los que se forman alrededor de las puertas y de grandes aberturas, el valor de R puede tomarse como 2.

Donde A_e es la suma de todas las áreas de fuga (puertas) y P la presión a la que se quiere mantener la sobrepresión (50 Pa)

Tabla A.3 – Datos de fuga de aire a través de puertas

Tipo de puerta	Área de fuga m ²	Diferencial de presión, Pa	Fuga de aire m ³ /s
Puerta de una hoja, que abre hacia un espacio presurizado	0,01	8	0,02
		15	0,03
		20	0,04
		25	0,04
		50	0,06
Puerta de una hoja, que abre hacia fuera del espacio presurizado	0,02	8	0,05
		15	0,06
		20	0,07
		25	0,08
		50	0,12
Puerta de dos hojas	0,03	8	0,07
		15	0,10
		20	0,11
		25	0,12
		50	0,18
Puerta de rellano de ascensor	0,06	8	0,14
		15	0,19
		20	0,22
		25	0,25
		50	0,35

Figura 5. Datos de fuga del aire a través de puertas

5.4.2.2. Diferencia de presión

Por lo que se refiere a la diferencia de presión, la propia norma solicita un valor de 50 Pa respecto al recinto anexo.

5.4.2.3. Caudal

El caso más desfavorable (Pasaia) serían 6 puertas dobles, lo que implica una superficie de fuga de $6 \times 0,03 = 0,18$ m², y en consecuencia un caudal de

$$Q = 0,83 \times 0,18 \times 50^{1/2} = 1,056 \text{ m}^3/\text{s} = 3803,1 \text{ m}^3/\text{h}$$

Dado que en el apartado A.3.2. Cálculo del flujo de aire apartado b, se especifica:

“Basándose en la experiencia, el citado caudal de aportación total se debería determinar añadiendo al menos el 50 % del índice de fuga calculado”

Luego el caudal real a suministrar sería de:

$$Q = 3803,1 \times 1,5 = 5704,65 \text{ m}^3/\text{h}$$

inferior al necesario para conseguir la velocidad de paso de aire de 0,75 m/s a través de la sección de las puertas abiertas en la estación, por lo que se considerará el criterio de velocidad a nivel de las puertas abiertas en todos los espacios.

5.5. Instalación propuesta

Además del caudal se tendrán en cuenta los siguientes criterios:

“11.6.1

Para reducir el fallo de energía eléctrica en un incendio, es imprescindible contar con una fuente de alimentación secundaria, como un generador una subestación independiente, con capacidad suficiente para mantener el suministro de energía eléctrica a las instalaciones de salvamento y protección contra incendios, incluidos los sistemas de control de humo, los sistemas de presión diferencial y los equipos auxiliares.”

Estos ventiladores irán alimentados a través de un Sistema de Alimentación Ininterrumpida (SAI). Estos equipos están contemplados dentro del Proyecto de Instalaciones Eléctricas de Altza-Galtzaraborda.

“11.7.2.3 El sistema de presión diferencial se debe diseñar de acuerdo con los siguientes criterios:

Donde los equipos del sistema de presión diferencial suministren aire a presión a la única vía de evacuación de un edificio, se debe prever un ventilador de reserva completo, con su motor”.

Se entiende que el tramo de línea de Altza-Galtzaraborda dispone de una salida de emergencia a lo largo de la línea, además las propias estaciones son salidas de emergencia en si mismas, por lo que se entiende que no se dispone de una única vía de evacuación. Por lo tanto, no es necesario la aplicación de este criterio.

“5.2.2.3 En edificios de altura igual o superior a 11 m, los puntos de aire deben distribuirse uniformemente en toda la altura de la caja de escalera, y la distancia máxima no puede exceder de 3 plantas”

Este criterio no ocurre ni en Sasuategi ni en Pasaia por lo que no es necesario tenerlo en cuenta.

5.5.1. Salida de emergencia de Sasuategi

Se trata de una instalación con salida a través de la galería prevista para evacuación, que en su extremo próximo al túnel dispondrá de un vestíbulo independiente con dos puertas dobles (una hacia túnel y otra hacia galería): Siendo este el recinto a proteger. se deberá seguir el mismo criterio que las escaleras.

Teniendo en el extremo de la galería una salida al exterior con rejilla de ventilación de intemperie, y estimando que ésta estará abierta al exterior. Esta permitirá el paso del caudal necesario de 12.420 m³/h, bastará con instalar un simple ventilador axial mural desde el otro extremo de la galería, descargando al vestíbulo, pero lo más alejado posible de la puerta de acceso para evitar una excesiva corriente de aire directa sobre dicha puerta, junto con una simple defensa.

Como sistema de control se propone la automatización mediante un variador de frecuencia y una sonda de presión diferencial, conectadas según se indica en el siguiente esquema:

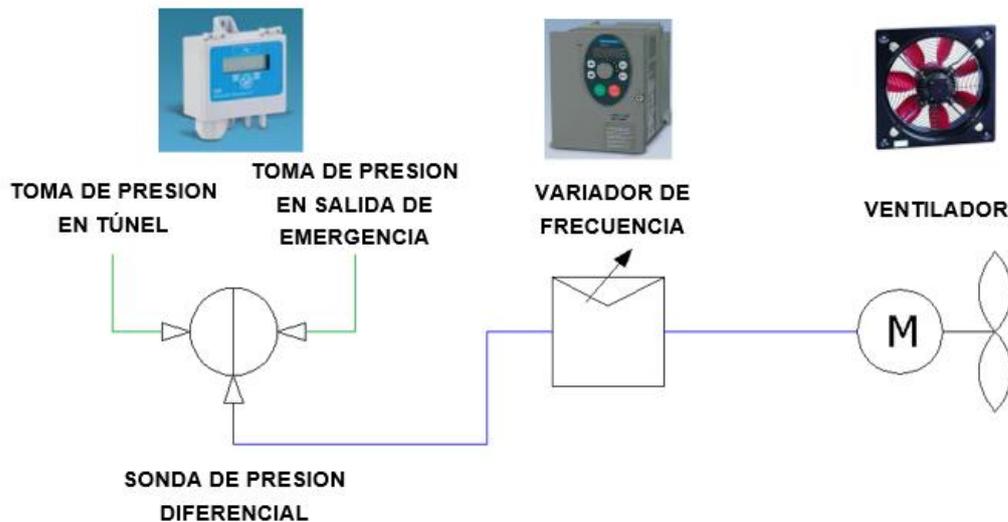


Figura 6. Sistema de control de la ventilación de sobrepresión de Sasuategi

El sistema debe provocar que, en caso de incendio y cuando se abran las puertas de escalera, el ventilador funcione a su máxima velocidad, garantizándose una circulación de aire mínima de 0.75 m/s a través de la sección de las puertas; mientras que, si las puertas se cierran, se deberá reducir la velocidad del ventilador en funcionamiento hasta que la sobrepresión interior se establezca en 50 Pa.

5.5.2. Escalera de Pasaia

Las escaleras de emergencia disponen de un recorrido de evacuación que van desde el extremo de los andenes y ascienden por una escalera de evacuación hasta dar al exterior. A nivel de vestíbulo, se sitúa un acceso a una zona de cuartos técnicos y finalmente una escalera común conduciría hacia la calle. El caudal a aportar en esta salida es de 24.840 m³/h.

Para presurizar estas salidas, se instalarán dos nuevos tabiques de forma que aislen cada una de las escaleras que van del andén hasta el vestíbulo por el cual finalmente se accede al exterior. En cada uno de estos tabiques se instalará un ventilador mural, siendo necesario un hueco constructivo de 710x710 para instalarlo. Por lo tanto, como se van a presurizar dos recintos, el caudal a aportar en cada recinto sería de 12.420 m³/h.

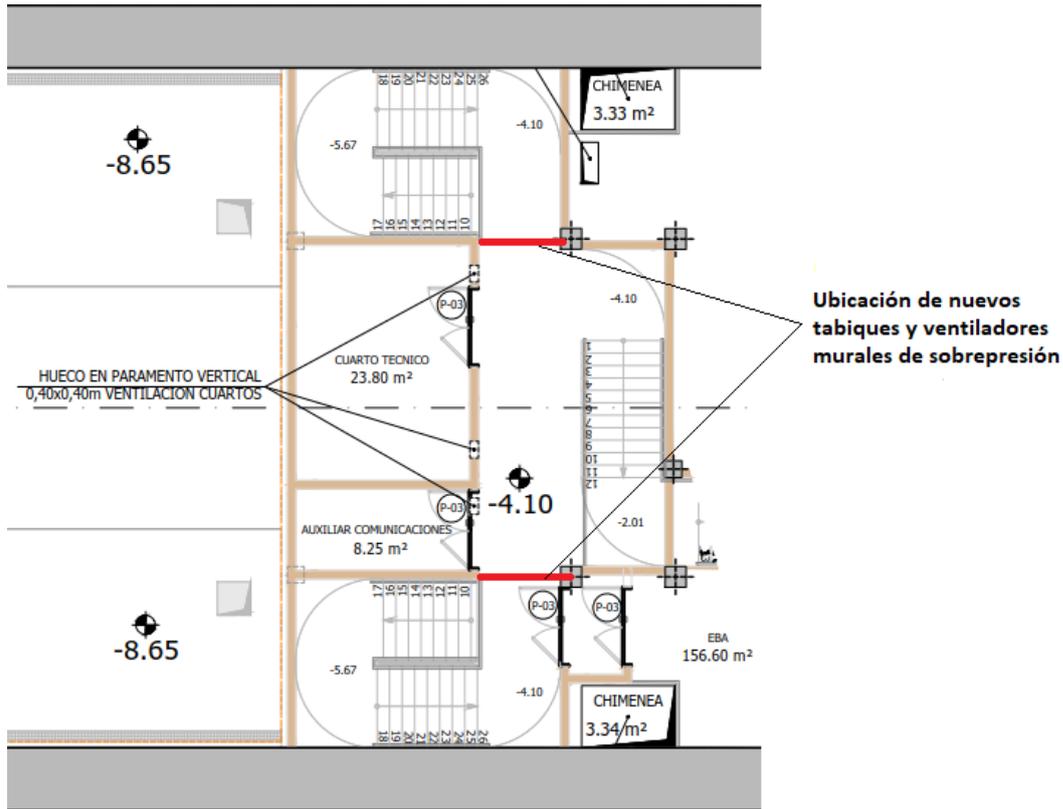


Figura 7. Detalles de ventilación de sobrepresión de Pasaia

Al lado de la puerta de acceso al exterior se colocará una rejilla exterior de dimensiones 1200x800 mm para renovar el aire del vestíbulo.

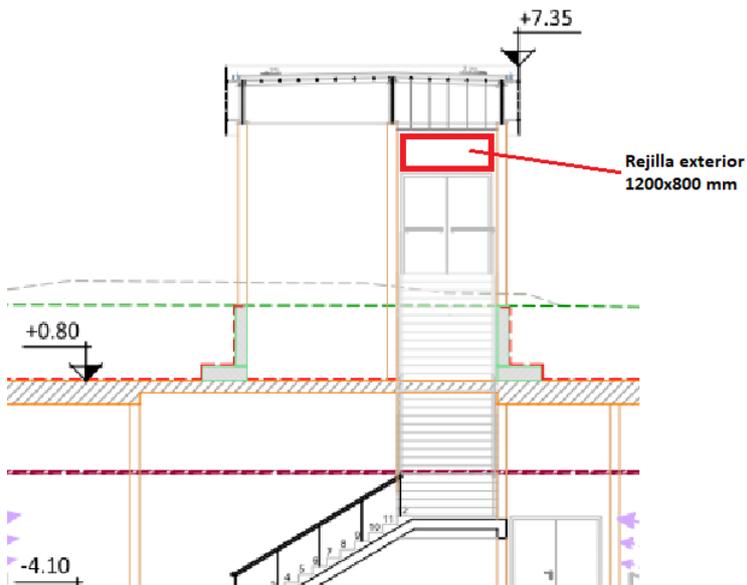


Figura 8. Detalle rejilla exterior de Pasaia

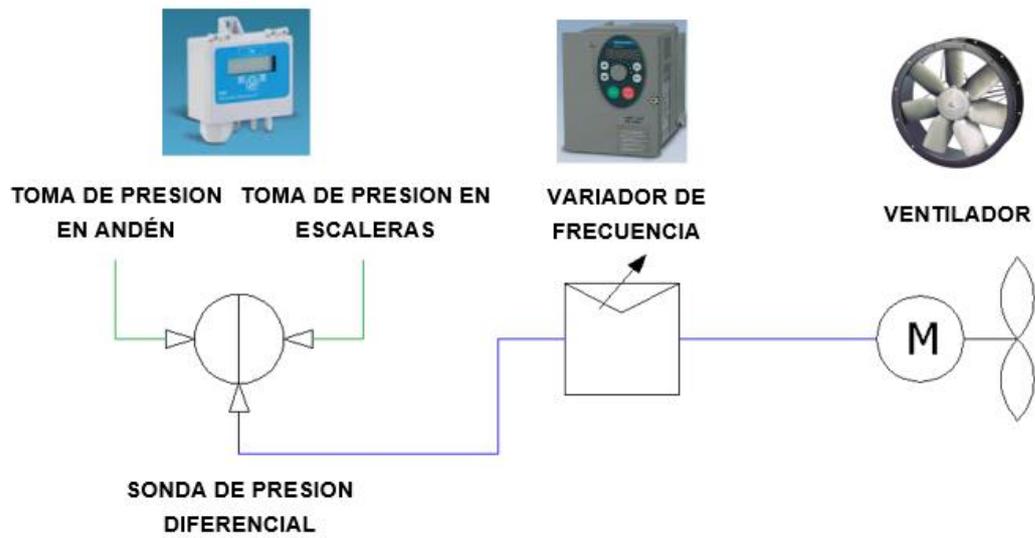


Figura 9. Sistema de control de la ventilación de sobrepresión de Pasaia

5.6. Resultados

A continuación, se incluye una tabla que muestra los resultados de los cálculos llevados a cabo y, en relación a estos, la elección tomada de los ventiladores y de los variadores de frecuencia con sonda de presión asociada.

Estación	Cuarto	Velocidad (m/s)	Nº Puertas	Dimensión de puertas (m)	Q(m ³ /s)	Q(m ³ /h)	Tipo de Ventilador	Tipo de alimentación	Nº de polos	Potencia (W)	Q (m ³ /h)	Dimensiones Rejilla Exterior (mm)	Variador de Frecuencia	Sonda de presión diferencial
S.E. Sasuaitegi	Vestíbulo	0,75	1	2x2,3	3,45	12420	Helicoidal Mural	Trifásico	4	1348	12760	1200x825	1,1 KW	Entre Túnel y Vestíbulo
Pasaia	Escalera	0,75	1	2x2,3	3,45	12420	Helicoidal Mural	Trifásico	4	1348	12760	1200x825	1,1 KW	Entre Salida de Emergencia y Andén
	Escalera	0,75	1	2x2,3	3,45	12420	Helicoidal Mural	Trifásico	4	1348	12760			

Tabla 19. Resumen ventilación de sobrepresión