PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE LA REDUCCIÓN DE LA CONGESTIÓN Y DE LA VULNERABILIDAD EN LA RED BÁSICA TRANSEUROPEA (TEN-T), EN LOS ACCESOS A LOS ELEMENTOS Y NODOS DEL CORREDOR ATLÁNTICO EN BILBAO Y EN EL ÁREA METROPOLITANA DE BIZKAIA: MALLADO DE LA RED MEDIANTE LA CONEXIÓN BI-637 CON A-8, VSM/E-70 Y BI-628 ENTRE MÁRGENES

Anejo 09. Instalaciones de seguridad en túneles. Ventilación.

Control de firmas				
Realizado	Revisado	Supervisor de la Disciplina	Supervisor General	Aprobado
Chrysa Koulani Francisco Sanjaime Pascual (SENER)	Santiago Vilariño Paez (SENER)	Juan Manuel Sanz (SENER)		Eduardo Rivero (SENER)
Fecha y Firma 28/10/2022	Fecha y Firma 28/10/2022	Fecha y Firma 28/10/2022	Fecha y Firma 28/10/2022	Fecha y Firma 28/10/2022
No precisa firma si está aprobado electrónicamente mediante ruta				

Información del Documento	
Código Documento	TSL-EM-DB-01-01-AN-0009
Revisión	00

Registro de cambios

Rev	Fecha	Autor	Sección afectada	Cambios
00	28/10/2022	Chrysa Koulani Francisco Sanjaime Pascual	Capítulo 1 a 6 Capítulo 7	Versión Inicial

INDICE

1 OBJETIVO Y ALCANCE 5
2 LISTADO DE ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS. 5
3 NORMAS Y DOCUMENTOS DE REFERENCIA 5
4 INTRODUCÍON 6
4.1 Características principales del túnel 6
4.2 Decreto Foral de Seguridad de Túneles de Carreteras 6
4.3 Clasificación del túnel de Lamiako 6
5 VENTILACIÓN DEL TÚNEL 7
5.1 Tipos de sistemas de ventilación 7
5.1.1 Ventilación natural 7
5.1.2 Ventilación longitudinal 8
5.1.3 Ventilación longitudinal con extracción masiva de humo 8
5.1.4 Ventilación semi-transversal 9
5.1.5 Ventilación transversal 9
5.2 Análisis del Marco Normativo y Recomendaciones 9
5.3 Elección del tipo de ventilación 10
5.4 Estrategias de Ventilación 11
5.4.1 Operación de Emergencia 11
5.4.2 Operación Normal 14
5.4.3 Zonas de ventilación 14
5.5 Criterios de Diseño 14
5.5.1 Operación de Emergencia 14
5.5.2 Operación normal 16
5.6 Metodología 16
5.6.1 Modelo 16
5.6.2 Características principales del túnel 16
5.6.3 Condiciones Climáticas 17
5.6.4 Temperatura de Pared 17
5.6.5 Presión - Velocidad del Viento Exterior 17
5.6.6 Ventiladores Tipo Jet Fan 17
5.6.7 Ventiladores Axiales 18
5.7 RESULTADOS 18
5.7.1 Escenario 1: Incendio en el tubo Este 18
5.7.2 Escenario 2: Incendio en el tubo Oeste 19
5.7.3 Escenario 3: Incendio en la caverna Este 19
5.7.4 Escenario 4: Incendio en ramal 20
5.8 Configuración del Sistema 21
5.8.1 Ventiladores tipo jet fan 21
5.8.2 Ventiladores axiales 22
5.9 Control de la Calidad Ambiental 23
5.9.1 Cálculo de emisiones 23
5.9.2 Control de ventilación 24
6 VENTILACIÓN DE SOBREPRESIÓN 24
6.1 Introducción 24
6.2 Criterios de diseño 25
6.3 Cálculo 25
6.4 Configuración del sistema 25
7 VENTILACIÓN Y CLIMATIZACIÓN DE LOS CUARTOS TÉCNICOS 27
7.1 Introducción 27
7.2 Requisitos de la norma 28
7.3 Ventilación de salas y cuartos técnicos 28
7.4 Descripción del sistema 29
7.5 Cálculos preliminares. 30
7.6 Resultados 31
7.7 Climatización de salas y cuartos técnicos 38
8 APENDICE A – CÁLCULO DE EMISIONES 41

FIGURAS

Figura 1 Planta y Perfil del túnel. Fuente: SENER 6
Figura 2 Gráfico de categorización para túneles nuevos. 6
Figura 3 Análisis de clasificación del túnel. 7
Figura 4 Ventilación natural 7
Figura 5 Ejemplo de perfil de concentración de contaminantes en un túnel con circulación unidireccional 8
Figura 6 Ventilación longitudinal 8

Figura 7 Ventilación longitudinal con un pozo de extracción 8
Figura 8 Ventilación semi-transversal 9
Figura 9 Ventilación transversal 9
Figura 10 Requerimiento para el sistema de ventilación según la DF 91/2012 10
Figura 11 Configuración de la boca de Artaza 11
Figura 12 Estrategia de ventilación en caso de incendio en el tubo Este (Fuente: Archivo Navis) 12
Figura 13 Estrategia de ventilación en caso de incendio en el tubo Oeste (Fuente: Archivo Navis) 12
Figura 14 Estrategia de ventilación en caso de incendio en la caverna del tubo Este 13
Figura 15 Estrategia de ventilación en caso de incendio en el ramal Subfluvial – Avanzada 13
Figura 16 Estrategia de ventilación en caso de incendio en el ramal Avanzada – Subfluvial 13
Figura 17 Estrategia de ventilación en operación normal 14
Figura 18 Ventilación con (a) backlayering (b) sin backlayering (Fuente: Elaboración propia) 14
Figura 19 Ventilación contra el efecto chimenea (Fuente: Elaboración propia) 15
Figura 20 Posición de incendio más desfavorable a lo largo de tubo oeste y este, respectivamente. (Fuente: Elaboración propia) 15
Figura 21. Ventilación semi-transversal mediante rejillas telecomandadas (Fuente:PIARC [11] y elaboración propia) . 15
Figura 22 Modelo de simulación del tubo Este y los ramales asociados 16
Figura 23 Modelo de simulación del tubo Oeste y los ramales asociados 16
Figura 24 Condiciones climáticas consideradas (Fuente: Ashrae) 17
Figura 25 Configuración de instalación de los ventiladores tipo jet fan (Fuente: Elaboración propia) 18
Figura 26 Modelo de simulación para escenario 1: Incendio en el tubo Este (Fuente: Elaboración propia) 18
Figura 27 Velocidad de aire lograda en el túnel para el escenario de incendio 1 (Fuente: Elaboración propia) 19
Figura 28 Modelo de simulación para escenario 2: Incendio en el tubo Oeste (Fuente: Elaboración propia) 19
Figura 29 Velocidad de aire lograda en el túnel para el escenario de incendio 2 (Fuente: Elaboración propia) 19
Figura 30 Modelo de simulación para escenario 3: Incendio en la caverna Este (Fuente: Elaboración propia) 20
Figura 31 Velocidad de aire lograda en el túnel para el escenario de incendio 3 (Fuente: Elaboración propia) 20
Figura 32 Modelo de simulación para escenario 4: Incendio en el ramal Subfluvial – Avanzada (Fuente: Elaboración propia) 20
Figura 33 Modelo de simulación para escenario 4: Incendio en el ramal Avanzada - Subfluvial (Fuente: Elaboración propia) 20
Figura 34 Velocidad de aire lograda en el túnel para el escenario de incendio 4 en el ramal Subfluvial – Avanzada (Fuente: Elaboración propia) 21
Figura 35 Velocidad de aire lograda en el túnel para el escenario de incendio 4 en el ramal Avanzada - Subfluvial (Fuente: Elaboración propia) 21
Figura 36 Configuración de los ventiladores axiales en CT4 (Fuente: Elaboración propia) 22
Figura 37 Configuración del sistema de sobrepresión en planta para la galería de CT2 26
Figura 38 Configuración del sistema de sobrepresión en sección para (a) la galería de CT2 y (b) una galería peatonal 27

TABLAS

Tabla 1 Datos de tráfico año 2048 6
Tabla 2 Ventajas y desventajas de la ventilación natural 7
Tabla 3 Ventajas y desventajas de la ventilación longitudinal 8
Tabla 4: Ventajas y desventajas de la ventilación longitudinal con un pozo de extracción 8
Tabla 5 Ventajas y desventajas de la ventilación semi-transversal 9
Tabla 6 Ventajas y desventajas de la ventilación transversal 9
Tabla 7 Estudio de normativa y recomendaciones sobre necesidad de un sistema de ventilación para un túnel similar. 10
Tabla 8 Zonas de ventilación 14
Tabla 9 Velocidad critica en caso de incendio en tronco (Fuente: Elaboración propia). 15
Tabla 10 Área seccional (Fuente: Elaboración propia) 16
Tabla 11 Perfiles longitudinales (Fuente: Elaboración propia) 16
Tabla 12 Características de los ventiladores tipo jet fan 17
Tabla 13 Características de los ventiladores axiales 18
Tabla 14 Ubicación de los ventiladores tipo jet fan (Fuente: Elaboración propia) 22
Tabla 15 Composición del parque móvil usado para calcular las tasas de emisión base para el año 2018 (Fuente: Table 7 PIARC [11]) 23
Tabla 16 Composición del parque móvil en cuando al carburante (Fuente: Elaboración propia). 23
Tabla 17 Factores de tiempo para vehículos (a) VL (b) VLC (c) VP (Fuente: Table 14, Table 23 y Table 28 PIARC [11]) 23
Tabla 18 Tasas de emisiones base de partículas no procedentes de la combustión (opacidad) para (a) VL (b) VP (Fuente: Table 16, Table 23 y Table 28 PIARC [11]) 24
Tabla 19 Factor de masa (Fuente: Table 27 PIARC [11]) 24
Tabla 20 Geometría de los vestíbulos y puertas de emergencia 25
Tabla 21 Características de los ventiladores de sobrepresión 27
Tabla 22: Cargas térmicas estimadas 32
Tabla 23: Resultados del cálculo de necesidades de ventilación para cada uno d ellos cuartos técnicos 33
Tabla 24: relación de ventiladores a instalar 34
Tabla 25: Resultados del cálculo de necesidades de climatización para los cuartos técnicos Fuente: Elaboración propia 39
Tabla 26: Equipos climatizadores a implantar Fuente: Elaboración propia 40

1 OBJETIVO Y ALCANCE

El presente documento presenta el estudio y dimensionamiento de los sistemas y equipos pertenecientes a la ventilación, presurización y climatización del túnel Subfluvial de Lamiako. El túnel y las dependencias asociadas deberán de disponer de tipos de ventilación las cuales, funcionarán en distintos modos dependiendo de las necesidades que sean requeridas, en este caso:

- Ventilación del túnel
  - Ventilación sanitaria o de servicio.
  - Ventilación de emergencia.
- Ventilación de sobrepresión para las galerías de emergencia
  - Ventilación de renovación de aire.
  - Ventilación de emergencia.
- Ventilación y climatización de salas y cuartos técnicos.
  - Ventilación de los cuartos técnicos
  - Climatización de los cuartos técnicos

Por lo tanto, el documento muestra los criterios de diseño, las hipótesis asumidas y los cálculos de ventilación del túnel y de los cuatros técnicos, climatización de salas técnicas y presurización de las galerías de emergencia

2 LISTADO DE ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS.

Acrónimo	Descripción
IMD	Intensidad Media Diaria de trafico
CETU	Centre d'Études des Tunnels
DF	Decreto Foral 91/2012
NFPA	National Fire Protection Association
PIARC	Asociación Mundial de la Carretera
RF	Resistencia al fuego
VL	Vehículos Ligeros
VLC	Vehículos Ligeros Comerciales
VP	Vehículos Pesados
PM	Partículas sólidas
CT	Cuarto Técnico
FDS	Fire Dynamics Simulator
PLC	Programmable logic controller
RAE	American Society for Heating, Refrigerating and Air Conditioning for Engineers
MT	Media Tensión
PCI	Protección Contra Incencdios
SAI	Sistema alimentacion Interrumpida
CT	Cuarto Técnico/Centro Transformación
CGBT	Cuadro General de Baja Tensión
UTA	Unidad de Tratamiento de Aire
ODA	Clasificación del aire exterior
IDA	Clasificación básica de la calidad del aire interior
VRF	Caudal de refrigerante variable
HVAC	Heating Ventilation and Air Conditioning
NFPA	National Fire Protection Association
Splits	Unidades terminales climatización

3 NORMAS Y DOCUMENTOS DE REFERENCIA

Los normativas utilizadas son:

[1]. Decreto Foral de la Diputación Foral de Bizkaia 91/2012, de 24 de abril, por el que se aprueban las Instrucciones Técnicas de Seguridad y Explotación en Túneles de Carreteras
[2]. Metodología de Análisis de Riesgo en Túneles de la Red de Carreteras de Bizkaia (MARTBI)
[3]. Decreto Foral 135/2006, de 23 de agosto, sobre Seguridad de Túneles de Carreteras.
[4]. Directiva Europea 2004/54/CE, sobre requisitos mínimos de seguridad para túneles de la red transeuropea de carreteras.
[5]. RD 17/2021 Real Decreto por el que se aprueba el reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE)
[6]. NFPA 502 2014 Estándar de los túneles de carretera, puentes, y otras carreteras de acceso limitado
[7]. NFPA 1-2018 Fire Code
[8]. Circulaire interministérielle 2006-20 du 29 mars 2006, relative à la sécurité des tunnels routiers d'une longueur supérieure à 300 mètres. CETU
[9]. Real Decreto 635/2006, sobre requisitos mínimos de seguridad en los túneles de carreteras del Estado.
[10]. UNE-EN 12101-6:2006 Sistema para el control e humo y de calor. Parte 6: Especificaciones para los sistemas de diferencial de presión. Equipos.
[11]. Informes técnicos de la Asociación Mundial de Carreteras (PIARC, en sus siglas inglesas)
[12]. ASHRAE Handbook
[13]. UNE-EN 12101-6 Sistemas para el control de humo y de calor. Parte 6: Especificaciones para los sistemas de diferencial de presión. Equipos.
[14]. UNE 13779 Ventilación de edificios no residenciales
[15]. UNE-EN ISO 16890 Filtros de aire utilizados en ventilación general.
[16]. ISO 6944-1:2008 Fire resistence test ventilation on ducts.

Los documentos de referencia utilizados son:

[17]. TSL-EM-DB-01-01-DR-91101-Planta trazado Ventilación
[18]. TSL-EM-DB-01-01-DR-91110 – 91116 Planos Ventilación en planta
[19]. TSL-EM-DB-01-01-DR-91120 – 91124 Esquemas Ventilación
[20]. TSL-TU-DB-01-01-NT-05019-Analisis y definición de las secciones tipo
[21]. C. Stacey, M. Beyer "Critical of Critical Velocity – An Industry Practitioner´s Perspective", 10th International Conference Tunnel Safety and Ventilation 2020, Graz

4 INTRODUCÍON

4.1 Características principales del túnel

El futuro túnel "Subfluvial de Lamiako" será un túnel urbano conectando Portugalete y Getxo. El túnel tendrá una longitud de aproximadamente 3263.5 m y un trazado según lo dispuesto en la Figura 1.

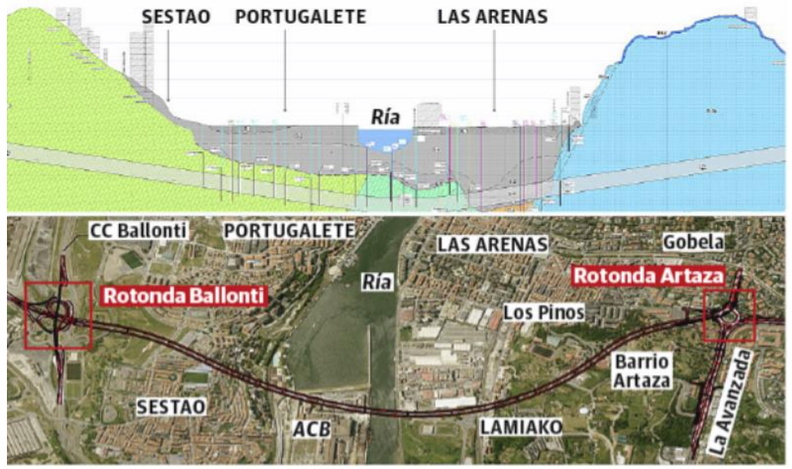


Figura 1 Planta y Perfil del túnel. Fuente: SENER

El túnel es unidireccional con dos tubos para cada sentido. Cada tubo cuenta con dos carriles para la circulación, a excepción de la boca Este (Artaza) donde cuentan con ramales de salida y de incorporación, existiendo una zona con tres carriles.

El túnel se construirá como túnel en mina y habrá tramos en la boca de Artaza que se construirán mediante pantallas (método Cut & Cover). A lo largo del túnel habrá 12 galerías de evacuación de interconexión entre ambos tubos que serán ubicadas en distancia de 255 m y una de cada cinco gallerías serán galerías de paso de vehículos. Además, habrá 5 escaleras de emergencia que saldrán directamente al exterior cerca de la rotonda de Artaza.

El túnel está dotado con 4 cuartos técnicos donde se alojará equipo electromecánico, el CT1 y CT4 están ubicados en la rotonda de Ballonti y Artaza, respectivamente y el CT2 y CT3 a lo largo de túnel (PK 1+1460 y 2+780).

La velocidad de tráfico es 80 km/h y se permite la circulación de mercancías peligrosas.

En relación con la intensidad de vehículos para el año 2048 se espera (+20 años de apertura) los niveles de tráfico siguientes:

Sentido	IMD	Reparto	% Pesados
NORTE	33.410	50.99%	2%
SUR	32.111	49.01%	

Tabla 1 Datos de tráfico año 2048

4.2 Decreto Foral de Seguridad de Túneles de Carreteras

El Decreto Foral 135/2006[i] establece una clasificación de túneles atendiendo a su nivel de riesgo, definiéndose tres tipos de clases: I, II y III, siendo los de clase I los de mayor riesgo. Esta clasificación se lleva a cabo teniendo en cuenta la longitud del túnel, el volumen previsto de tráfico de vehículos, el sentido de circulación por tubo (uno o doble) y otros factores, como la pendiente y trazado del túnel.

En cuanto a las longitudes el Decreto Foral establece tres umbrales:

- L1 = 500 metros
- L2 = 350 metros
- L3 = 200 metros

Para el nivel de circulación de servicio se establece un umbral definido como NS1, que tiene en cuenta la posibilidad de congestión en el túnel en un plazo cercano. Las condiciones en las que se supera el umbral NS1 son las siguientes:

- Nivel de Servicio C, D, E o F para Túneles Nuevos.
- Existe una confluencia, bifurcación o trenzado de vías en el interior del túnel.
- Existe la pérdida de carril, una convergencia, una divergencia o una regulación de prioridad (semáforo, rotonda, ceda el paso u otra) a menos de 450 metros de la boca de salida.

El Decreto foral muestra un gráfico para la categorización de un túnel nuevo.

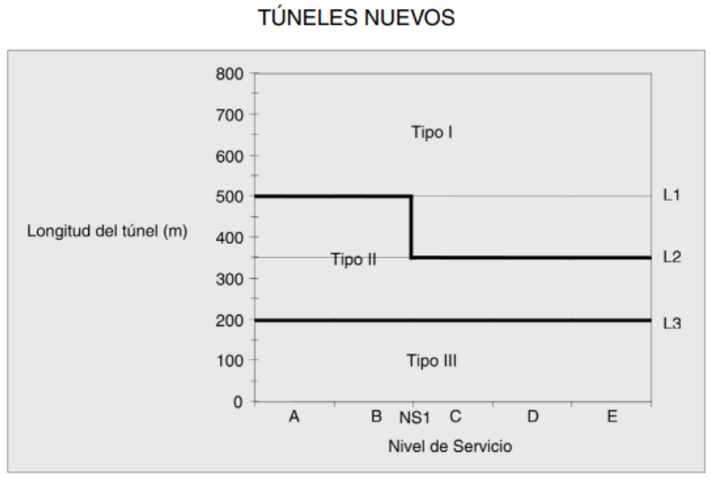


Figura 2 Gráfico de categorización para túneles nuevos.

Fuente: Decreto Foral 91/2012 de la Diputación Foral de Bizkaia

4.3 Clasificación del túnel de Lamiako

Atendiendo a las dimensiones del túnel "Subfluvial de Lamiako", según el Decreto Foral 135/2006 le correspondería una categoría TIPO I (con características especiales). En la siguiente imagen se puede comprobar como debido a sus peculiaridades (longitud, confluencia, bifurcación o trenzado de vías en el interior del túnel, rotondas y regulación a menos de 450 metros de las bocas y además posibilidad de retenciones en su interior) el túnel se encuentra muy por encima del límite marcado como TIPO I por el DF.

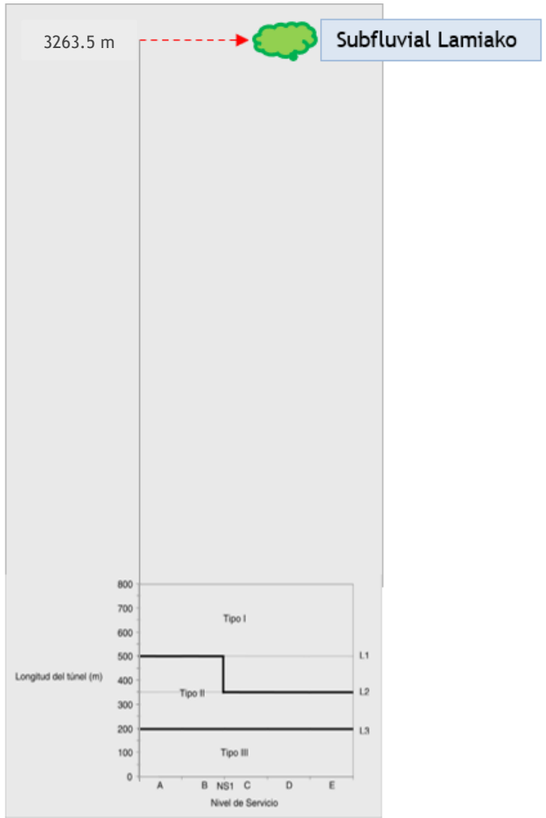


Figura 3 Análisis de clasificación del túnel.

Fuente: Decreto Foral 91/2012 de la Diputación Foral de Bizkaia

5 VENTILACIÓN DEL TÚNEL

El sistema de ventilación del túnel tiene como objetivo fundamental alcanzar los mayores niveles de seguridad posibles durante la explotación normal del túnel o durante una situación de emergencia. Por lo tanto, las dos funciones importantes que el sistema de ventilación tiene que cumplir son:

- Permite controlar y evacuar los contaminantes que se concentran en el interior de los túneles.
- Permite, en caso de incendio, mantener libre de humos las zonas habitadas de los túneles para facilitar la evacuación segura de los usuarios.

Para conseguir estos objetivos, se tiene que inducir una corriente de aire fresco que desplaza el aire dentro del túnel, tanto para evacuar el aire contaminado como para mantener el humo fuera de la zona ocupada por las personas.

Por lo tanto, se tendrá que dimensionar el sistema teniendo en cuenta:

- Las emisiones de contaminantes de los vehículos de la carretera cuando el tráfico es normal, denso y parado.
- El control del calor y el humo en caso de incendio.

5.1 Tipos de sistemas de ventilación

Existen muy diversas tipologías de sistemas de ventilación en túneles. No obstante, para establecer la terminología empleada en este Proyecto a continuación se han recopilado y descrito, de forma simplificada, las tipologías empleadas. Se ha seguido el criterio PIARC por el que un túnel se clasifica atendiendo a su modo de funcionamiento en servicio.

5.1.1 Ventilación natural

La ventilación natural consiste en dejar que sea la propia circulación natural del aire por el túnel la que se encargue de evacuar los humos que se producen en su interior. Se considera que el movimiento de los vehículos inducirá la ventilación del túnel por efecto pistón.

En todo túnel se produce, de manera natural, una cierta circulación de aire en su interior, debido a la diferencia de presión existente entre ambas bocas. Esta diferencia de presión puede estar ocasionada por una diferencia de temperaturas entre ambos extremos del túnel, por diferencias de cota o por la dirección del viento. En caso de incendio el humo se estratifica en la parte superior y sale por la boca más cercana y de mayor cota.

La ventilación natural opera según la climatología del momento, y normalmente solamente es suficiente para renovar el aire de un túnel cuando éste es muy corto o cuando la intensidad del tráfico que por él circula es muy pequeña

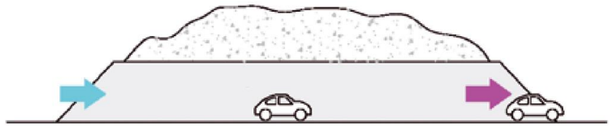


Figura 4 Ventilación natural

Fuente: PIARC

Ventajas	Desventajas
Coste de inversión y mantenimiento inexistente	Altamente dependiente de las condiciones atmosféricas
Para túneles cortos con poco tráfico	No permite ningún control en caso de incendio

Tabla 2 Ventajas y desventajas de la ventilación natural

Fuente: Elaboración propia

Con circulación unidireccional el efecto pistón de los vehículos en conjunto con la diferencia de presión, temperatura y viento en ambos portales genera una corriente de aire a lo largo del túnel que normalmente ocurre hacia la misma dirección que la dirección del tráfico. El perfil de concentración de contaminantes en un túnel con circulación unidireccional se aumenta hacia la boca de la salida del túnel (ver ejemplo en la Figura 5) y por lo tanto para un túnel tan largo como el Subfluvial de Lamiako la corriente del aire longitudinal generada por el efecto pistón no es adecuada para el control ambiental en condiciones normales de tráfico.

Además, dicha estrategia no se puede emplear en caso de trafico congestionado pues una inducción del efecto pistón es difícil de conseguir. Sin embargo, en caso de incendio los inconvenientes de seguridad son tan grandes que esta configuración no es aceptable bajo ningún concepto.

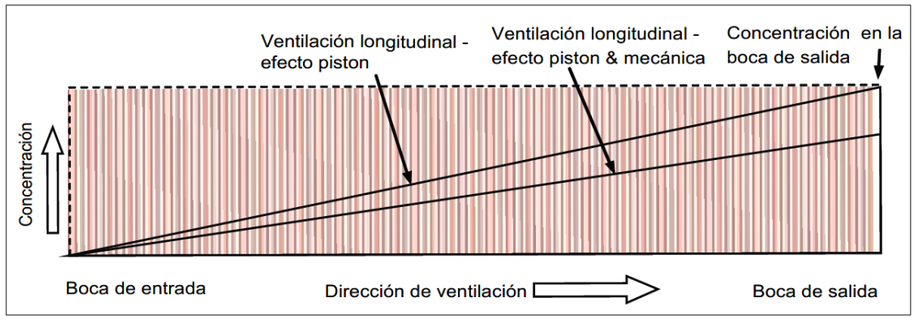


Figura 5 Ejemplo de perfil de concentración de contaminantes en un túnel con circulación unidireccional

Fuente:PIARC

5.1.2 Ventilación longitudinal

El sistema de ventilación longitudinal se basa en el uso de ventiladores instalados en la bóveda o hastiales que fuerzan la circulación natural del aire a lo largo del túnel. Por una de las bocas entra aire fresco y por la boca contraria sale el aire viciado. El sentido de circulación del aire es conveniente que coincida con el de la circulación de los vehículos cuando el túnel es unidireccional, con objeto de aprovechar el efecto pistón que producen éstos. En Figura 5 se ve un ejemplo de control de la concentración de contaminantes con ventilacíon longitudinal mecánica.

Generalmente, los ventiladores se colocan en clave del túnel cada cierto intervalo, aunque existen otros sistemas en que los ventiladores sólo se colocan en la boca de entrada del túnel, o en los pozos de ventilación intermedios.

Los ventiladores suelen ser reversibles, especialmente en el caso de túneles bidireccionales, para poder aprovechar la ventilación natural en el sentido en que ésta se produzca.

También se incluyen sistemas de medición de humos y de contaminantes con objeto de aplicar únicamente la potencia de ventilación que sea necesaria.

Este tipo de ventilación está especialmente indicado para túneles con sentido único de circulación. En caso de incendio se procede a la impulsión de los humos aguas abajo del incendio, permitiendo a los usuarios escapar a la vez que facilita la llegada de los equipos de socorro por la zona limpia del túnel. Sin embargo, en el caso de túneles con doble sentido de circulación, se deberán tomar varias precauciones para evitar el peligro que presenta este sistema en caso de incendio, al tener vehículos detenidos a ambos lados del incendio.

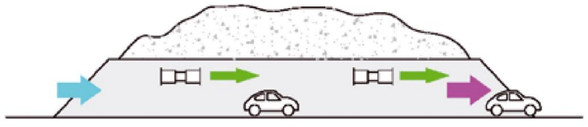


Figura 6 Ventilación longitudinal

Fuente: PIARC

Ventajas	Desventajas
Coste de inversión y mantenimiento reducido	Sistema de control muy compleja y numerosas estrategias de ventilación en caso de incendio
Gran ahorro de energía, al aprovechar de la energía dinámica de los vehículos	
No requieren la instalación de conductos que encarasen el coste y reducen la sección del túnel	
Recomendado para túneles unidireccionales y túneles bidireccionales cortos	

Tabla 3 Ventajas y desventajas de la ventilación longitudinal

Fuente: Elaboración propia

Este sistema de ventilación no requiere una inversión muy grande al tener que instalar en la clave del túnel varios ventiladores tipo jet-fans que cuestan entre 20.000€ y 30.000€ por unidad dependiendo del diámetro y potencia eléctrica del ventilador, además de coste complementario de soporte, alimentación, control y programación. No requiere ninguna obra civil adicional.

Considerado que el túnel de Subfluvial de Lamiako tiene tráfico unidireccional, dicho sistema es el más adecuado, tanto desde el punto de vista económico, como desde el de la operación o de la seguridad.

5.1.3 Ventilación longitudinal con extracción masiva de humo

Partiendo de la tipología anterior, cuando se tienen túneles en los que siendo el tráfico unidireccional la longitud es importante o pueden darse situaciones de atasco en el túnel se suelen emplear sistemas de tipo longitudinal pero apoyados con pozos intermedios. En algunos casos estos pozos únicamente son empleados en situación de incendio. En ese caso, los ventiladores longitudinales impiden la propagación de los humos dentro del túnel e impulsan el aire hacia la posición del pozo de extracción.

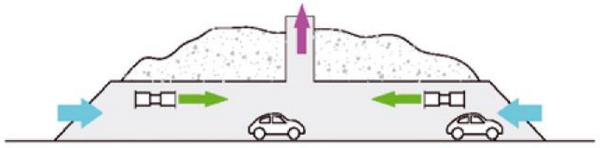


Figura 7 Ventilación longitudinal con un pozo de extracción

Fuente: PIARC

Ventajas	Desventajas
Recomendado para túneles unidireccionales muy largos.	Coste de inversión y mantenimiento más elevado que la ventilación longitudinal.
Coste de inversión y mantenimiento menos elevado que una ventilación transversal	Funcionan como una ventilación longitudinal, pero con un pozo de ventilación que raramente se usa

Tabla 4: Ventajas y desventajas de la ventilación longitudinal con un pozo de extracción

Fuente: Elaboración propia

Este tipo de ventilación está indicado para túneles unidireccionales largos, como pueden ser el caso de los túneles de la M-30 o los túneles de la M-12, todos en Madrid. El pozo intermedio encarece bastante la inversión comparándola con un túnel longitudinal sin pozo (ver apartado 5.1.2), ya que la excavación, el sostenimiento y el revestimiento del pozo vertical de varios metros de profundidad con una sección mínima suficiente como para extraer el caudal generado por los ventiladores longitudinales aumentan mucho la inversión realizada. Además, es conveniente disponer de un ventilador axial en estos pozos para soportar los caudales de extracción, encareciendo aún más el sistema de ventilación del túnel. Asimismo, se tendrá que disponer del espacio necesario y suficiente en superficie para disponer de la rejilla de extracción del aire al ras de la calle o en una chimenea elevada. Al tratarse de un túnel urbano, esta necesidad es muy difícil de cumplir, sin expropiaciones o dificultades administrativas añadidas.

Considerado la larga longitud del túnel y la configuración de los varios ramales de entrada y salida en la zona Este (Artaza), el estudio justifique la necesidad de ser utilizado ventilación longitudinal con el apoyo puntual de extracción.

5.1.4 Ventilación semi-transversal

El sistema de ventilación semi-transversal impulsa el aire desde el exterior o extrae el aire desde el interior por un conducto situado dentro de la sección del túnel de manera distribuida en toda la longitud del túnel, habitualmente en la clave y separado de la zona de circulación de los vehículos por un falso techo que conecta con estaciones de ventilación exteriores.

Este sistema requiere aperturas a distancia periódica en los conductos de ventilación constante, que suele ser rejillas o compuertas telecomandadas con posibilidad de abrirse o cerrarse en función de la evolución del incendio.

Este sistema es más caro de instalación y funcionamiento que el longitudinal pues necesita, además de los ventiladores, un falso techo y un conducto para el aire fresco. En cada tramo de conducto conectado a un ventilador se puede impulsar o extraer aire en función de las necesidades de cada instante.

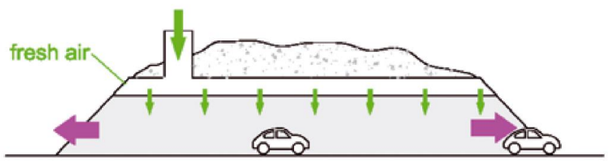


Figura 8 Ventilación semi-transversal

Fuente: PIARC

Ventajas	Desventajas
Buena extracción del humo en caso de incendio, manteniendo una adecuada visibilidad	Coste de inversión y mantenimiento muy elevado
Recomendado para túneles de circulación bidireccional con posibilidad de congestión	Dificultad de establecer redundancias y márgenes de seguridad del sistema
	Reducción de la sección útil del túnel

Tabla 5 Ventajas y desventajas de la ventilación semi-transversal

Fuente: Elaboración propia

Aunque el túnel de Subfluvial de Lamiako es unidireccional, se justica la necesidad de ser utilizado ventilación semi-trasversal. Con este sistema se establece un nivel de seguridad mayor pues en caso de incendio puede ser que haya vehículos atrapados en los ramales y por lo tanto se recomienda extraer el humo cerca del foco del incendio en vez de usar ventilación longitudinal para conducir el humo hasta la boca de los ramales.

5.1.5 Ventilación transversal

La ventilación transversal utiliza conductos de aire fresco como el aire viciado para distribuir el aire en el túnel y extraerlo de manera uniforme conectadas con estaciones de ventilación exteriores. Es el sistema más complejo y más seguro que existe, permitiendo utilizarlo en la inmensa mayoría de los túneles, con muy altas intensidades de tráfico. Sin embargo, es el sistema más caro de instalar y mantener.

Tanto el aire fresco como el aire viciado circulan a lo largo del túnel por unos conductos situados generalmente en la clave del túnel, separados de la zona ocupada por los vehículos por un falso techo y con un tabique divisorio entre ambos. Uniformemente, a lo largo de la longitud del túnel, se impulsa generalmente el aire fresco a su interior por la parte inferior del túnel y se aspira el aire viciado por la parte superior.

La velocidad del aire en el túnel es teóricamente nula, por lo que no existen limitaciones por tal motivo. Por otra parte, la seguridad en caso de incendio es mayor ya que se aspira el humo y se impulsa aire fresco simultáneamente en la zona concreta donde se produzca el fuego, con lo que la capacidad para evacuar los humos y gases tóxicos sin afectar a los usuarios del túnel se incrementa.

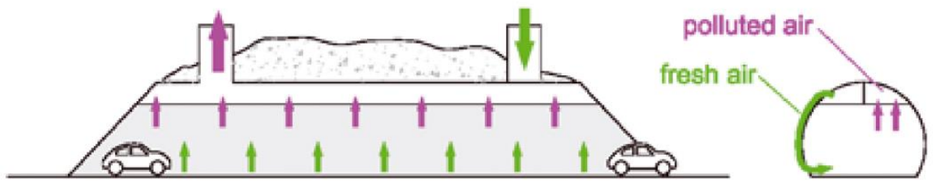


Figura 9 Ventilación transversal

Fuente: PIARC

Ventajas	Desventajas
Condiciones ambientales óptimas tanto en caso de incendio como por gases contaminantes	Coste de inversión y mantenimiento extremadamente elevado
Recomendado para túneles de circulación bidireccional largo con posibilidad de congestión	Dificultad de establecer redundancias y márgenes de seguridad del sistema
	Reducción de la sección útil del túnel
	Elevado gasto energético

Tabla 6 Ventajas y desventajas de la ventilación transversal

Fuente: Elaboración propia

El coste de este tipo de instalación es aún mayor al tipo de ventilación anterior porque se necesita obligatoriamente dos pozos de ventilación en ambos extremos, uno para la extracción y otro para la impulsión. Además, hace falta independizar los conductos para que uno este impulsando y el otro extrayendo. Por estas razones, su coste se justifica en muy pocos casos.

De hecho, dos túneles bidireccionales más emblemáticos en Europa usando un sistema de ventilación transversal atraviesan la cordillera montañosa de los Alpes. El primero es el túnel carretero de San Gotardo, en los Alpes Suizos, que tiene algo más de dieciséis kilómetros de longitud. Fue abierto al tráfico en 1980. Tiene tráfico en ambos sentidos y el sistema de ventilación es transversal. Tanto el aire limpio como el viciado se inyecta y se succiona a nivel de la clave en ambos conductos. El túnel carretero del Mont Blanc, también en los Alpes, que comunica Francia con Italia, tiene una longitud de casi trece kilómetros. Fue abierto al tráfico en el año 1965. Tiene tráfico en ambos sentidos y el sistema de ventilación es transversal, con los colectores de aire bajo la calzada. El aire limpio se inyecta a nivel de la calzada y el viciado se succiona a nivel de la clave.

5.2 Análisis del Marco Normativo y Recomendaciones

Se ha realizado un análisis más detallado de las principales normativas relacionadas con el sistema de Ventilación. En la se resumen las principales conclusiones y exigencias de las regulaciones con respecto a los sistemas de ventilación.

Normativas	Requerimiento del Sistema de Ventilación para el túnel Subfluvial de Lamiako
DE 2004/54/CE	En todos los túneles de longitud superior a 1 000 m con un volumen de tráfico superior a 2 000 vehículos por carril, deberá instalarse un sistema de ventilación mecánica.
Circular francesa	Sistema de ventilación de extracción de humos
NFPA	Ventilación de emergencia requerido a partir de un análisis de ingeniería

Normativas	Requerimiento del Sistema de Ventilación para el túnel Subfluvial de Lamiako
PIARC	- Ventilación de confort para los contaminantes - Diseño de ventilación de emergencia
RD 635/2006	Sistema de ventilación con sistema de automatismo para túneles superiores a 1.000 metros
Decreto Foral 91/2012	Sistema de ventilación con sistema de automatismo para túneles superiores a 500 metros.

Tabla 7 Estudio de normativa y recomendaciones sobre necesidad de un sistema de ventilación para un túnel similar.

(Fuente: Elaboración propia)

Para el diseño de la ventilación en caso de incendio se ha optado por un incendio de 100 MW. Esta elección se basa principalmente en dos factores. El primero es el borrador de las nuevas Instrucciones Técnicas para túneles establece esta potencia de diseño. Y el segundo es un análisis de incendios de diseño que realizan diversos países y que se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 8. Incendio de diseño para varios países. Fuente: PIARC, Design Fire Characteristics for Road Tunnels. Permanent International Association of Road Congresses, Technical Committee on Road Tunnel Operation, 3.3, 2017

País	Incendio diseño (MW)	Observaciones
Australia	50	FFFS incluida
Austria	30 a 50MW	50 MW es para túneles de alto riesgo
Francia	30 a 200	200 MW si se permiten mercancías peligrosas
Alemania	30 a 100	Depende de la longitud de túnel y % pesados
Grecia	100	
Italia	30 a 50	100 a 200 MW si se permiten mercancías peligrosas
Países bajos	5 a 200	Varía con el tipo de vehículo autorizado
Noruega	20 a 100	Depende del riesgo (longitud, vehículos) ventilación
Portugal	Varios	100 MW se está usando para túneles recientes
Singapur	30 a 200	Varía con el tipo de vehículo autorizado
España	>30	Mínimo tamaño
Suiza	30	Para extracción de humo
Reino Unido	5 a 100	Varía con el tipo de vehículo
Estados Unidos	30 a 300	300 MW si se permiten mercancías peligrosas

Como se puede observar en la Tabla 8 la potencia de 100 MW se encuentra en las más seleccionada por diversos países.

El Decreto Foral 91/2012 en su apartado 4.8 Ventilación emergencia indica que en el caso de sistemas semitranversales o transversales el caudal de extracción de aire no será inferior de 120 m3/s a temperatura ambiente y en el caso de sistema longitudinal se deberá poder generar una velocidad longitudinal del flujo de aire de al menos 3 m/s en la posición del foco, para el escenario más desfavorable.

El Decreto Foral 91/2012 en su apartado 4.7 Ventilación sanitaria indica que para túneles de Tipo I (túneles de más de 500 metros o congestionables de más de 350 metros) es necesaria la ventilación sanitaria para mantener el ambiente del túnel con una atmósfera respirable y con visibilidad adecuada.

Tipo	Ventilación Sanitaria Forzada		Ventilación de Emergencia	
	Unidireccional	Bidireccional	Unidireccional	Bidireccional
Tipo I (L>500 m y congestionable de L>350 m)	SI	SI	SI	SI*
Tipo II	Se justificará su necesidad mediante cálculos			
Tipo III	NO	NO	NO	NO

Figura 10 Requerimiento para el sistema de ventilación según la DF 91/2012

(Fuente: Decreto Foral 91/2012 de la Diputación Foral de Bizkaia)

En baso a lo expuesto, se puede concluir que el túnel Subfluvial de Lamiako debe contar con un sistema de ventilación mecánica.

5.3 Elección del tipo de ventilación

Según las Instrucciones Técnicas de Seguridad y Explotación de Túneles de la Diputación Foral de Bizkaia (§4.6. Tipos de ventilación a implementa), en el ámbito de aplicación de la presente norma, se utilizará Ventilación de Tipo Longitudinal en la zona de túnel central y semi-transversal en la zona de ramales de Artaza.

La Figura 11 presenta la configuración de la boca de Artaza en cual se puede ver los ramales de salida conectando en el tubo Este (sentido Subfluvial – Artaza), los ramales de entrada conectando en el tubo Oeste (sentido Artaza – Subfluvial), y las dos cavernas en el tubo Este y Oeste, respectivamente. En rojo se ven los conductos de ventilación semi-transversal de cada ramal cuales se conectan a una planta de ventiladores axiales ubicada debajo de la rotonda de Artaza.

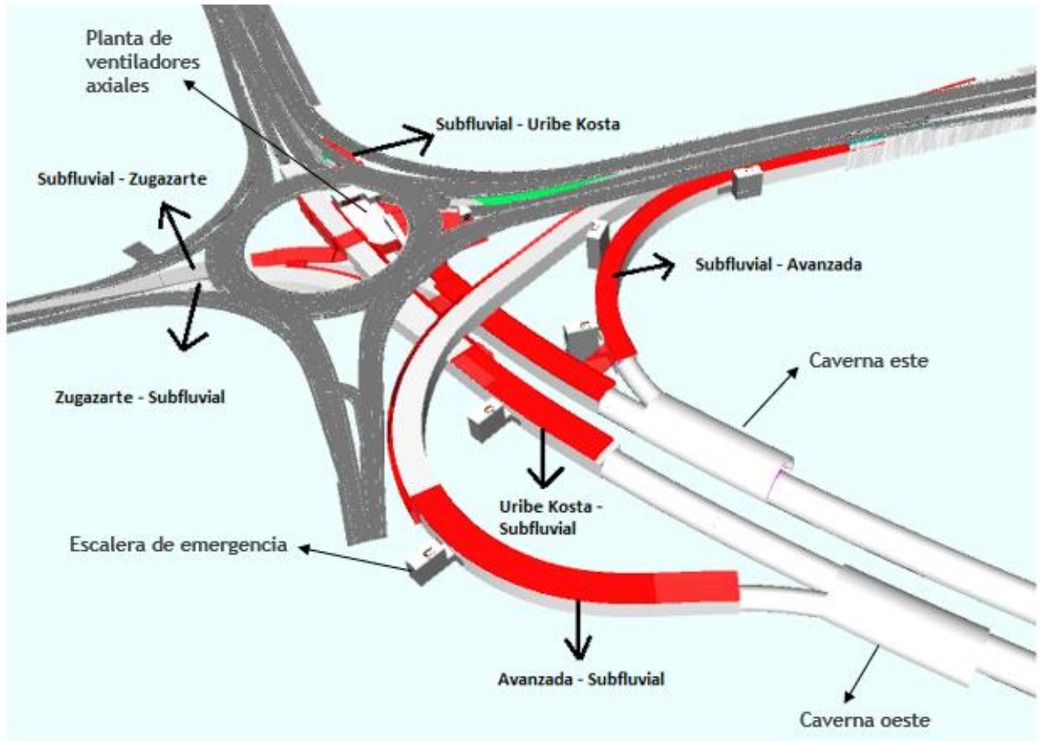


Figura 11 Configuración de la boca de Artaza

Fuente: Archivo Navis

5.4 Estrategias de Ventilación

Para el túnel del Lamiako se ha diseñado una solución con ventilación longitudinal y ventilación semi-transversal. La ventilación principal será longitudinal y su zona de actuación directa serán los tubos principales del túnel. La ventilación semi-transversal su área de actuación directa será la zona de ramales de Artaza. La principal causa de dicho diseño es las pendientes de los ramales de Artaza, la previsión de tráfico retenido en dichos ramales y el incendio de diseño de 100MW.

5.4.1 Operación de Emergencia

El funcionamiento del sistema de ventilación en caso de incendio se implanta según los siguientes escenarios. El dimensionamiento del sistema está basado que a la vez solo un incendio puede ocurrir.

- Escenario 1: Incendio en el tubo Este (ver Figura 12)
- Escenario 2: Incendio en el tubo Oeste (ver Figura 13)
- Escenario 3: Incendio en la caverna Este (ver Figura 14)
- Escenario 4: Incendio en el ramal (ver Figura 15 y Figura 16)

Las siguientes imágenes ilustran la estrategia de ventilación por cada escenario de incendio. Como se puede ver en la Figura 12 y Figura 13 en el caso de incendio en uno de los tubos, se implanta ventilación longitudinal vía ventiladores de chorro (tipo jet fan). La impulsión de los humos se procede aguas abajo del incendio, permitiendo a los usuarios escapar hacia el otro lado a la vez que facilita la llegada de los equipos de socorro por la zona limpia del túnel. La ventilación se activa hacia el sentido de circulación de los vehículos, con objeto de aprovechar el efecto pistón que producen éstos. El diseño de la ventilación longitudinal se usará ventiladores completamente reversibles para posibilitar los equipos de socorro si quieran a revertir la dirección de ventilación, después de que la fase de evacuación haya terminado.

Por lo tanto, en escenario 1 (Figura 12) que corresponde a un incendio en el tubo Este, los ventiladores tipo jet fan funcionaran hacia la boca de Artaza. Debido a las pendientes empinadas con las que cuentan los ramales de las salidas en la boca de Artaza y la posibilidad de existencia de congestiones puntuales es necesario extraer los humos aguas arriba de los ramales. Así se evita el paso de humo por los ramales, donde el control de humos sería muy complicado pues las pendientes empinadas resultan al efecto chimenea cual acelera la velocidad de humo (ver Figura 19). Por lo tanto, en caso de incendio en tronco la extracción de humos se realiza a través de dos rejillas ubicadas justo en el principio de los ramales Subfluvial – Uribe Kosta y Subfluvial – Avanzada, respectivamente. La planta de ventiladores axiales asociada está ubicada en el CT4 debajo de la rotonda de Artaza.

En caso de incendio en el tubo Oeste (Figura 13) los ventiladores de chorro se funcionarán hacia el sentido contrario, extrayendo el humo a través de la boca de túnel. La planta de ventiladores axiales será reversible y suministrará los ventiladores de chorro con aire fresco y por lo tanto se asegura un rendimiento de sistema alto independiente de las pérdidas de presión debido de las condiciones de tráfico en los ramales y condiciones de viento en las bocas del túnel.

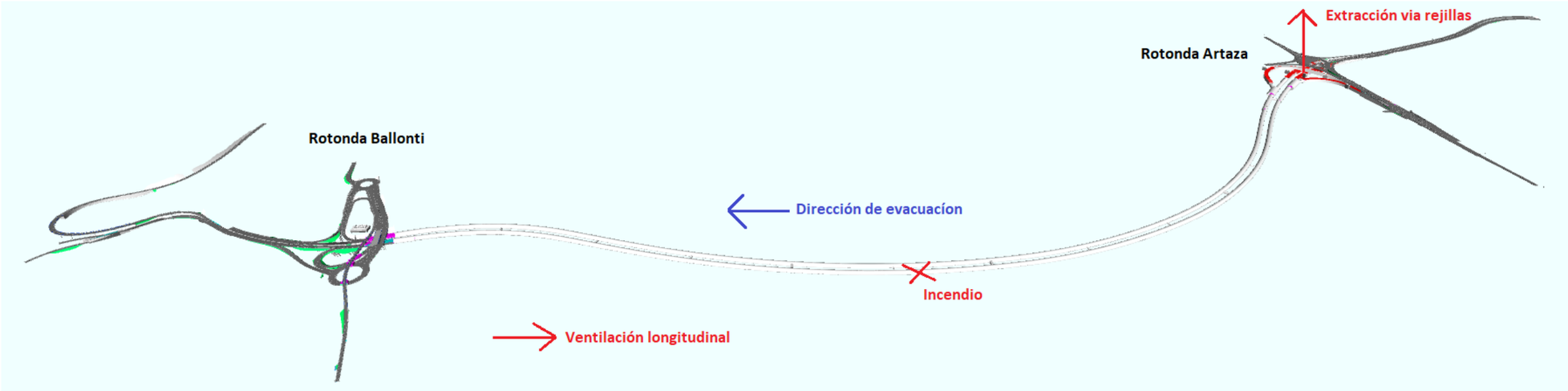


Figura 12 Estrategia de ventilación en caso de incendio en el tubo Este (Fuente: Archivo Navis)

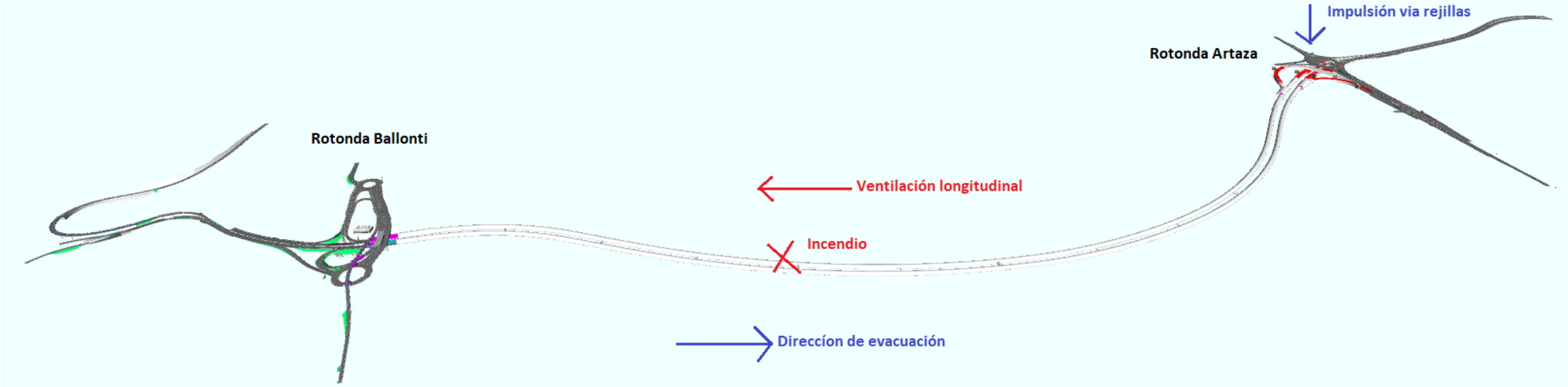


Figura 13 Estrategia de ventilación en caso de incendio en el tubo Oeste (Fuente: Propia)

Como se ha indicado anteriormente, los ramales de entrada y salida del túnel en la zona Este (rotonda de Artaza) tienen pendientes pronunciadas (de entorno al 6 %) y adicionalmente hay posibilidad de existencia de congestiones esporádicas por un incidente en el exterior del túnel. Por lo tanto, esta zona de proyecto se plantea una solución de ventilación semitransversal utilizando conductos que discurren por el túnel cuales se conectan en la planta de ventiladores axiales ubicada en la rotonda de Artaza (ver Figura 11). Este sistema de ventilación funcionara en caso de incendio en caverna (ver Figura 14) o en ramal (ver Figura 15 y Figura 16).

Como se puede ver en la Figura 14 la estrategia de ventilación en caso de incendio en la caverna Este, es extraer el humo a través de dos rejillas ubicadas justo en el principio de los ramales Subfluvial – Uribe Kosta y Subfluvial – Avanzada, respectivamente. Son las mismas rejillas que se usan en caso de incendio en el tronco (ver escenario 1, Figura 12). La ruta de evacuación es hacia el tubo y se plantea usar un ventilador tipo jet fan para impulsar aire fresco en contra del sentido de evacuación para asegurar que no haya retroceso de humos hacia el tubo. Se considera que los vehículos aguas abajo del incendio van a seguir circulando hacia la dirección de tráfico para salir del túnel. Cabe señalar que la caverna tiene un área aproximadamente 2.5 veces más grande que el tubo (ver Tabla 11) y una longitud de 65m, por lo tanto la solución de ventilación adoptada será especial para evitar sobredimensionar el sistema para un tramo de túnel tan corto.

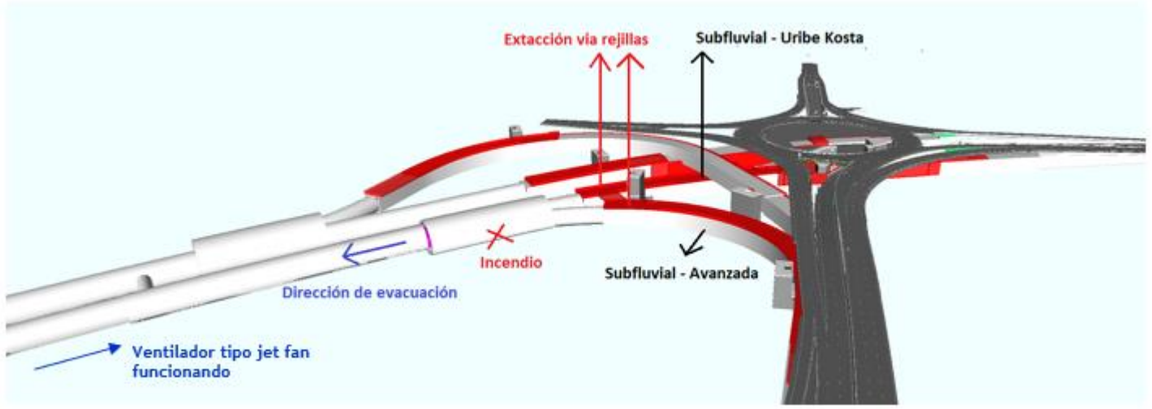


Figura 14 Estrategia de ventilación en caso de incendio en la caverna del tubo Este

La estrategia de ventilación para el escenario de incendio en uno de los seis ramales es extraer el humo localmente en la posición del incendio a través de un conducto situado dentro de la sección del túnel de manera distribuida en toda la longitud de los ramales y por lo tanto se permite estratificar el humo y así la evacuación de las personas se puede realizar hacia ambos lados. El conducto incluyera aberturas a distancia constante de aproximadamente 100 m cuales serán equipados con compuertas telecomandadas permitiendo de abrirse solo las compuertas necesarias para la extracción del humo. La zona de extracción será 300 m que corresponde encender las tres compuertas más próximas desde el punto del incendio.

Figura 15 y Figura 16 presenta la configuración del sistema semi-transversal en el ramal de Subfluvial – Avanzada y Avanzada – Subfluvial. Como se puede ver, dado limitaciónes de espacio la disposición de los conductos no es exclusivamente en la parte superior del ramal por eso hay tramos que el conducto se traslada en la parte lateral del ramal. En este caso las compuertas se instalar en la parte superior de la pared para asegurar que se logra extracción de la capa de humos y no ocurre extracción de aire procedente de la capa fría existente por debajo.

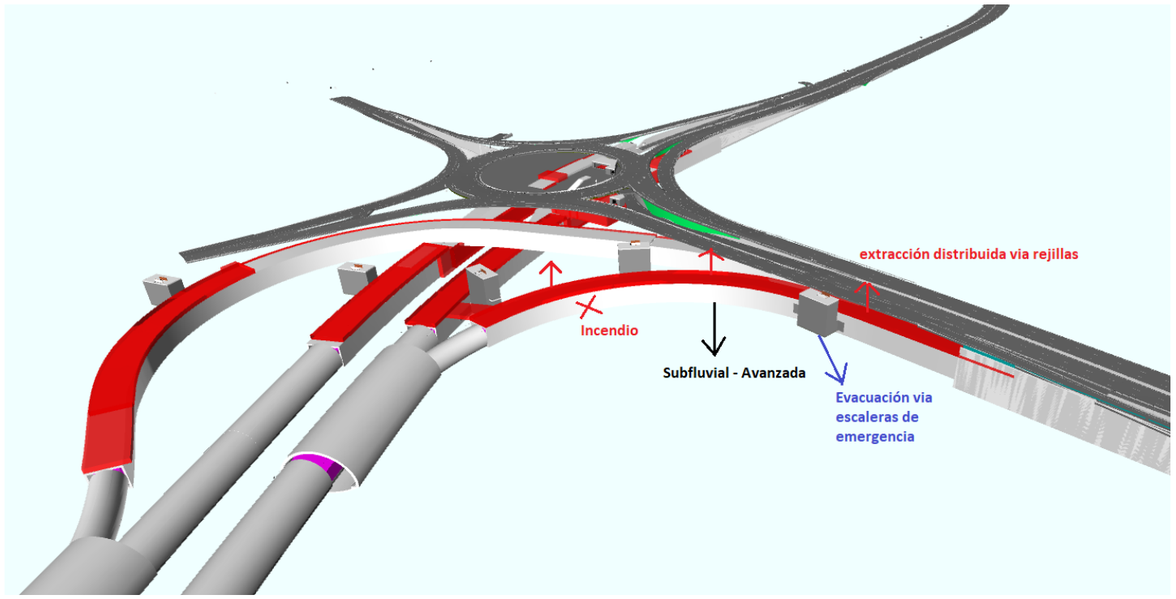


Figura 15 Estrategia de ventilación en caso de incendio en el ramal Subfluvial – Avanzada

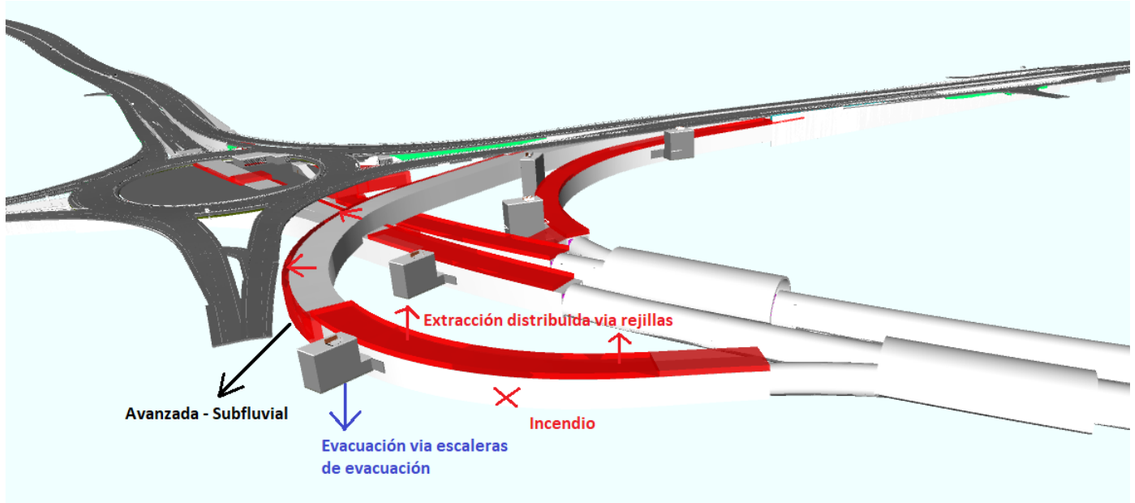


Figura 16 Estrategia de ventilación en caso de incendio en el ramal Avanzada – Subfluvial

5.4.2 Operación Normal

El objetivo del sistema de ventilación en situación normal de servicio es garantizar que el aire del túnel mantenga unas condiciones adecuadas de confort y seguridad para los usuarios; asegurando la dilución de los contaminantes de los vehículos hasta los límites admisibles, y permitiendo una capacidad de reacción adecuada en caso de una rápida demanda de flujo.

Con circulación unidireccional el efecto pistón de los vehículos en conjunto con la diferencia de presión, temperatura y viento en ambos portales genera una corriente de aire a lo largo del túnel que normalmente ocurre hacia la misma dirección que la dirección del tráfico. Por lo tanto, la estrategia de ventilación más efectiva es la longitudinal en cual se usan los ventiladores tipo jet fan funcionando hacia el mismo sentido que el tráfico con objetivo de aprovechar este empuje.

En los ramales, aunque la circulación será unidireccional se usará el sistema de ventilación semi-transversal que fue necesario plantear para la operación de emergencia (ver apartado 5.4.1). En este caso la concentración de las emisiones se controlará o por extracción retirando los contaminantes directamente al exterior o por inyección del aire fresco al túnel con el objetivo de diluir los contaminantes antes que se retiran al exterior (ver Figura 17 y ejemplo en la Figura 8). Como se puede ver se utilizará la misma red de conductos y compuertas que se usa para extraer el humo, pero en este caso se abrirán todas las compuertas del ramal que toca ventilar. Los ventiladores axiales serán reversibles y equipados con variadores de frecuencia para lograr funcionar en diferentes puntos de trabajo.

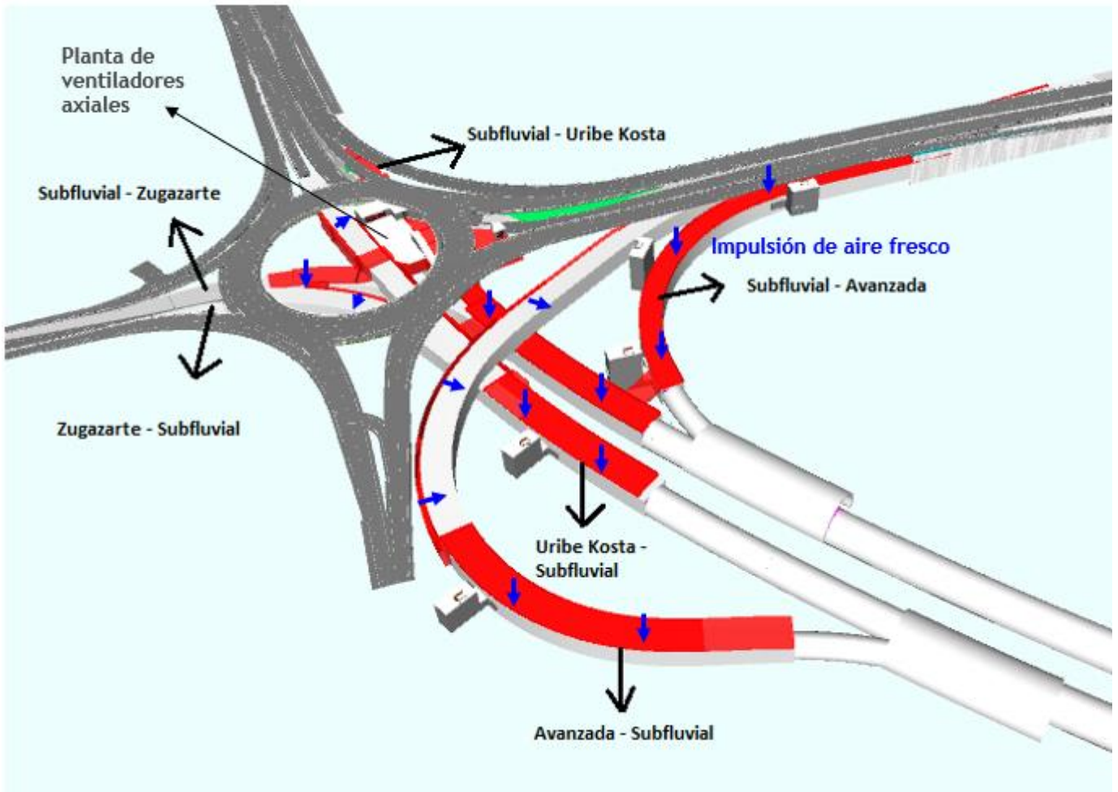


Figura 17 Estrategia de ventilación en operación normal

El control del sistema de ventilación se realizará para adaptar la ventilación a las circunstancias reales del túnel y variarla automáticamente en función de las respuestas alcanzadas. Por lo tanto, se emplearán detectores de opacidad, monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO2) y velocidad y sentido del aire mediante anemómetros (ver apartado **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

5.4.3 Zonas de ventilación

La tabla debajo presenta las zonas de ventilación definidas en el proyecto de Subfluvial de Lamiako junto con el tipo de ventilación que se plantea en cada una. El dimensionamiento del sistema de ventilación se basa cumplir los criterios de diseño en cada zona de ventilación.

Zona de ventilación	Ubicación	Tipo de ventilación
1	Ramal entrada: Zugazarte – Subfluvial	Semi- transversal
2	Ramal salida: Subfluvial - Zugazarte	Semi- transversal
3	Ramal entrada: Uribe Kosta – Subfluvial	Semi- transversal
4	Caverna Oeste (Sentido Sur: Artaza - Ballonti)	Mixta
5	Tubo Oeste (Sentido Sur: Artaza - Ballonti)	Longitudinal con apoyo puntual de extracción
6	Ramal salida: Subfluvial – Uribe Kosta	Semi- transversal
7	Ramal entrada: Avanzada – Subfluvial	Semi- transversal
8	Ramal salida: Subfluvial – Avanzada	Semi- transversal
9	Caverna Este (Sentido Norte: Ballonti– Artaza)	Mixta
10	Tubo Este (Sentido Sur: Artaza - Ballonti)	Longitudinal con apoyo puntual de extracción

Tabla 9 Zonas de ventilación

5.5 Criterios de Diseño

5.5.1 Operación de Emergencia

5.5.1.1 Ventilación longitudinal

En caso de incendio el sistema de ventilación longitudinal se diseña para que sea capaz de alcanzar la velocidad crítica , la cual es la velocidad mínima del flujo de aire longitudinal que se requiere para controlar/detener por completo el fenómeno del retroceso del humo (backlayering).Figura 18 presenta las condiciones de evacuación establecidas en los dos siguientes casos: (a) la velocidad alcanzada es menor que la velocidad crítica y (b) superior que la velocidad crítica y así el humo se empuja a un lado del fuego, permitiendo que la zona aguas arriba esté limpia de humos, asegurando una evacuación segura de personas.

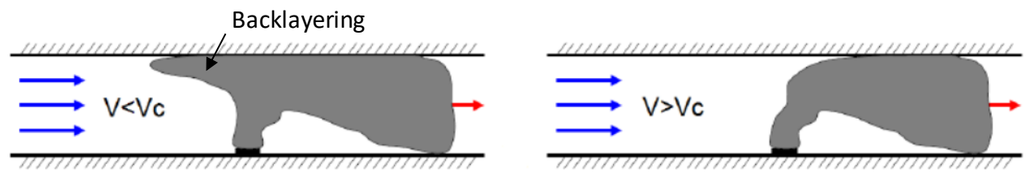


Figura 18 Ventilación con (a) backlayering (b) sin backlayering (Fuente: Elaboración propia)

El sistema de ventilación se dimensiona para suministrar un caudal de aire longitudinal con velocidad superior a la velocidad critica. La velocidad crítica se calcula según la norma estadounidense NFPA 502 “Standard for Road Tunnels, Bridges, and Other Limited Access Highways” que se basa en las ecuaciones de Kennedy..

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

Ecuación 1

Donde:

- V_C = Velocidad Crítica (m/s)
- K_1 = Coeficiente determinado a partir del número de Froude (adimensional). El factor K_1 se selecciona mediante la Tabla D.1 de NFPA 502 del 2017 [6]
- K_g = Coeficiente por inclinación en descenso.

$$K_g = 1 + 0{,}0374 * S^{0{,}8}$$

  - S = pendiente del túnel en tanto por ciento (%)
- g = Aceleración de la gravedad (m/s^2)
- H = Altura desde la base del fuego hasta la parte más alta del túnel (m)
- Q = Potencia de fuego según HRR (Heat Release Rate) (W)
- A = Área sin obstáculos de la sección transversal del túnel (m^2)
- ρ = densidad del aire (kg/m^3)
- C_p = Calor específico del aire (J/kg.K)
- T = temperatura aire fresco en túnel (K)

La potencia de incendio (Q) base de diseño será de 100 MW.

La posición del incendio más desfavorable ocurre a lo largo de la pendiente más empinada cuando el humo tiene menos densidad y por lo tanto su velocidad es más alta y la ventilación funciona contra el efecto chimenea y tiene que empujar el humo hacia un recorrido largo. Como se puede ver en Figura 19 cuando la temperatura de humo es más alta, su densidad es más pequeña, y así el humo se mueve cuesta arriba según las fuerzas de flotabilidad. Entonces ventilando cuesta abajo, los ventiladores deben superar las fuerzas de flotabilidad del humo. Considerando que el humo tiene menos densidad y por lo cual su velocidad es más alta y en consecuencia cuando más largo es el recorrido que se empuja el humo más grades las pérdidas de presión pues las perdidas aumentan en función de velocidad cuadrado.

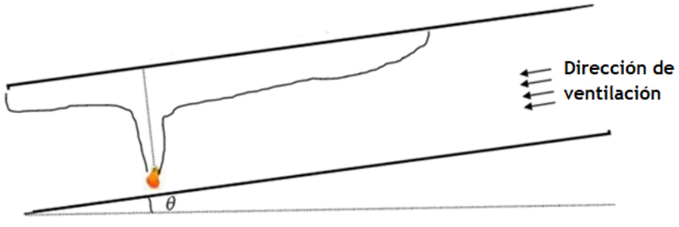


Figura 19 Ventilación contra el efecto chimenea (Fuente: Elaboración propia)

Entonces para el dimensionamiento de la ventilación la posición más desfavorable es cuando el incendio está ubicado en el principio de la cuesta abajo. Eso es porque cuando lo más larga la cuesta es, el efecto chimenea es más potente y por lo tanto los ventiladores tipo jet fan deben superar fuerzas de flotabilidad más altas (ver Figura 19). Adicionalmente, en dicha posición las pérdidas de fricción son más altas debido que los ventiladores tienen que empujar el humo hacia un recorrido largo.

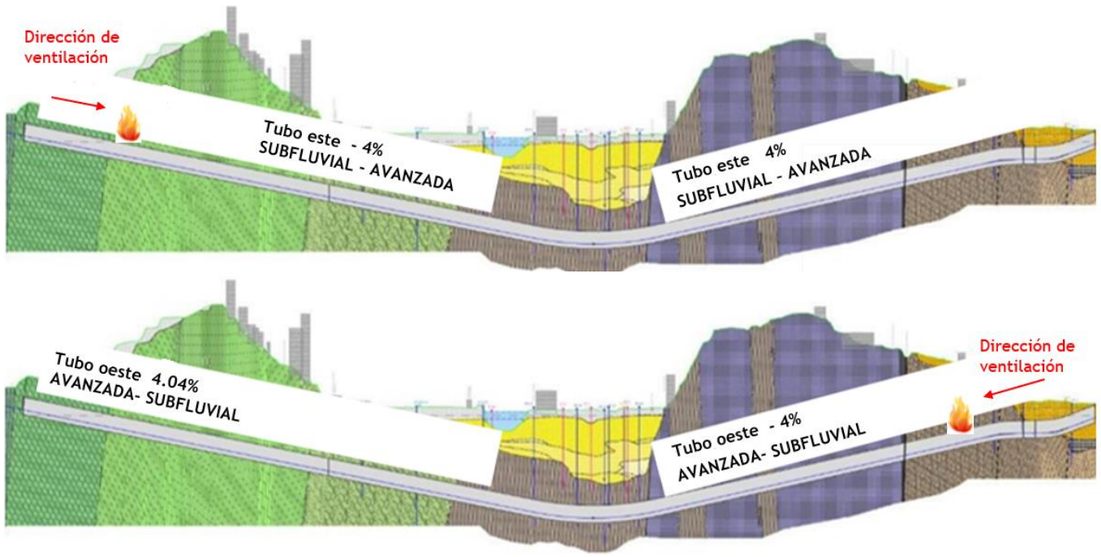


Figura 20 Posición de incendio más desfavorable a lo largo de tubo oeste y este, respectivamente. (Fuente: Elaboración propia)

La tabla debajo presenta los resultados de la velocidad critica por los dos escenarios de incendio en tronco en el tubo Este y Oeste, respectivamente. El cálculo corresponde a las pendientes asociadas con la ubicación del incendio más desfavorable.

Tabla 10 Velocidad critica en caso de incendio en tronco (Fuente: Elaboración propia).

TUBO	PENDIENTE (%)	VELOCIDAD CRITICA (m^3/s)
Este	-4.0	3.4
Oeste	4.04	3.5

5.5.1.2 Ventilación semi-transversal

El criterio de diseño de la ventilación semi-trasversal es lograr estratificar el humo y conducirlo con una velocidad baja a las compuertas donde se extraerá. La extracción se diseña para establecer una corriente de aire de aporte de una velocidad aproximadamente de 1 m/s aguas arriba y agua abajo de la zona de extracción para asegurar que el humo no mitigue a las zonas de ventilación cercanas (ver Figura 21). Las compuertas se dimensionan para una velocidad de extracción máxima de 8 m/s para evitar extraer aire limpio inferior de la capa de humos (fenómeno de “plug-holing”).

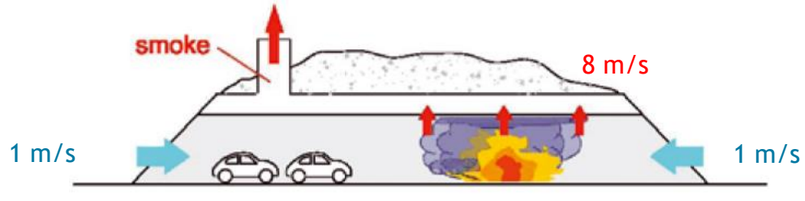


Figura 21. Ventilación semi-transversal mediante rejillas telecomandadas (Fuente:PIARC [11] y elaboración propia)

5.5.2 Operación normal

La calidad de aire en el entorno de un túnel se analiza basado en la concentración de NO2, CO y partículas. Para estos contaminantes, existen varias normativas o guías que fijan límites recomendables. En este proyecto se adoptan los niveles exigidos por PIARC: 2019R02EN – Road Tunnels: Vehicle Emissions and Air Demand for Ventilation [11] como se ve debajo.

- Dióxido de Nitrógeno (NO2): 1 p.p.m. o 1.906,89 µg/m³
- Monóxido de carbono (CO): 70 p.p.m. o 81,270 mg/m³
- Visibilidad (PM): 0,005 m-1 o 1.063,83 µg/m³

5.6 Metodología

El análisis del sistema de ventilación se lleva a cabo con IDA RTV, un software que fue desarrollado por EQUA AB en Suecia. En IDA RTV se pueden modelar todos los elementos necesarios para estudiar el rendimiento del sistema de ventilación en operaciones normales y de emergencia. El software es capaz de resolver las condiciones aerodinámicas y termodinámicas en una red de túneles, teniendo en cuenta el tráfico y la aerodinámica de los vehículos, el efecto de chorro de los ventiladores en el flujo de aire, la resistencia del túnel, el equilibrio del flujo de aire en la red, la generación de contaminantes y calor por vehículos, el efecto chimenea dentro los túneles, el calor que se acumula en las paredes del túnel y la inercia térmica de las paredes. IDA RTV es un software unidimensional, es decir, calcula valores medios por área seccional.

El dimensionamiento de la ventilación se realiza considerando los escenarios de incendio presentados anteriormente en apartado 5.4.1. El requerimiento para ventilación sanitaria será menos exigente y el análisis correspondiente se realizará en la siguiente fase del diseño.

5.6.1 Modelo

Las siguientes imágenes corresponden a los modelos elaborados para las simulaciones de los escenarios descritos anteriormente.

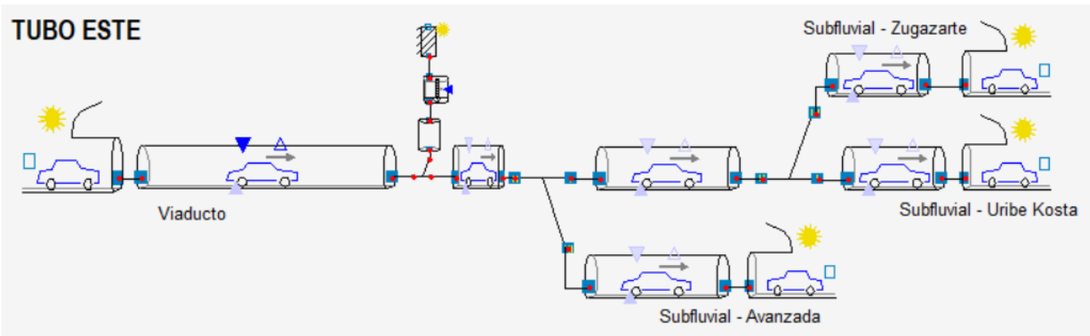


Figura 22 Modelo de simulación del tubo Este y los ramales asociados

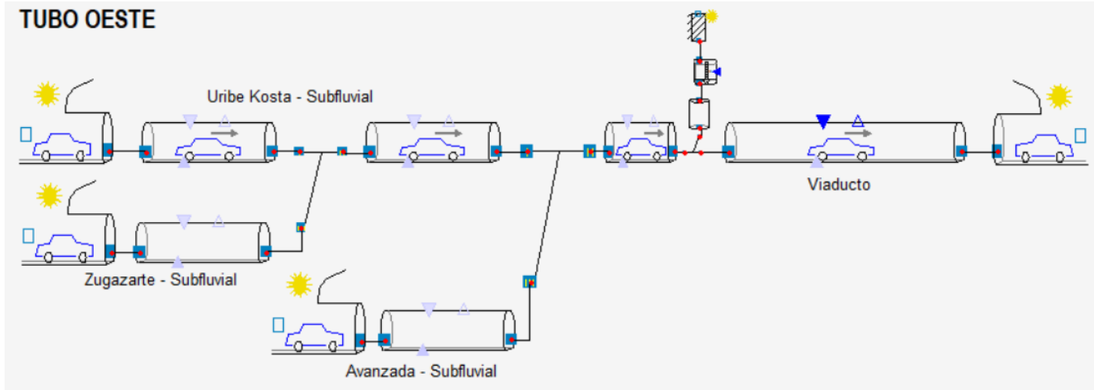


Figura 23 Modelo de simulación del tubo Oeste y los ramales asociados

5.6.2 Características principales del túnel

La Tabla 11 presenta el área seccional de los dos tubos y los ramales de entrada y salida conectando en la boca de Artaza (ver Figura 11).

TRAMO DE TÚNEL	ÁREA SECCIONAL (m²)	REFERENCIA
Tubo este /oeste (mina)	80.50	TSL-TU-DB-01-01-NT-05019-Analisis y definición de las secciones tipo [20]
Tubo este /oeste (falso túnel)	79.06	
Caverna de bifurcación de ramales	201.3	
Ramal Subfluvial – Avanzada	57.60	Archivo Navis
Ramal Subfluvial – Uribe Kosta	57.60	
Ramal Subfluvial – Zugazarte	57.60	
Ramal Avanzada – Subfluvial	36.40	
Ramal Uribe Kosta - Subfluvial	57.60	
Ramal Zugazarte - Subfluvial	57.60	

Tabla 11 Área seccional (Fuente: Elaboración propia)

En la Tabla 12 se ven las pendientes de los dos tubos y los ramales de entrada y salida en la rotonda de Artaza (ver Figura 11).

TRAMO DE TÚNEL	PENDIENTES (%)	
	POSITIVA MAXIMA	NEGATIVA MAXIMA
Tubo este	4.0	-4.0
Tubo oeste	4.04	-4.0
Ramal Subfluvial – Avanzada	6.10	-
Ramal Subfluvial – Uribe Kosta	6.50	-
Ramal Subfluvial – Zugazarte	6.20	-
Ramal Avanzada – Subfluvial	0.90	-6.0
Ramal Uribe Kosta - Subfluvial	-	-5.84
Ramal Zugazarte - Subfluvial	1.29	-6.20

Tabla 12 Perfiles longitudinales (Fuente: Elaboración propia)

5.6.3 Condiciones Climáticas

Las condiciones climáticas consideradas corresponden a la información recogida de ASHRAE CLIMATIC DESIGN CONDITIONS para la ciudad de Bilbao. (http://ashrae-meteo.info/v2.0/), aquí se recopila la información de partida para los cálculos iniciales.

2017 ASHRAE Handbook - Foundamentals (SI)

BILBAO, SPAIN (WMO: 080250)

Lat:43.301N Long:2.911W Elev:42 StdP: 100.82 Time zone:1.00 Period:93-14 WBAN:99999

Annual Heating and Humidification Design Conditions

Coldest Month	Heating DB		Humidification DP/MCDB and HR						Coldest month WS/MCDB				MCWS/PCWD to 99.6% DB	
			99.6%			99%			0.4%		1%			
	99.6%	99%	DP	HR	MCDB	DP	HR	MCDB	WS	MCDB	WS	MCDB	MCWS	PCWD
2	-0.2	1.1	-4.2	2.7	5.2	-2.8	3.0	4.7	13.4	12.0	11.6	12.7	1.8	90

Annual Cooling, Dehumidification, and Enthalpy Design Conditions

Hottest Month	Hottest Month DB Range	Cooling DB/MCWB						Evaporation WB/MCDB						MCWS/PCWD to 0.4% DB	
		0.4%		1%		2%		0.4%		1%		2%			
		DB	MCWB	DB	MCWB	DB	MCWB	WB	MCDB	WB	MCDB	WB	MCDB	MCWS	PCWD
8	9.6	32.2	20.8	29.8	20.2	27.8	19.6	22.7	28.6	21.7	26.8	20.9	25.3	3.6	290

Monthly Climatic Design Conditions

		Annual	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Temperatures, Degree-Days and Degree-Hours	DBAvg	15.1	9.6	9.7	11.9	13.2	16.2	19.2	21.0	21.5	19.6	17.1	12.3	9.9
	DBStd	5.47	3.38	3.56	3.74	3.37	3.37	3.24	2.61	2.68	3.08	3.85	3.46	3.60
	HDD10.0	183	47	45	22	7	1	0	0	0	0	1	15	46
	HDD18.3	1522	269	243	203	158	84	26	4	2	20	70	181	261
	CDD10.0	2059	36	36	79	103	192	277	341	356	287	222	86	44
	CDD18.3	357	0	0	3	4	18	53	87	100	57	33	2	0
	CDH23.3	2205	0	1	22	52	159	358	493	574	365	179	3	0
	CDH26.7	691	0	0	2	15	53	137	147	184	117	36	0	0

Figura 24 Condiciones climáticas consideradas (Fuente: Ashrae)

Según Las temperaturas ambientales consideradas son:

- Temperatura de invierno: 9.7 ºC
- Temperatura de verano: 21.5 ºC

5.6.4 Temperatura de Pared

La temperatura de pared se considera igual a la temperatura ambiente debido a que se busca evaluar las condiciones más desfavorables en los escenarios de incendio planteados, si se asume en esta etapa una temperatura de pared media podría generar una condición favorable debido al efecto chimenea y la transferencia de calor entre el incendio y las paredes del túnel.

5.6.5 Presión - Velocidad del Viento Exterior

Se asumen condiciones desfavorables en el túnel, asumiendo una contrapresión en los portales del túnel igual a 15 Pa para todos los escenarios de incendio estudiado (ver apartado 5.4.1).

5.6.6 Ventiladores Tipo Jet Fan

Las características técnicas de los ventiladores tipo jet fan se muestran a continuación:

CARACTERÍSTICA	VALOR
Diámetro Interior	1,40 m
Diámetro Exterior	1,60 m
Velocidad de Chorro	32,3 m/s
Caudal de Aire	49,7 m^3/s
Empuje Teórico	1926 N
Empuje Nominal	1840 N
Potencia Instalada	55,0 kW
Resistencia al fuego	400ºC/2h
Reversibles	Sí

Tabla 13 Características de los ventiladores tipo jet fan

5.6.6.1 Coeficientes de instalación

Cada ventilador de chorro produce un salto de presión en el sistema que viene dado por la siguiente expresión:

$$\Delta P = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \frac{\rho \cdot Q_{jet} \cdot V_{jet}}{A} \cdot (1 - \frac{V}{V_{jet}})$$

Donde:

- η_1 es el coeficiente de rendimiento nominal del ventilador. Empuje Nominal / Empuje Teórico.
- η_2 es el coeficiente de rendimiento del jet fan debido a la fricción del chorro con las paredes
- η_3 es el coeficiente de rendimiento de grupo de ventiladores por la proximidad de los mismos en sentido longitudinal.
- Q_{jet} es el caudal que mueve el ventilador (m^3/s)
- V_{jet} es la velocidad de chorro del ventilador (m/s)
- A es el Área del túnel

La correcta definición de los rendimientos de los equipos es un aspecto crucial para asegurar que el sistema de ventilación diseñado puede cumplir con los criterios de diseño.

Los factores de instalación de los ventiladores se definen debajo:

- Rendimiento Nominal, η_1

El factor de rendimiento depende de la prueba que hace el fabricante para documentar el valor del empuje (teorético o nominal). A partir del año 2000, todos los fabricantes están documentando el empuje al aire libre según ISO 13350 y por lo tanto el valor de factor η_1 es 1 pues el empuje documentado es el nominal.

- Rendimiento de Instalación, η_2

Los ventiladores de chorro, debido a la proximidad de estos a las paredes, sufrirán una pérdida de rendimiento por el rozamiento del chorro con la pared. En la actualidad la fórmula más utilizada internacionalmente para la estimación del rendimiento de la instalación a partir de la distancia del ventilador a la pared es la fórmula de Kempf:

$$\eta_2 = \left[0.0192 \cdot \left(\frac{z}{D_A}\right)^2 - 0.144 \cdot \frac{z}{D_A} + 1.27\right]^{-1}$$

Donde:

- D_A es el diámetro interior del ventilador
- z es la distancia entre el eje del ventilador y la pared

Como se puede ver en Figura 25 la distancia (z) entre el eje de los ventiladores y la pared es más grande que el diámetro externo del ventilador. En factor $\eta_2$se calcula 0.85.

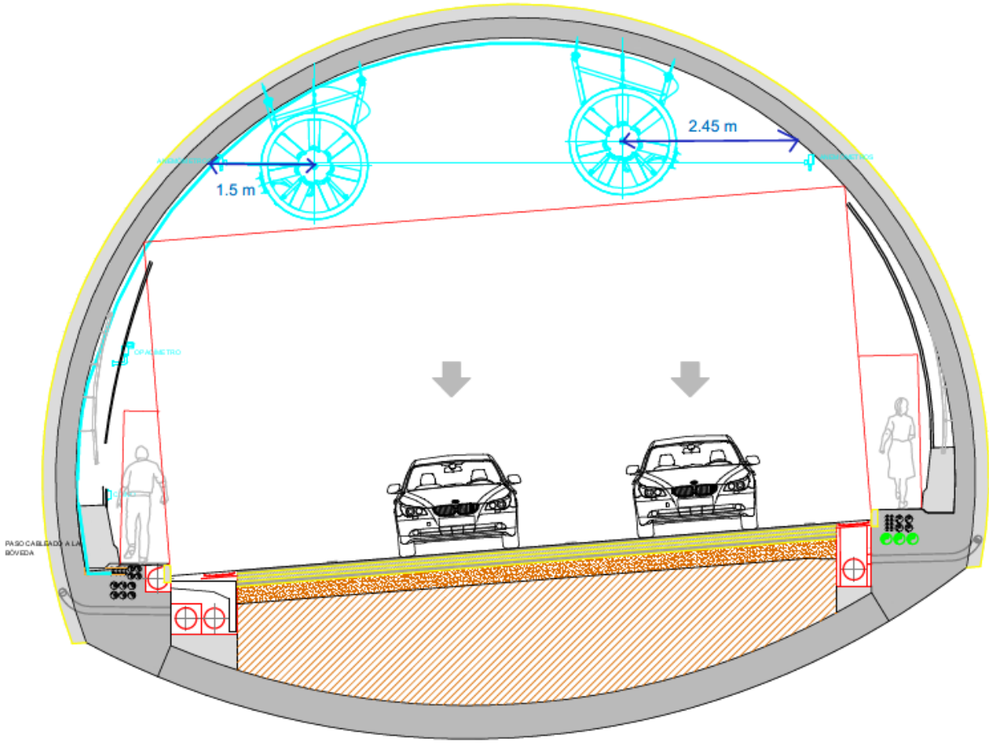


Figura 25 Configuración de instalación de los ventiladores tipo jet fan (Fuente: Elaboración propia)

- Rendimiento de Grupo, η_3

La distancia entre ventiladores es 175m y por lo tanto no hay perdida de rendimiento pues el chorro para que se desarrolle completamente necesita una distancia de 10 veces el diámetro hidráulico del túnel (91 m). En consecuencia, el factor $\eta_3$es igual a 1.

5.6.6.2 Redundancia

Se fijan dentro del estudio ventiladores con una resistencia igual a 400ºC - 2 h. Todos aquellos ventiladores que superen esta temperatura se consideran que han sido afectados por el incendio y por ende quedan fuera de servicio. Se considera que todos los ventiladores localizados a una distancia menor de 50 metros del incendio no se podrán destruirse por el incendio. Se considera que un (1) ventilador puede estar fuera de servicio debido al incendio.

Además, se considera que un (1) ventilador puede estar fuera de servicio por mantenimiento.

Por lo tanto, la ventilación longitudinal se diseña con una redundancia de 2 ventiladores.

5.6.7 Ventiladores Axiales

Las características técnicas de los ventiladores tipo jet fan se muestran a continuación:

CARACTERÍSTICA	VALOR
Caudal	128 m^3/s
Presión	1466 Pa
Diámetro interior	2.50 m
Potencia instalada	280.0 kW
Resistencia al fuego	400ºC/2h
Reversible	Sí

Tabla 14 Características de los ventiladores axiales

En CT4 se alojarán tres (3) ventiladores axiales que funcionarán a una configuración 2+1 para contemplar redundancia.

5.7 RESULTADOS

El dimensionamiento de los ventiladores tipo jet y ventiladores axiales tal y como se ve en la tabla Tabla 13 y Tabla 14 respectivamente se define según los resultados de las simulaciones realizadas con el programa IDA cual estudio incluye los escenarios de incendio más desfavorables (ver apartado 5.4.1).

5.7.1 Escenario 1: Incendio en el tubo Este

La estrategia de ventilación para escenario 1 se presenta en la Figura 12 y el correspondiente modelo de simulación en la Figura 26. Como se puede ver en este caso están funcionando 24 ventiladores tipo jet fan y 2 ventiladores axiales extrayendo en total un caudal de 250m3/s a través de las dos compuertas ubicadas justo en el principio de los ramales Subfluvial – Uribe Kosta y Subfluvial – Avanzada, respectivamente.

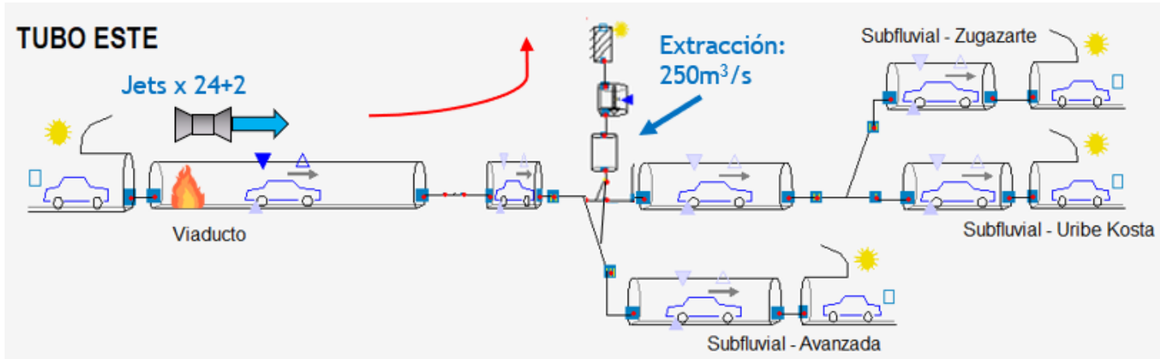


Figura 26 Modelo de simulación para escenario 1: Incendio en el tubo Este (Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente figura se presenta la velocidad del aire alcanzada a lo largo de la longitud del túnel. Como se puede ver el sistema de ventilación es capaz de obtener una velocidad longitudinal aguas arriba del incendio (3.8 m/s) mayor que la velocidad critica (3.4m/s ver Tabla 13) y por lo tanto no hay retroceso de humos. A partir de los 3500m, se puede ver como la velocidad del aire disminuye hasta los 0m/s debido a la extracción de humo mediante los ventiladores axiales. Aguas abajo del punto de extracción no se obtiene velocidad negativa cual significa que igual parte del humo pasaría el punto de extracción, pero el humo avanzaría muy lentamente sin prácticamente afectar los ramales del túnel.

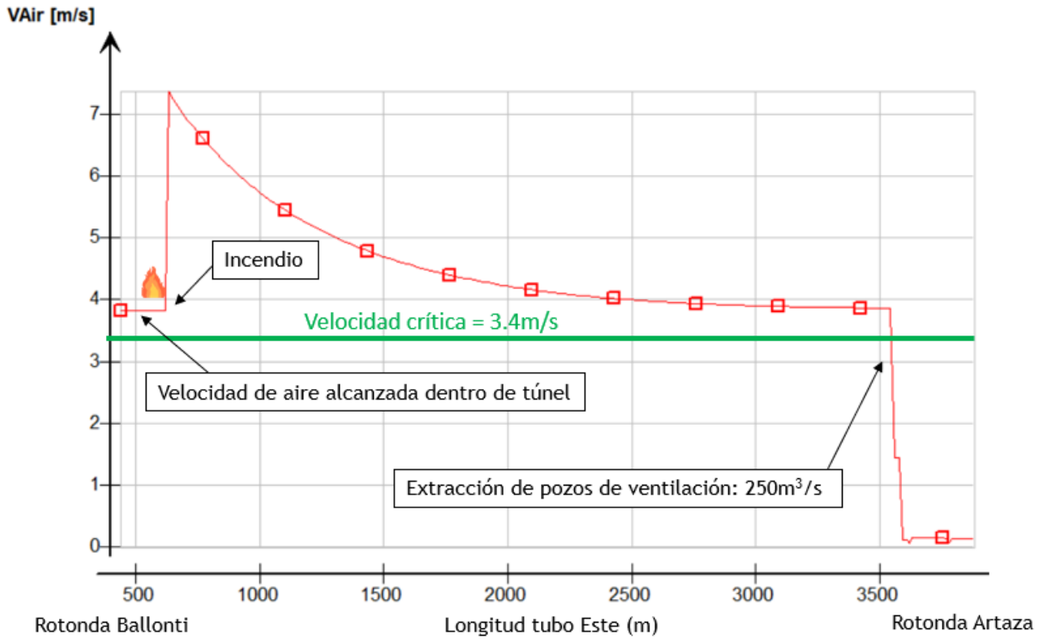


Figura 27 Velocidad de aire lograda en el túnel para el escenario de incendio 1 (Fuente: Elaboración propia)

5.7.2 Escenario 2: Incendio en el tubo Oeste

La estrategia de ventilación para escenario 1 se presenta en la Figura 13 y el correspondiente modelo de simulación en la Figura 28. En el tubo Oeste están funcionando 22 ventiladores tipo jet fan y los 2 ventiladores axiales cuales están proporcionando en total un caudal de 250m3/s a través de todas las compuertas instaladas en los conductos de los ramales de Uribe Kosta – Subfluvial y Avanzada – Subfluvial.

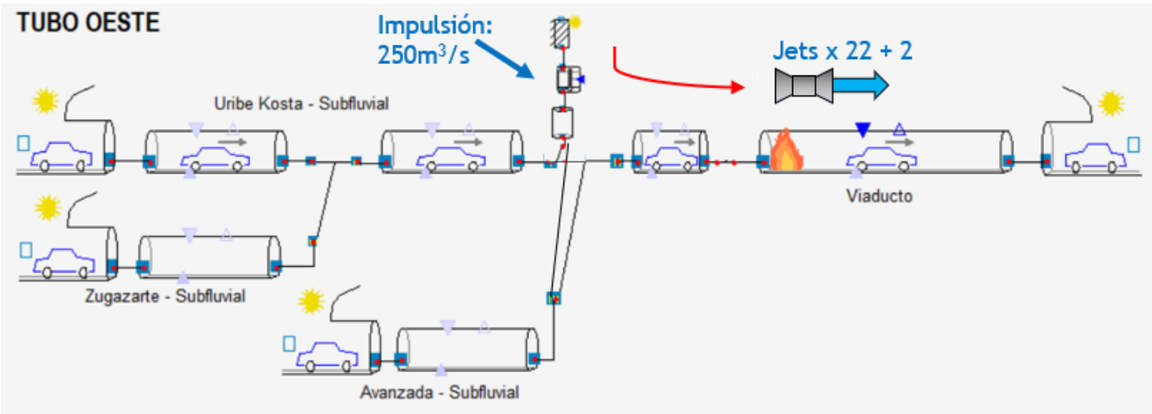


Figura 28 Modelo de simulación para escenario 2: Incendio en el tubo Oeste (Fuente: Elaboración propia)

Como se puede ver en la siguiente figura la velocidad alcanzada aguas arriba del incendio (3.7 m/s) supera la velocidad critica (3.5m/s). El humo se empuja a lo largo del túnel y se extrae mediante la boca.

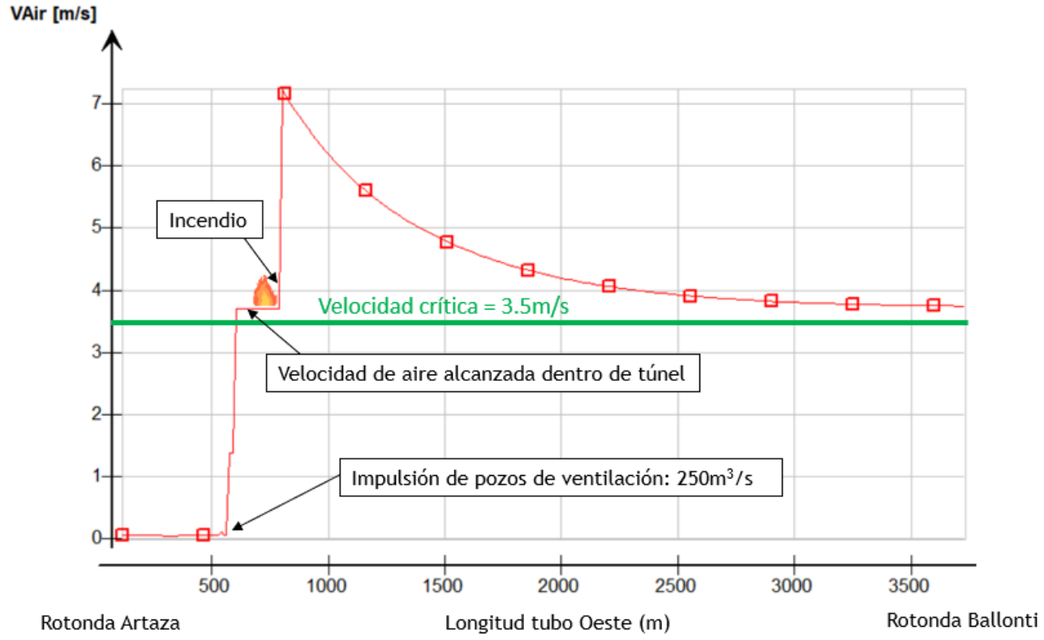


Figura 29 Velocidad de aire lograda en el túnel para el escenario de incendio 2 (Fuente: Elaboración propia)

5.7.3 Escenario 3: Incendio en la caverna Este

Como has ido comentado anteriormente la caverna de bifurcación de los ramales tiene un área aproximadamente 2.5 veces más grande que el tubo (ver Tabla 11) y una longitud de 65m. Por lo tanto, el criterio de diseño adoptado no corresponde ni a ventilación longitudinal ni a ventilación semi-trasversal (ver apartado 5.5) pues esto implicaría sobre dimensionar el sistema de ventilación por un tramo de túnel corto.

La estrategia de ventilación adoptada es mixta (ver Figura 14) y tiene como objetivo establecer condiciones seguras de evacuación usando la capacidad de sistema existente. Como se puede ver en la Figura 30 se plantea utilizar los ventiladores axiales y extraer el humo a través de las dos compuertas ubicadas justo en el principio de los ramales Subfluvial – Uribe Kosta y Subfluvial – Avanzada, respectivamente.

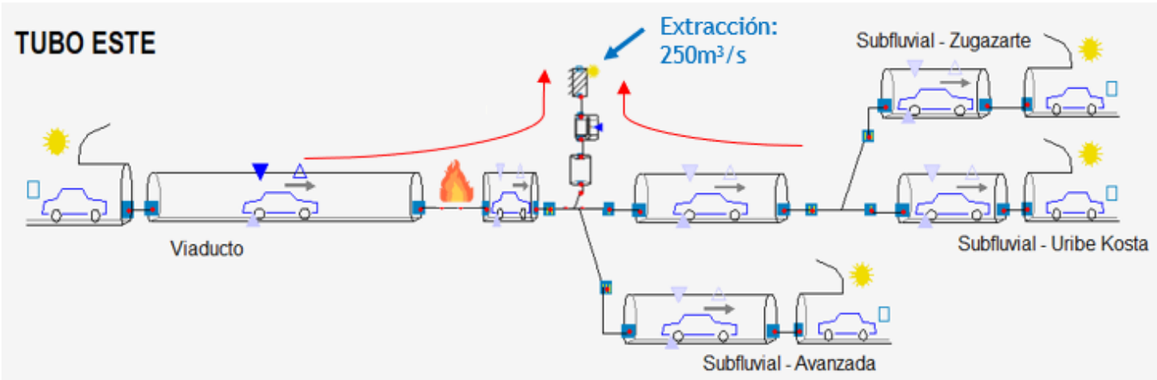


Figura 30 Modelo de simulación para escenario 3: Incendio en la caverna Este (Fuente: Elaboración propia)

Según los resultados, con una capacidad de extracción de 250 m3/s es posible aspirar el humo mediante la caverna y conducirlo a las compuertas de extracción en el principio de los ramales. Como se puede ver el aire del aporte aguas arriba y aguas debajo de la zona de extracción es 0.45m/s cual significa y es probable que el humo se mitigue a las zonas de ventilación cercanas. Considerado que del área de la caverna es grande, la solución de contener de humo no sería nada económica y por lo tanto en la siguiente fase de diseño se realizarán simulaciones FDS que permiten analizar el comportamiento de los humos de forma detallada. Se plantea usar un ventilador tipo jet fan al sentido contario que el sentido de la evacuación para asegurar que la ruta de emergencia se mantendrá limpia de humo. Cabe señalar que la caverna se comportará como un depósito de humo grande y toca conducir el humo a las rejillas con una velocidad baja y por lo tanto hay que asegurar que el funcionamiento del jet fan no destruirá la estratificación de humos.

La estrategia de ventilación en la caverna del tubo Oeste es parecida y se analizará en la siguiente fase de diseño.

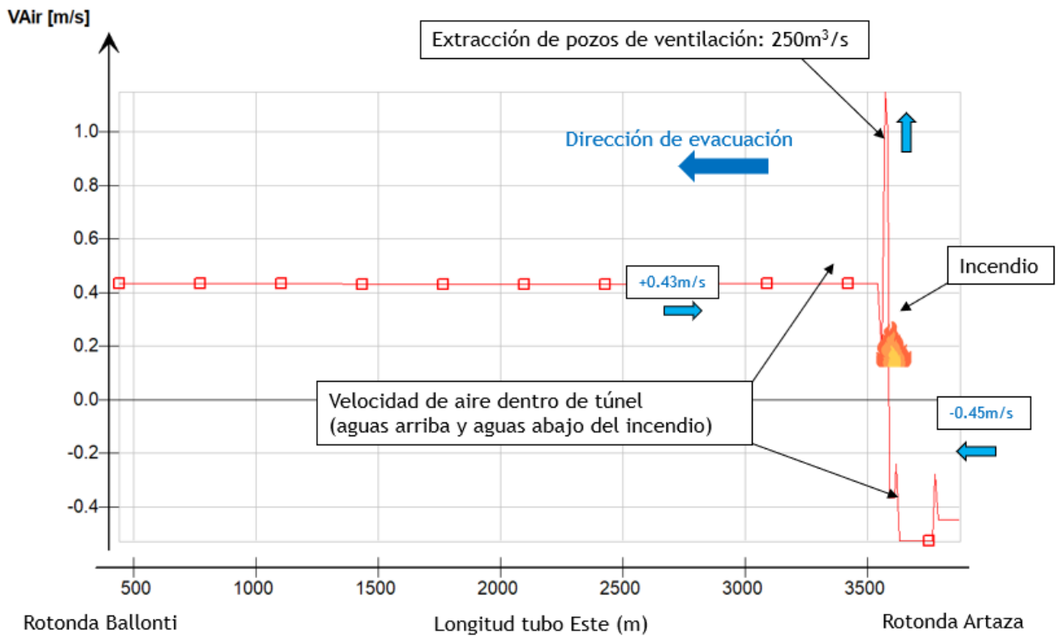


Figura 31 Velocidad de aire lograda en el túnel para el escenario de incendio 3 (Fuente: Elaboración propia)

5.7.4 Escenario 4: Incendio en ramal

La estrategia de ventilación para el caso de incendio en un ramal es semi- trasversal y aplican los criterios de diseño descritos en el apartado 5.5.1.2. En la Figura 32 y Figura 33 se ve el modelo de simulación para el escenario de incendio en el ramal Subfluvial – Avanzada y Avanzada – Subfluvial, respectivamente que corresponden a la estrategia de ventilación presentada en Figura 15 y Figura 16 . En ambos escenarios funcionan los ventiladores axiales aspirando un caudal total de 250 m3/s mediante 3 compuertas que estarán ubicadas cada 100 m. Las compuertas serán telecomandadas y se encenderán las tres compuertas más próximas desde el punto del incendio.

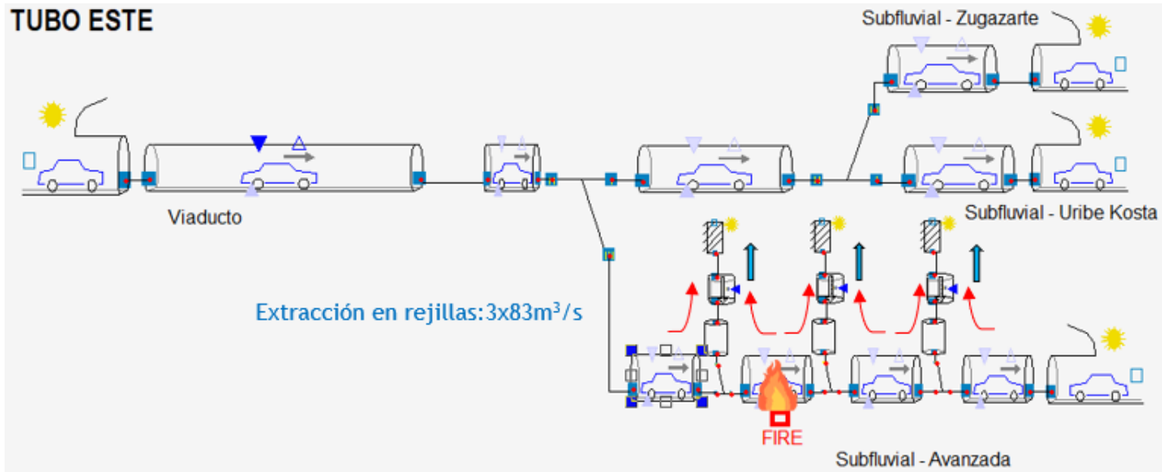


Figura 32 Modelo de simulación para escenario 4: Incendio en el ramal Subfluvial – Avanzada (Fuente: Elaboración propia)

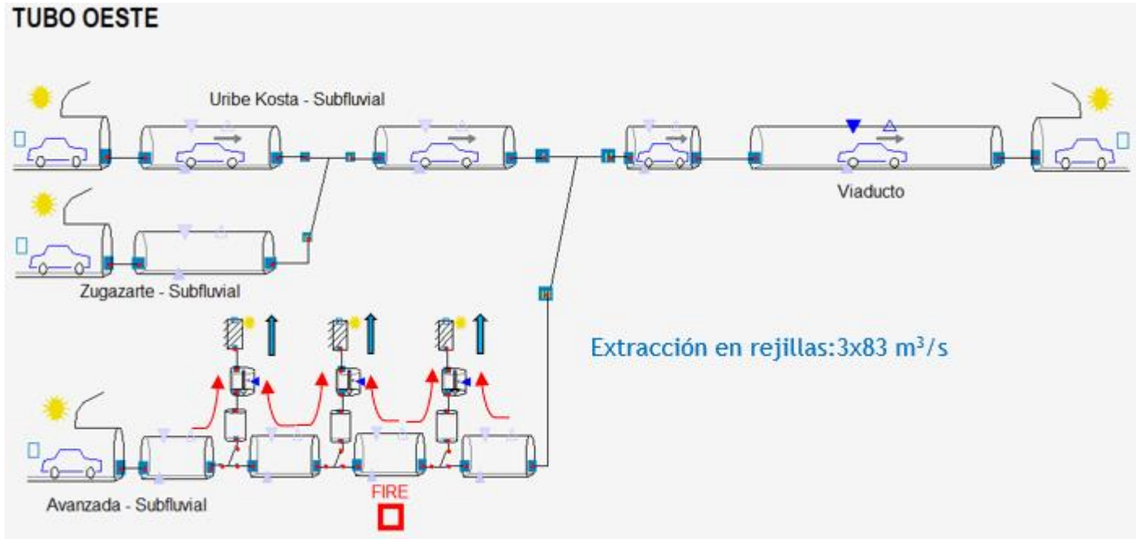


Figura 33 Modelo de simulación para escenario 4: Incendio en el ramal Avanzada - Subfluvial (Fuente: Elaboración propia)

Como se puede ver en las siguientes 2 figuras el sistema de ventilación es capaz de aspirar y contener el humo pues la velocidad de aire de compensación logrado aguas arriba y aguas debajo de la zona de extracción es mayor que 1 m/s que se recomienda para asegurar que el humo no se mitigue a las zonas de ventilación cercanas. En la siguiente fase de diseño se realizarán simulaciones FDS para confirmar que la extracción planeada mediante las 3 compuertas de área de 13,5 m² cada una es uniforme y mantiene la estratificación de humo.

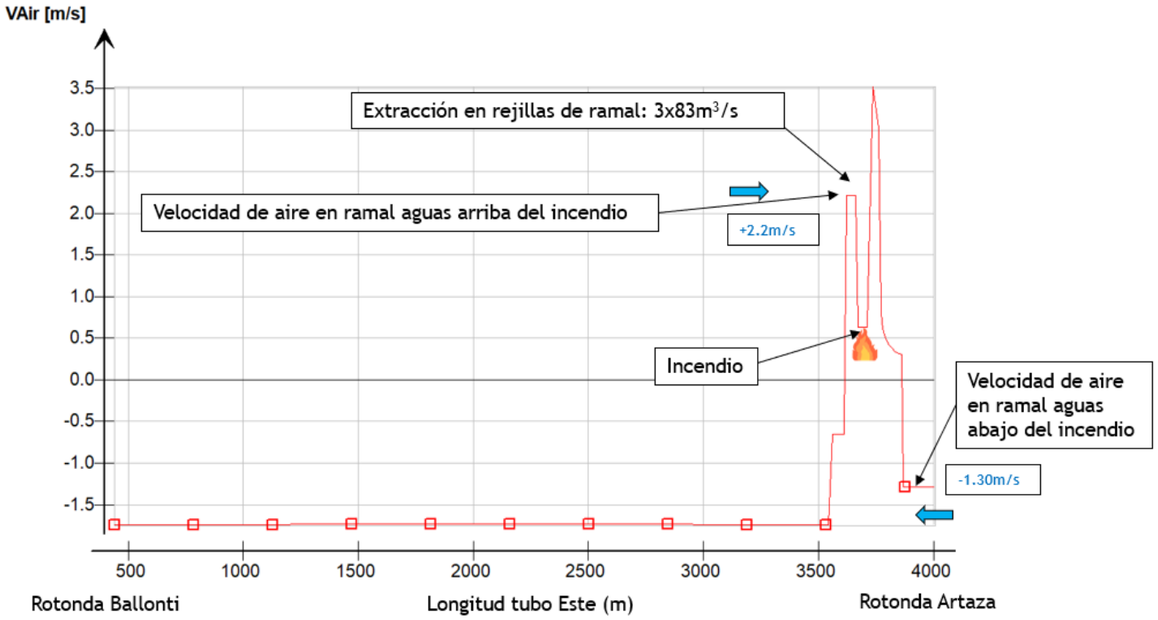


Figura 34 Velocidad de aire lograda en el túnel para el escenario de incendio 4 en el ramal Subfluvial – Avanzada (Fuente: Elaboración propia)

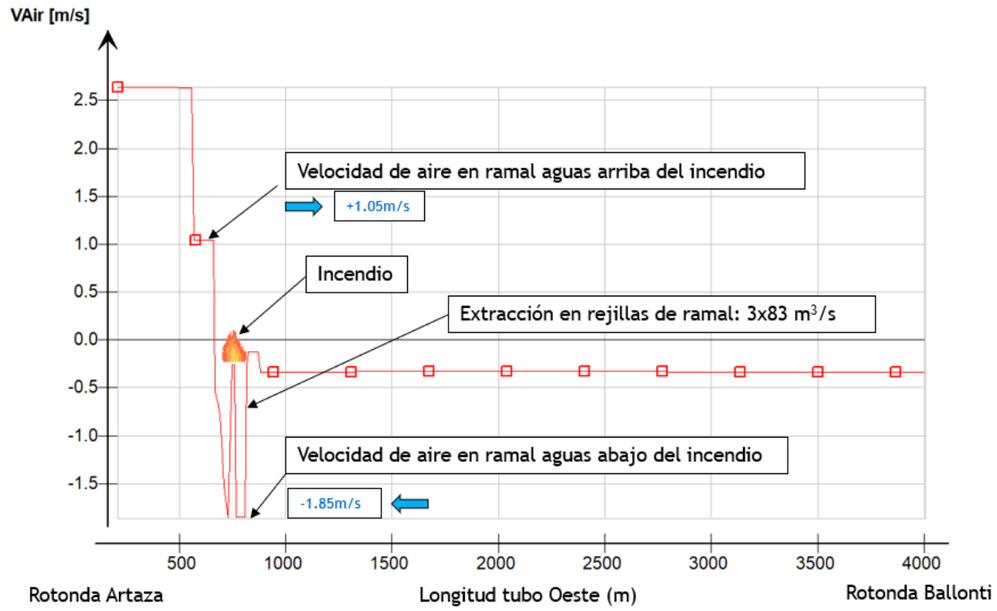


Figura 35 Velocidad de aire lograda en el túnel para el escenario de incendio 4 en el ramal Avanzada - Subfluvial (Fuente: Elaboración propia)

5.8 Configuración del Sistema

La disposición del sistema de ventilación en su conjunto se presenta en el diagrama de principio (ver TSL-EM-DB-01-01-DR-91120 [19]).

5.8.1 Ventiladores tipo jet fan

En total se instalarán 50 ventiladores tipo jet fan en ambos tubos, 26 en tubo Este y 24 en el tubo Oeste. En la siguiente tabla se presentan los puntos kilométricos de cada ventilador y el correspondiente CT que le proporciona para su alimentación. La configuración de los ventiladores es simétrica de los CTs para optimizar la longitud de los cables de alimentación.

	P.K. TUBO ESTE (m)	
1	1110.00	CT2 1+460
2	1110.00	
3	1285.00	
4	1285.00	
5	1460.00	
6	1460.00	
7	1635.00	
8	1635.00	
9	1810.00	

	P.K. TUBO OESTE (m)	
27	822.50	CT3 1+260
28	822.50	
29	997.50	
30	997.50	
31	1172.50	
32	1172.50	
33	1347.50	
34	1347.50	
35	1522.50	

10	1810.00	
11	1985.00	
12	1985.00	
13	2255.00	CT3 2+780
14	2255.00	
15	2430.00	
16	2430.00	
17	2605.00	
18	2605.00	
19	2780.00	
20	2780.00	
21	2955.00	
22	2955.00	
23	3130.00	
24	3130.00	
25	3305.00	
26	3305.00	

36	1522.50	
37	1697.50	
38	1697.50	
39	2122.50	CT2 2+560
40	2122.50	
41	2297.50	
42	2297.50	
43	2472.50	
44	2472.50	
45	2647.50	
46	2647.50	
47	2822.50	
48	2822.50	
49	2997.50	
50	2997.50	

Tabla 15 Ubicación de los ventiladores tipo jet fan (Fuente: Elaboración propia)

Cada ventilador tipo jet fan estará dotado con un arrancador estático y con los siguientes sensores para monitorear su funcionamiento. Los jets fans se agruparán en tableros de control y cada uno tendrá un PLC.

- Sensor de vibración
- Sensor de temperatura para cojinetes
- Sensor de temperatura de devanados

5.8.2 Ventiladores axiales

Como mencionado anteriormente los tres ventiladores axiales se alojarán en CT4, la configuración de la sala se ve en la Figura 36.

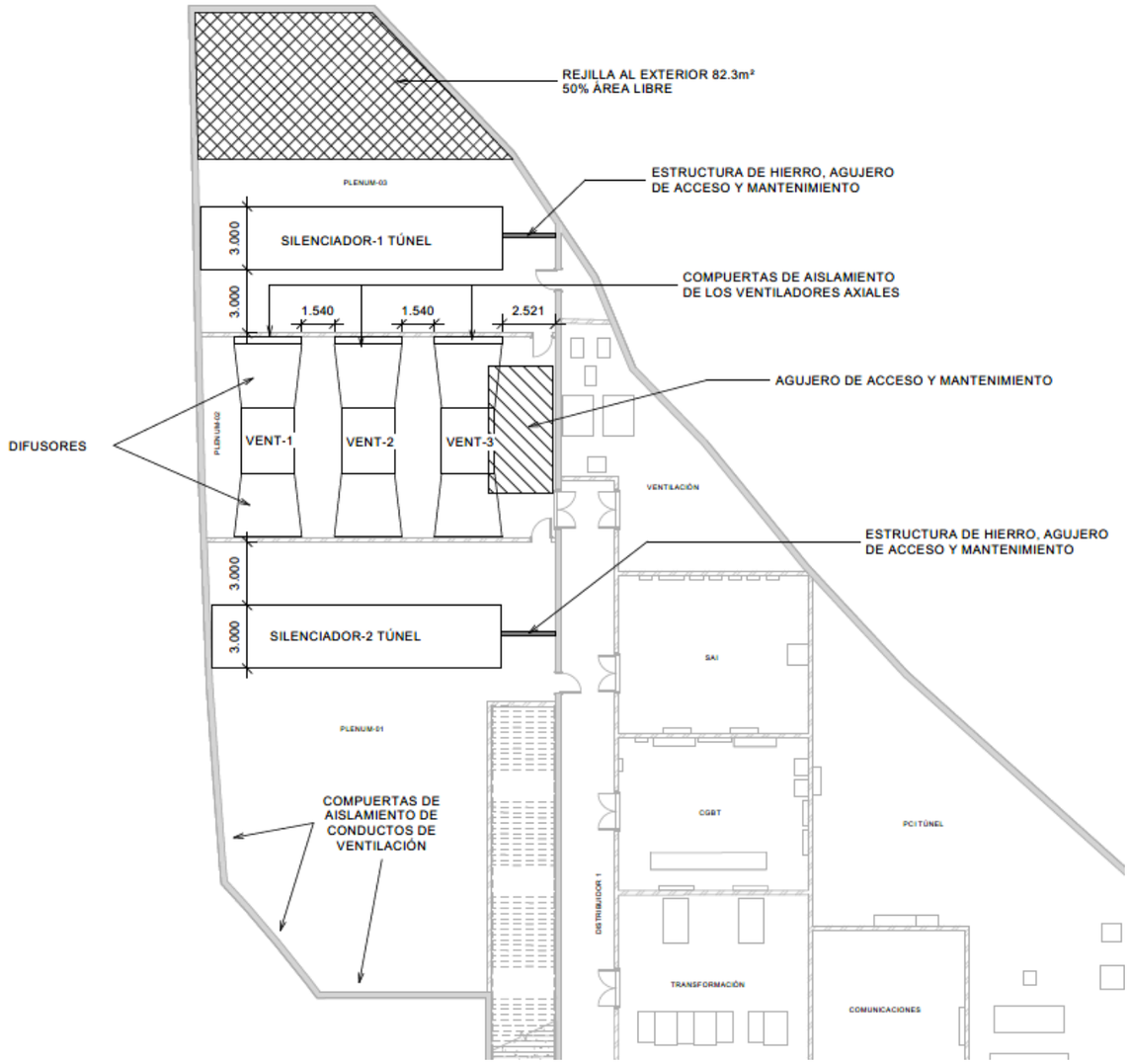


Figura 36 Configuración de los ventiladores axiales en CT4 (Fuente: Elaboración propia)

La reserva de espacio en la sala tiene en cuenta los siguientes elementos:

- Ventiladores axiales
- Pleno de aire hacia al túnel y el exterior
- Silenciadores hacia al túnel y el exterior
- Compuertas de aislamiento de ventilador y actuadores
- Compuertas de aislamiento de los conductos de los ramales que se conectan en el pleno
- Pozo y rejilla de ventilación hacia el exterior

La configuración de las salas establece acceso y mantenimiento para todos los elementos del sistema. El equipo se bajará a través del agujero indicado en la Figura 36 y la sala estará dotada con un puente grúa para el cambio de los ventiladores.

Cada ventilador axial tendrá su propio tablero de control que estará dotado con un variador de frecuencia y un PLC. Además cada ventilador estará dotado con los siguientes sensores para monitorear su funcionamiento.

- Sensor de vibración
- Sensor de temperatura para cojinetes
- Sensor de temperatura de devanados
- Sensor de diferencia de presión

Como se puede ver se plantean silenciadores a los dos lados para mitigar el demasiado ruido al entorno urbano y al túnel. Los silenciadores se instalarán separados de los ventiladores para establecer un área del flujo grande y por lo tanto reducir las pérdidas de presión. Aguas arriba y aguas abajo de los ventiladores habrá plenums de aire para lograr conducir el aire con menos turbulencias a los silenciadores.

Las compuertas de aislamiento de ventilador se dimensionarán para una velocidad máxima de 15 m/s, teniendo en cuenta la reduccíon del área libre debido a las lamas de la compuerta. La configuración de la sala proverá espacio para que los actuadores se instalen al lado y no en la cara de las compuertas para evitar limitar su área libre.

Los conductos de ventilación de los ramales se dimensionan para una velocidad maxima de 17 m/s, la velocidad obtenida en las correspondientes compuertas instaladas en el pleno del túnel se anticipa en torno a 20 m/s debido a la reducción del área libre de las lamas de la compuerta.

La rejilla a la calle esta ubicada en la rotonda de Artaza y será tipo tramex y por lo tanto se considera una reducción de área libre de 50%. La rejilla se dimensiona para evitar generar ruido a través de las rejillas en el nivel de la calle y por lo tanto se proporciona un área de 82.3m^2 cual resultará a una velocidad baja durante la operación de explotación.

5.9 Control de la Calidad Ambiental

5.9.1 Cálculo de emisiones

Para el diseño de la ventilación sanitaria se seguirá los métodos de cálculo recomendados por los documentos de PIARC, principalmente el Informe "Túneles de carretera: emisiones de los vehículos y demanda de ventilación" (2019) Asociación Mundial de la Carretera (PIARC) [11]. Considerado que la composición única de parque móvil no está disponible, en cuando al carburante y la edad de los vehículos y estándar Euro aplicable, el cálculo se realiza según la base de datos para una flota promedio (Método Estándar, § 6 PIARC [11]). Tabla 16 presenta el reparto considerado para los cálculos cual corresponde al parque móvil típico en Europa (Clase tecnológica A, § 3.3 PIARC [11]).

Tabla 16 Composición del parque móvil usado para calcular las tasas de emisión base para el año 2018 (Fuente: Table 7 PIARC [11])

Tipo	año	pre EU1	EU 1	EU 2	EU 3	EU 4	EU 5	EU 6
VL gasolina	2018	2,2%	2,3%	2,6%	2,1%	17,0%	35,7%	38,2%
VL diésel		0,2%	1,3%	2,2%	5,9%	16,8%	36,0%	37,5%
VLC gasolina		5,7%	3,3%	2,4%	4,3%	15,9%	29,7%	38,9%
VLC diésel		1,7%	1,7%	3,0%	8,3%	20,5%	33,6%	31,1%
VP diésel		0,8%	0,6%	1,6%	4,9%	3,1%	29,2%	59,8%

La distribución del parque respecto de los tipos de carburante se considera según la Tabla 17 (*https://www.acea.auto/fuel-cv/fuel-types-of-new-vans-diesel-92-8-electric-1-2-alternative-fuels-1-3-market-share-in-2019/*, *https://www.acea.auto/fuel-cv/fuel-types-of-new-vans-diesel-92-8-electric-1-2-alternative-fuels-1-3-market-share-in-2019/*).

Tabla 17 Composición del parque móvil en cuando al carburante (Fuente: Elaboración propia).

TIPO DE VEHICULO	PORCENTAJE (%)
VL gasolina	40
VL diésel	60
VLC gasolina	4
VLC diésel	96
VP diésel	100

Como se puede ver en la Tabla 16 las tasas de emisión base refieren al año 2018 y por lo tanto es necesario aplicar factores de corrección de tiempo para obtener las emisiones futuras. La fecha de apertura de túnel es 2028 y por lo tanto el cálculo de emisiones tiene en cuenta la influencia de la renovación continuada del parque móvil y los estándares de emisión más restrictivos para los vehículos nuevos.

Tabla 18 Factores de tiempo para vehículos (a) VL (b) VLC (c) VP (Fuente: Table 14, Table 23 y Table 28 PIARC [11])

(a)

f_t	CO		NOx		Opacidad	
Vehículos ligeros	Gasolina	Diésel	Gasolina	Diésel	Gasolina	Diésel
2018	1	1	1	1	1	1
2020	0,91	0,92	0,85	0,87	0,98	0,76
2025	0,78	0,80	0,62	0,51	0,95	0,44
2030	0,71	0,74	0,50	0,32	0,93	0,33
2035	0,69	0,72	0,46	0,26	0,92	0,31

(b)

f_t	CO		NO_X		Opacidad	
VLC	Gasolina	Diésel	Gasolina	Diésel	Gasolina	Diésel
2018	1	1	1	1	1	1
2020	0,80	0,77	0,70	0,82	0,92	0,75
2025	0,57	0,43	0,32	0,49	0,82	0,38
2030	0,49	0,26	0,20	0,34	0,79	0,21
2035	0,48	0,25	0,19	0,29	0,78	0,17

(c)

Año	CO	NO_X	Opacidad
2018	1	1	1
2020	0,89	0,71	0,96
2025	0,76	0,34	0,92
2030	0,72	0,22	0,91
2035	0,72	0,22	0,91

Para los cálculos relativos a PM se tiene en cuenta, salvo las partículas asociadas al tubo de escape, también las partículas no procedentes de la combustión cuales provienen del desgaste de las cubiertas de los neumáticos y los frenos, así como de las partículas generadas por la abrasión del pavimiento y el polvo resuspendido. Tabla 19 presenta las tasas de emisiones base de partículas no procedentes de la combustión para VL y VP. Según § 6.1.3 PIARC [11] los valores de tasas dadas para VL aplican también para VLC.

Tabla 19 Tasas de emisiones base de partículas no procedentes de la combustión (opacidad) para (a) VL (b) VP (Fuente: Table 16, Table 23 y Table 28 PIARC [11])

(a)

VL Opacidad no-escape [m²/h]		
v [km/h]	Bidireccional	Unidireccional
0	0	0
10	1,1	0,7
20	2,2	1,3
30	3,4	2,0
40	4,5	2,6
50	5,6	3,3
60	6,7	3,9
70	7,8	4,6
80	9,0	5,3
90	10,1	5,9
100	11,2	6,6
110	12,3	7,2
120	13,4	7,9
130	14,6	8,6

(b)

VP Opacidad no-escape [m²/h]		
v [km/h]	Bidireccional	Unidireccional
0	0	0
10	5,1	4,4
20	10,1	8,8
30	15,2	13,3
40	20,2	17,7
50	25,3	22,1
60	30,3	26,5
70	35,4	30,9
80	40,4	35,3
90	45,5	39,8
100	50,6	44,2

Las emisiones de los vehículos pesados dependen significativamente de la masa. Las tablas de emisiones de PIARC tienen en cuenta un vehículo pesado con una masa de referencia de 23 t. Se hace un supuesto que 50% de la flota media de los VPs pesa 15 t que corresponde a autobuses y camiones ligeros. Por lo tanto, el cálculo se realiza aplicando un factor corrector de masa según la tabla que se ve debajo.

Tabla 20 Factor de masa (Fuente: Table 27 PIARC [11])

Tipo	CO	NO_X	Opacidad
15 t (p.e. camión, autobús)	0,9	0,9	0,9
23 t (medio)*	1,0	1,0	1,0
32 t (combinación camión-remolque/ semirremolque)	1,2	1,2	1,2
* la media se basa en un 21% de camiones y un 79% de combinaciones camión- remolque o semirremolque			

El cálculo no tiene en cuenta el factor de altitud pues el proyecto está ubicado en el nivel del mar.

Las emisiones de contaminantes de los vehículos se han calculado en función de la velocidad del tráfico y la pendiente de la vía y se presentan en Apéndice A. Las tablas de Apéndice A se usarán en fase posterior del proyecto en cual se llevará a cabo simulaciones unidimensionales mediante el software IDA RTV para modelar como desarrollan los niveles de contaminación en el túnel cuando el tráfico es normal, denso y parado. El análisis de ventilación documentará también las condiciones del aire del túnel para el escenario de explotación de tráfico futuro previsto en el año 2048 (ver Tabla 1).

Las condiciones de ambiente del túnel tendrán en cuenta la disipación del calor de los cuartos técnicos (CTs) que se encuentren en el interior del túnel.

5.9.2 Control de ventilación

El control de sistema de ventilación durante la fase deexplotación se controla según las lecturas de los siguientes sensores:

- Sensor CO
- Sensor NO
- Opacímetro

Dichos sensores están ubicados aproximadamente cada 250 m.

También se controlará la velocidad del aire lograda a lo largo del túnel mediante anemómetros ubicados cada 100m.

La disposición de los sensores y anemómetros se ve en el diagrama de principio (ver TSL-EM-DB-01-01-DR-91120 [19]).

El control de la ventilación prevista permitirá la activación de la ventilación en cada momento intentando mantener una corriente de aproximadamente 1 m/s en el sentido de tiro natural, excepto en caso de que los niveles de contaminación superen los valores establecidos.

En caso de que los detectores adviertan con esta operativa un alto nivel de contaminantes se activarán progresivamente ventiladores adicionales en el sentido de la corriente de aire para aumentar la velocidad con tal de garantizar una corriente de aire suficiente para reducir los niveles de contaminantes. En el caso de la zona este, se podrá o bien inyectar o extraer para lograr los valores adecuados de contaminación.

Es importante disponer siempre de una corriente de aire en los túneles para favorecer el funcionamiento de los equipos de ventilación instalados en los centros de transformación y para proporcionar una renovación del aire en el interior del túnel, evitando aire viciado.

El protocolo de ventilación durante la explotación de los túneles podrá ser optimizado en fase de operación basándose en los datos recogidos por los sensores de contaminantes, las estaciones meteorológicas en las bocas y los anemómetros dispuestos en el túnel de manera que se minimice el cálculo de energía y se garantice en todo momento la renovación del aire anticipándose a posibles problemáticas.

6 VENTILACIÓN DE SOBREPRESIÓN

6.1 Introducción

En caso de incendio la evacuación de realizará a través de las 12 galerías de evacuación de interconexión entre ambos tubos y 5 escaleras de emergencia que salen directamente al exterior cerca de la rotonda de Artaza. Todas las galerías son peatonales salvo 5 que son dedicadas para el paso de los vehículos del equipo de socorro. El sistema de ventilación para las salidas de emergencia tiene como facilitar la evacuación y las operaciones de rescate, de modo que no haya mitigación de humo del túnel a las vías de evacuación.

Durante una evacuación, los usuarios del tubo afectado accederían a la galería de evacuación a través de una puerta de doble hoja (1.8 x 2 m según § 6.1.1 de DF **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) que conecta el túnel con un vestíbulo de la galería. En este caso, que se detecta una alarma de incendio el sistema de ventilación se encenderá activando los ventiladores y aspirando aire del tubo inafectado y le impulsará dentro del vestíbulo de la galería hacia el túnel afectado. Por lo tanto, el objetivo de la ventilación es aumentar la presión en el vestíbulo de la galería para evitar la entrada del humo del túnel afectado a la galería de evacuación y permitir que los usuarios evacuen a través de la misma sin humo.

6.2 Criterios de diseño

Se asumirá la normativa internacional más usada en este campo: UNE EN 12101-6 (ver [10]); cabe señalar que está normativa sólo es aplicable a edificios, pero ante el vacío regulatorio en este tema, se ha convertido en la referencia internacional en la presurización de galerias de evacuación.

La norma UNE EN 12101-6, establece varios sistemas de presurización. Estos sistema varían en función de las características de la vía de evacuación y del edificio. En este caso, se seleccionará el sistema de presurización clase F: Para medios de operaciones de rescate y evacuación dado que hay salidas de emergencia de vehículos para la intervención del equipo de socorro. Siendo los criterios de diseño para este sistema los siguientes:

- Diferencia de presión con puerta cerrada entre el espacio protegido y el espacio adyacente: 50 Pa
- Caudal de aire a través de una puerta abierta que comunica el espacio protegido y el espacio adyacente: 2 m/s
- La fuerza de apertura de la puerta no superará los 100 N

La normativa indica que si la puerta de evacuación es de doble hoja para el cálculo del dimensionamiento se considera que la hoja más pequeña está cerrada.

6.3 Cálculo

A continuación, se muestran los cálculos realizados para obtener el punto de trabajo del ventilador de las galerías de evacuación en función de dos situaciones distintas:

- Con la puerta cerrada donde el criterio de diseño es mantener la diferencia de presión entre el espacio protegido y el espacio adyacente a 50 Pa
- Con la puerta abierta donde el criterio de diseño es mantener un caudal de 2 m/s entre el espacio protegido y el espacio adyacente

El caudal relevante a cada situación se calcula según las formulas debajo:

Diferencial de presión con puerta cerrada

$$Q\left(m^3/s\right) = 0{,}65\,.\,Ae\,(m^2).\left(\frac{2.P}{\rho}\right)^{1/2}\,(Pa) \qquad \text{(ASHRAE)}$$

Caudal de aire con puerta abierta

$$Q\left(m^3/s\right) = V\,(m/s)\,.\,A\,(m^2)$$

La siguiente tabla presenta la geometría de la puerta de emergencia y de los dos vestíbulos en la galería de vehículos y peatonal, respectivamente. Como se puede ver en la galería de vehículos el vestíbulo es la misma la galería, pero en las galerías peatonales habrá 2 vestíbulos entre cada tubo y la galería.

Puerta	
Alto (m)	1.8
Ancho (m)	2.0
Área * (m^2)	3.6
Gallería de vehículos	
Alto (m)	5.75
Ancho (m)	5.0
Longitud (m)	7.0
Gallería peatonal	
Alto (m)	2.88
Ancho (m)	2.5
Longitud (m)	3.0

* Según UNE EN 12101-6 para puertas de doble hojas el cálculo se considera que la hoja más pequeña está cerrada

Tabla 21 Geometría de los vestíbulos y puertas de emergencia

Según los cálculos el caudal del ventilador de sobrepresión debería proporcionar un caudal de 4 m^3/s para cumplir con los criterios de diseño de cada una de las dos situaciones distintas (Con la puerta cerrada, Con la puerta abierta). La diferencia del caudal para la galería de vehículos y la galería peatonal es insignificante pues las dimensiones de la puerta son las que definen el dimensionamiento.

6.4 Configuración del sistema

La Figura 37 presenta el sistema de sobrepresión en la gallería de comunicación de CT2, aplica la misma configuración para la galería de comunicación de CT3 (ver TSL-EM-DB-01-01-DR-91114 [18]).

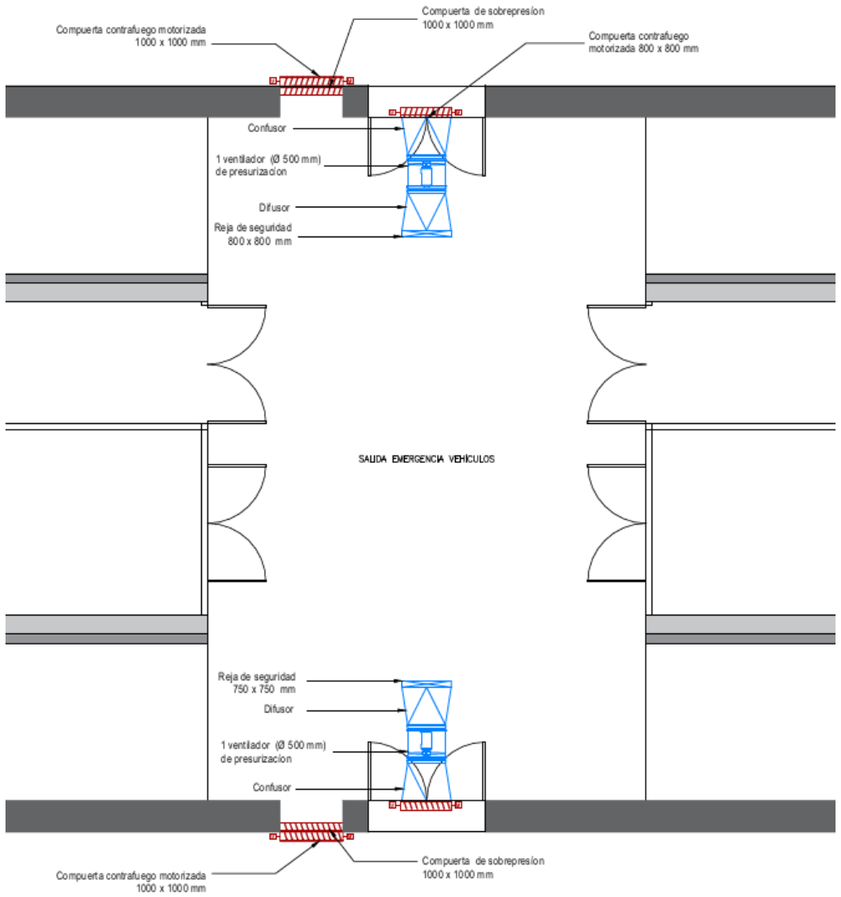


Figura 37 Configuración del sistema de sobrepresión en planta para la galería de CT2

El sistema de sobrepresión consiste en los siguientes elementos

- Ventilador
- Compuerta cortafuego
- Compuerta de sobrepresión

El ventilador se selecciona considerando los siguientes puntos de trabajo de presión:

- Con puerta cerrada Caudal 0 m/s --> presión mínima de 50 Pa, los ventiladores suelen proporcionar una presión bastante más alta para caudal 0 m/s y por lo tanto se necesita una compuerta de sobrepresión
- Con puerta abierta Caudal 4 m/s --> cualquier punto de trabajo de presión sirve pues con la puerta abierta la presión en el vestíbulo es igual que la presión en el túnel

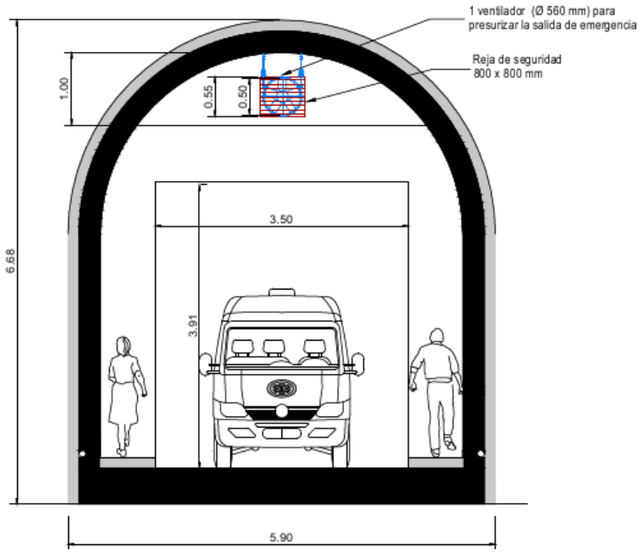
Como se puede ver el sistema no incluye conductos y por lo tanto no hay perdidas de presión adicionales.

Se selecciona un ventilador tipo kit con las características que se ven la Tabla 22.

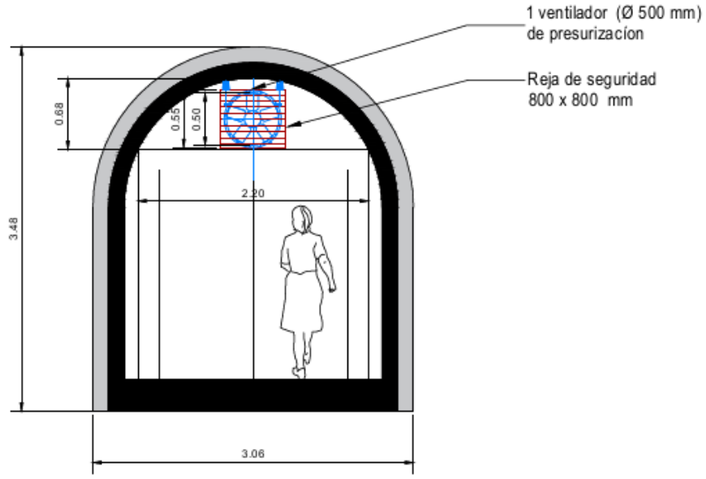
CARACTERÍSTICA	VALOR
Caudal	4 m3/s
Presión	350 Pa
Diámetro interior	500 mm
Potencia instalada	7.5 kW
Resistencia al fuego	No
Reversible	No

Tabla 22 Características de los ventiladores de sobrepresión

En las secciones abajo se ve la reserva de espacio para el ventilador en la galería de comunicación de CT2/CT3 [18] y la galería peatonal.



(a)



(b)

Figura 38 Configuración del sistema de sobrepresión en sección para (a) la galería de CT2 y (b) una galería peatonal

El ventilador se controlará con un sistema de presión diferencial, el cual se compone de una sonda de presión diferencial que mide la diferencia de presión entre el vestíbulo presurizado y el túnel y garantiza que la diferencia de presión se mantiene 50 Pa.

En caso de incendio se encenderán todos los ventiladores de sobrepresión de las galerías de evacuación hacia el tubo inafectado y los ventiladores de las 5 escaleras de emergencia, en total 17 ventiladores de sobrepresión. Los ventiladores se encenderán de manera remota por el sistema de control en caso de detectar un incendio en el túnel.

Como se puede ver el sistema incluye una compuerta contra incendio entre cada tubo y la galería para mantener la compartimentación de la galería asegurando una resistencia al fuego. Dichas compuertas son telemandadas y en caso de detección de incendio las compuertas del tubo afectado cerrarán automáticamente.

Además, el ventilador tendrá una compuerta cortafuego motorizada que se abrirá una vez que se active el ventilador. En caso contrario, se mantendrá cerrada.

Como comentado anteriormente la máxima fuerza permitida en la puerta de emergencia es 100N y con la puerta cerrada la diferencia de presión entre la galería y el túnel debe ser 50 Pa. Entonces para asegurar que durante la evacuación no habrá dificultades abrir la puerta se instalará una compuerta de sobrepresión que sirve como alivio para las presiones excesivas en el vestíbulo para reducir las fuerzas de apertura de la puerta.

7 VENTILACIÓN Y CLIMATIZACIÓN DE LOS CUARTOS TÉCNICOS

7.1 Introducción

El Sistema de Ventilación a diseñar deberá cumplir con los requisitos necesarios para conseguir que los usuarios, el personal empleado, así como los equipos y elementos situados en las áreas técnicas, tal como los centros de transformación, se encuentren en las condiciones ambientales adecuadas a la situación de funcionamiento tanto Normal como en Emergencia.

Este apartado comprende la instalación de ventilación y climatización para las salas técnicas del túnel de manera que se garantice la salubridad y el confort en condiciones normales de explotación y la seguridad para el personal que acuda a estas zonas.

Aquellas áreas, donde tenga lugar una estancia corta de trabajadores, tendrán que disponer de ventilación mecánica mediante impulsión/extracción o solo extracción para la renovación del aire. Algunos cuartos requieren además control de la temperatura y/o humedad. Aquellos locales cuyo aire de impulsión no puede estar contaminado, como

por ejemplo las salas de comunicaciones, se tendrá que instalar filtros en las rejillas de impulsión o extracción, evitando de este modo la propagación de las partículas a las dependencias del túnel.

De acuerdo a las recomendaciones de los fabricantes, así como el buen diseño de ingeniería, los centros de transformación y de baja tensión deberán mantenerse dentro de un límite de temperatura, que generalmente suele ser 40 ºC. La razón es que los transformadores y resto de componentes eléctricos trabajen dentro de las condiciones ambientales adecuadas para evitar problemas de suministro de energía por saltar sus protecciones por exceso de calor.

En la sala donde estén ubicados el SAI, los variadores de motores y racks de comunicaciones, se deberá disponer de un equipo de aire acondicionado, con el fin de que se mantenga una temperatura del orden de 27 ºC ya que estos equipos son muy sensibles a los cambios de temperatura.

7.2 Requisitos de la norma

De acuerdo al Decreto Foral de Seguridad de Túneles de Carretera de la Diputación Foral de Bizkaia, los cuartos técnicos tienen que contar con ventilación forzada en todas sus salas. Asimismo, el cuarto del SAI contará con un sistema de refrigeración.

Las salas telemáticas tendrán una temperatura máxima de 27ºC.

Los Cuartos técnicos contarán con un sistema de monitorización de temperatura interior y exterior, con el objetivo de regularla con la ventilación de modo que en el interior se mantenga la menor de las dos.

En cuanto a la renovación del aire ambiental en edificios, locales y cuartos técnicos se seguirá la norma UNE 13779.

Condiciones de diseño de los distintos locales

Local / Espacio, que contiene	A/C	Ventilación
Transformador	N/A	SI
Celdas MT	N/A	SI
CGBT	SI	SANITARIA
Baterías SAI	SI	SANITARIA
Comunicaciones y Sistemas	SI	SANITARIA
PCI CTs	N/A	SI
Telefonía	SI	SANITARIA
PCI Túnel	N/A	SI
Almacén	N/A	SI
Compañía	N/A	SI
Ventilación	N/A	SI

7.3 Ventilación de salas y cuartos técnicos

Se ha definido cuatro (4) cuartos técnicos para dar servicio al túnel. Dos (2) de ellos (CT2 y CT3) serán interiores, uno (CT1) estará ubicado en el exterior del emboquille de la zona de Ballonti y el último (CT4) estará enterrado en la zona de la glorieta de Artaza inicialmente. En la siguiente se muestra la ubicación aproximada de los cuartos técnicos.

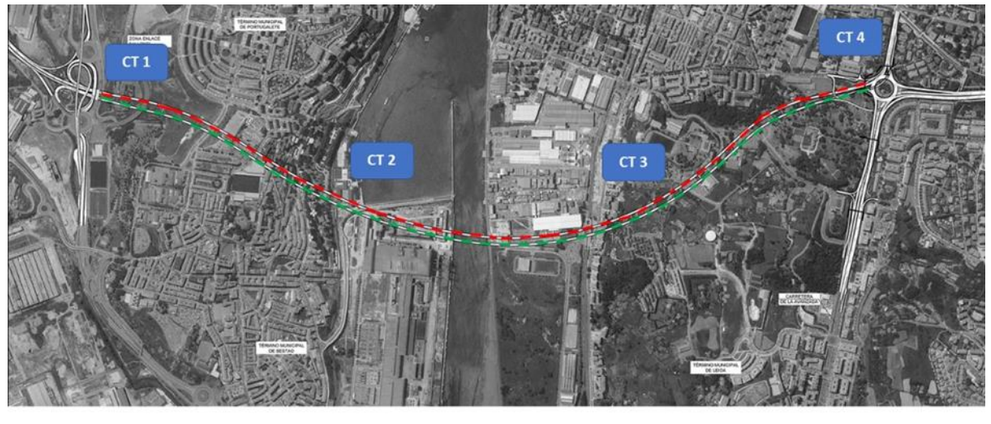


Figura 1. Ubicación aproximada cuartos técnicos Subfluvial Lamiako. Fuente: Elaboración propia

Cada local técnico a su vez esta formado por los siguientes locales:

<u>CT1 local técnico situado al exterior</u>:

- Centro transformación.
- CGBT.
- SAI.
- Comunicaciones.
- Telefonía.
- PCI CT.
- PCI túnel.
- Almacén.
- Local compañía.

CT2 y CT3, situados en el interior del túnel.

- Centro transformación línea 1
- Local celdas AT línea 1
- Local cuadros.
- Centro de transformación línea 2.
- Local celdas AT línea 2.
- PCI CT.
- Comunicaciones y sistemas.

CT4, situado exterior túnel, enterrado.

- Centro transformación.
- CGBT.
- Local ventilación.

- PCI CT.
- Local compañía.
- Telefonía.
- SAI.
- Comunicaciones.
- PCI túnel.

7.4 Descripción del sistema

Todos los cuartos y salas del túnel requerirán un sistema de ventilación. Se ha diseñado el sistema de ventilación de los cuartos técnicos mediante inyección de aire exterior forzada y un sistema de extracción del aire interior de los locales mediante ventilación mecánica. Los cuartos técnicos, dependiendo de su ubicación tomarán el aire de lugares distintos, tendrán los siguientes elementos para ventilación:

Conducto de impulsión:

- Rejilla admisión intemperie.
- Válvula cortafuegos. (en CT1 Y CT2).
- Unidad de tratamiento aire (UTA), compuesta por prefiltro + filtro + ventilador (en CT2 y CT3).
- Válvulas corta tiro motorizada em todos los locales que dispongan de medios de extinción por gas.
- Válvula reguladora de flujo.
- Rejilla interior descarga.

Conducto extracción:

- Rejilla extracción
- Válvula regulación flujo.
- Válvulas corta tiro motorizada em todos los locales que dispongan de medios de extinción por gas.
- Ventilador de extracción.
- Válvula cortafuegos.
- Válvula antirretorno descarga exterior.

7.4.1.1 Criterio de diseño

En el diseño y dimensionamiento de la ventilación de los cuartos técnicos, se deben de tener en cuenta los siguientes requisitos y criterios.

- Temperatura del aire exterior: 30 ºC (verano)
- Humedad relativa: 50 %
- Temperatura del aire interior túnel: 25 ºC
- Temperatura máxima del local: 40ºC
- Temperatura salas climatizadas: 27 ºC

Todas las instalaciones, equipos y sistemas exteriores serán de un tipo adecuado para el funcionamiento continuo a plena carga en una temperatura ambiente máxima (sombra) de clima cálido.

Todos los equipos, aparatos, materiales y accesorios utilizados en los sistemas HVAC serán adecuados para el fin previsto y capaces de funcionar con un rendimiento satisfactorio en las condiciones climáticas de la zona donde se va a desarrollar el proyecto en cuestión.

Aire de impulsión:

De acuerdo con la norma UNE-EN 13779, clasificamos el aire de impulsión en SUP1 (aire que solo contiene aire exterior, no existiendo recirculación)

Aire interior:

De acuerdo con el RITE, la clasificación del aire interior esta indicada en la siguiente tabla.

Categoría	Descripción
IDA 1	Calidad alta
IDA 2	Calidad media
IDA 3	Calidad moderada
IDA 4	Calidad baja

Para la ventilación de los cuartos técnicos optamos para este proyecto una calidad del aire interior IDA3, calidad moderada. De acuerdo con el RITE apartado 1.1.4.2, clasifica la calidad del aire interior en función del uso del local, en nuestro caso particular asociamos las salas de ordenadores que indica el RITE, a los locales técnicos de este proyecto donde instalamos los racks de comunicaciones, CCTV, etc.

Para la ventilación de los cuartos técnicos situados en la CT2 y CT3 situados en el interior del túnel, tomaremos el aire de uno de los tubos del túnel y el aire extraído de dichos locales lo descargaremos al otro tubo del túnel a través de la galería de comunicación entre ambos tubos.

La calidad del aire en el interior del túnel se clasifica como ODA 4, al tratarse de aire con altas concentraciones de contaminantes gaseosos y partículas.

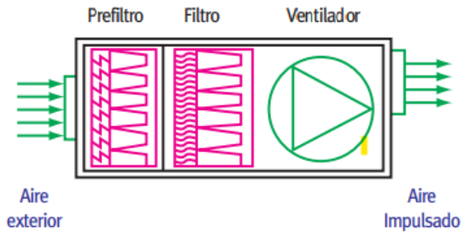
De acuerdo con el RITE las clases de filtración mínimas para prefiltros y filtros finales es la siguiente en función de la calidad requerida en el interior de dichos locales.

	Prefiltros / Filtros			
	IDA 1	IDA 2	IDA 3	IDA 4
ODA 1	F7 / F9	F6 / F8	F6 / F7	G4 / F6
ODA 2	F7 / F9	F6 / F8	F6 / F7	G4 / F6
ODA 3	F7 / F9	F6 / F8	F6 / F7	G4 / F6
ODA 4	F7 / F9	F6 / F8	F6 / F7	G4 / F6
ODA 5	F6/GF(*) / F9	F6/GF(*) / F9	F6 / F7	G4 / F6

(*) Se deberá prever la instalación de un filtro de gas o un filtro químico (GF) situado entre las dos etapas de filtración. El conjunto de filtración F6/GF/F9 se pondrá, preferentemente, en una unidad de pretratamiento de aire (UPA).

Tabla 20: Clases de filtración, (Tabla 1.4.2.5 del RITE corregida)

En nuestro caso al tratarse de ventiladores con acoplamiento directo, la configuración de la unidad de tratamiento de aire seria la siguiente:



Teniendo en consideración que la ventilación de los cuartos técnicos no es continua, sino que funciona mediante un control horario, por temperatura y por concentración de gases debido a las baterías, los prefíltroses son muy recomendables para reducir el polvo en la entrada de la unidad de ventilación y para aumentar el tiempo de vida del filtro final. Con un programa de mantenimiento adecuado, en instalaciones de menos de 70 kW y funcionamiento anual inferior a 3000 horas, puede resultar adecuado no utilizar prefiltros de alta eficiencia e incluir un filtro de baja eficiencia, con ello obtenemos las siguientes ventajas:

- Menor consumo energético del ventilador.
- Menor ruido de la unidad de ventilación.
- Mayor estabilidad en el caudal de la unidad de ventilación.
- Menor espacio requerido: más facilidad de instalación em falso techo.

Siendo este nuestro caso optaremos por sustituir el prefiltro de alta eficiencia F6 por uno de tipo G4 (clasificación filtros según norma EN 779) que tiene una arrestancia mayor que 90%.

De acuerdo con la nueva normativa de clasificación de los filtros ISO 16890, el prefiltro a instalar se define ISO grueso con una eficiencia >60% (perdida de carga final de 250 Pa) y el filtro F7 se define como ISO Epm1 >50%, (perdida de carga final 450 Pa) (partículas de gases de escape).

Se deberá disponer medios que mantengan la integridad estructural entre sectores de incendios distintos o vías de evacuación como son las galerías de servicio. Entre túnel y galería debe disponerse válvulas cortafuegos tanto en los conductos de admisión o descarga que atraviesen, y entre galería y cuartos técnicos también para proteger la vía de evacuación en caso de incendio dentro del cuarto técnico. Las compuertas cortafuegos, son dispositivos con especificación de resistencia al fuego RF120, en condiciones normales se encuentra abierta. Si el fuego se encuentra próximo un termofusible acciona el mecanismo de cierre aislando el compartimento.

Se debe considerar que en caso de incendio en uno de los tubos no provoque el paro de la ventilación de los locales técnicos CT2 y CT3 situados en el interior del túnel, para ello se debe disponer de admisión de aire desde ambos tubos y descarga también. En situación de incendio en uno de los tubos la ventilación tomara el aire del tubo contrario y descargara la exhaustación al tubo que tenga el incendio. En el supuesto de disparo de la válvula cortafuego por alta temperatura en la descarga en el tubo con el incendio, se podrá descargar en el tubo contrario, pero siempre aguas abajo (en el sentido del tráfico, por el efecto pistón) de la admisión.

Las salas que deben ser climatizadas son:

- Local comunicaciones y sistemas (CT2 y CT3)
- Local de cuadros (CT2 y CT3)
- Local CGBT, SAI, telefonía y comunicaciones (CT1 y CT4)
- Local ventilación (CT4)

En todas ellas se va a emplear un sistema de climatización por expansión directa, mixto independiente donde la impulsión del aire de ventilación se realiza de forma independiente al aporte por parte de las unidades terminales de pared, techo o suelo.

En estos locales debemos disponer una renovación mínima de aire exterior de 0,3 L/s.m^2 (ASHRAE 62.1 2019)

Las salas que solamente dispongan de ventilación, el sistema de control de la ventilación además de manual debe disponerse un sistema de regulación por termostato en función de las temperaturas de tarado consideradas convenientemente para el funcionamiento de los equipos dispuestos en dichos locales y un sistema horario que permita programar el funcionamiento de los ventiladores semanalmente.

Las salas refrigeradas dispondrán de una pequeña ventilación sanitaria para renovación del aire interior, en las salas donde se instalen baterías como los SAI, deben instalarse detectores de hidrogeno, cuando la concentración supere el 1% los ventiladores de impulsión como los de extracción deben arrancarse automáticamente. Dichos ventiladores deben ser de tipo antideflagrante. Las entradas de aire en los locales SAI deben situarse muy cerca del suelo y las extracciones en el techo.

En los locales PCI túnel, se instalarán grupos de bombeo CI, siendo uno de ellos accionados por un grupo diésel, en el diseño de la ventilación de estos locales debemos considerar tanto la carga térmica del local como el volumen de aire requerido por el grupo diésel para la combustión.

En el CT1 al estar el local PCI túnel en un local pequeño se ha considerado una ventilación sanitaria suministrada por la ventilación general del CT1 dejando la ventilación dedicada del local PCI túnel solamente en el caso de activación del sistema de CI del túnel.

En el CT4 al disponerse un local de PCI túnel de grandes dimensiones, se ha optado por un sistema dedicado pero controlado con variador de frecuencia, para permitir el funcionamiento de la ventilación en un punto de trabajo que asegure una ventilación sanitaria del local.

7.5 Cálculos preliminares.

Se han realizado varios análisis para determinar las necesidades de ventilación forzada en cada uno de los cuartos técnicos. Por lo tanto, se presentan los siguientes cálculos:

- Cálculo de necesidades de ventilación por disipación térmica
- Cálculo de necesidades de ventilación por tasa de renovación horaria del aire
- Cálculo de necesidades de ventilación por tasa de aire exterior por superficie
- Cálculo de necesidades de ventilación por dilución de H2 en las salas de baterías (SAI)
- Cálculo de necesidades de ventilación por extracción del gas NOVEC 1230

Cálculo de necesidades de ventilación por disipación térmica

En el caso de los cuartos con equipos que tengan una disipación térmica considerable, se realizará una ventilación forzada para impulsar el aire necesario para lograr un salto de temperatura determinado en la sala. Para ello, se va a emplear la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{q}{\rho . C_p . \Delta T}$$

Donde:

- Q: Caudal de ventilación (m^3/s)
- q: Disipación térmica de los equipos (kW)
- ρ: densidad del aire (kg/m^3), en función de la temperatura y de la presión ambiente.
- C_p: calor específico del aire (1 kJ/kg/K)
- ΔT: Diferencia de temperatura (exterior – interior)

Cálculo de necesidades de ventilación por tasa de renovación horaria del aire

Para ventilar o renovar el aire de un local, se puede realizar el cálculo de necesidades de ventilación dependiendo de la actividad o uso que se hace del local. En este caso, las alteraciones que sufre el aire y el calor que se expulsa según la actividad.

En función de los factores que afectan la aportación de aire, se podrá determinar el número de renovaciones por hora que requiere un local determinado y calcular el caudal de ventilación necesario:

$$Q = V \,.\, N$$

Donde:

- Q: Caudal de ventilación (m^3/s)
- V: Volumen que ocupa el local (m^3)
- N: número de renovaciones por hora, según la norma DIN 1946 para el uso y tipo de local (renovaciones/h)

Cálculo de necesidades de ventilación por tasa de aire exterior por superficie

Otros procedimientos que pueden ser utilizados para el cálculo de los caudales mínimos necesarios de aire exterior de ventilación son los expuestos en el R.I.T.E. Al ser todas salas que no van a tener una ocupación de personas permanente, se puede utilizar el "Método indirecto de caudal de aire por unidad de superficie" que permite calcular las necesidades para espacios no dedicados a ocupación humana permanente en función de la superficie de la sala.

En este caso, se tiene que clasificar primero la calidad del aire interior (IDA) del local en función de la actividad que se desarrolle en su interior, sabiendo que se clasifica en 4 categorías:

IDA 1	**Aire de óptima calidad:** hospitales, clínicas, laboratorios y guarderías.
IDA 2	**Aire de buena calidad:** oficinas, residencias (locales comunes de hoteles y similares, residencias de ancianos y de estudiantes), salas de lectura, museos, salas de tribunales, aulas de enseñanza y asimilables y piscinas.
IDA 3	**Aire de calidad media:** edificios comerciales, cines, teatros, salones de actos, habitaciones de hoteles y similares, restaurantes, cafeterías, bares, salas de fiestas, gimnasios, locales para el deporte (salvo piscinas) y salas de ordenadores.
IDA 4	**Aire de calidad baja:** no se debe aplicar.

Tabla 12: Categorías del aire interior en función del uso de los edificios

Por lo tanto, las salas de los cuartos técnicos de los túneles se ajustan a la categoría de IDA 3 (aire de calidad moderada), lo que corresponde a un caudal de aire exterior de 0,55 L/s·m².

En función del área de cada uno de los locales, se podrá determinar el caudal de ventilación necesario:

$$Q = F_{IDA-3} \,.\, A$$

Donde:

- Q: Caudal de ventilación (m^3/s)
- F_{IDA-3}: Caudal de aire exterior ($L/s.m^2$)
- A: Superficie de la sala (m^2)

Cálculo de necesidades de ventilación por dilución de H2 en las salas de baterías

La ventilación en un cuarto técnico donde se localizan baterías debe disponer ventilación mecánica de acuerdo con uno de los siguientes sistemas:

- El sistema de ventilación estará diseñado para limitar la concentración máxima de hidrogeno al 1% del volumen total de la sala.
- Ventilación continua con una ratio de 5,1 $L/s/m^2$ de superficie de la sala o mediante activación mediante un sistema de detección continua de gas (NFPA 1 2018 Art.52.3.2.8.2)

Como el hidrogeno es un gas más ligero que el aire, la ventilación debe proporcionar aire fresco en el nivel del suelo y la extracción debe situarse por el techo.

Todos los ventiladores que den servicio a las salas de SAI deben ser construidos de forma que no generen chispas (antideflagrantes) y deben ser instalados fuera de dichos locales.

En las salas SAI deben instalarse un detector de gases inflamables, tóxicos y oxígeno, que de alarma cuando supere la concentración máxima, activándose:

- La ventilación tanto de impulsión como de extracción del local.
- Parando los equipos de climatización instalados dentro del local.
- Señal de alarma en el puesto de control.

Cálculo de necesidades de ventilación por extracción del gas NOVEC 1230

El efecto de extinción del fluido Novec 1230 se basa únicamente en el enfriamiento y no, como ocurre con el CO2 y los gases inertes, en el principio del desplazamiento del aire y la reducción de oxígeno. Si el fluido Novec 1230 entra en contacto con el fuego, elimina el calor, por lo que las reacciones de combustión dejan de producirse.

En todas las salas que utilicen como agente extintor el gas NOVEC, deberán disponerse en todos los conductos de admisión o extracción de aire de dicho local, medios de cierre estancos al gas.

Gracias al amplio margen de seguridad que tiene para las personas, los estándares del sector no exigen que disponga de un proceso mecánico diseñado para eliminar el fluido/gas Novec 1230 del espacio protegido. Una vez dicho esto, no obstante, el objetivo de la ventilación será el de extraer el humo tras un posible incendio.

Todas las salas con este sistema de extinción deberán estar equipadas con ventiladores que sean capaces de extraer los humos.

Pese a no haber exigencias en los estándares del sector para esta ventilación, se establecen 6 renovaciones hora en la sala como criterio para dimensionar este tipo de sistemas. Lo que proporcionara una limpieza de humos en la sala en 10 minutos.

7.6 Resultados

A continuación, se muestran los resultados de los diferentes cálculos realizados para el dimensionamiento de la ventilación de los cuartos técnicos. Se concluye que, al disponer de muchos equipos eléctricos que desprenden calor al estar funcionando, el dimensionamiento de la ventilación de las pequeñas salas de los cuartos técnicos se realizará en su totalidad por el criterio de disipación térmica.

Sin embargo, en la mayoría de las salas, le ventilación necesaria en operación normal del túnel será menor, ya que todos los equipos no estarán funcionando intensivamente al mismo tiempo, disminuido el calor expulsado y, por consiguiente, la necesidad de ventilación en los cuartos técnicos.

Disipación térmica considerada en cada local técnico, considerando lo siguiente:

- La iluminación es de tipo leed y hemos estimado 10 W/m2
- En esta fase de anteproyecto que no disponemos de datos reales de los equipos a instalar hemos estimado los valores para el cálculo de la carga térmica.

CUARTO TÉCNICO	LOCAL	CARGA TÉRMICA ESTIMADA [kW]
CT1	TRANSFORMADORES	23,8
	CGBT	6,9
	SAI	7,3
	COMUNICACIONES	4,7
	TELEFONIA	5,0
	PCI CT	3,9
	PCI Túnel	36,7
	ALMACEN	1,5
	COMPAÑÍA	5,1
	PASILLO	0,4
CT2	TRANSF. LINEA 1	19,2
	CELDAS MT LINEA 1	2,7
	LOCAL CUADROS	7,5
	TRANSF. LINEA 2	19,2
	CELDAS MT LINEA 2	2,7
	SAI	7,8
	COMUNIC.Y SISTEMAS	1,6
	PCI CTs	0,2
	PASILLO 1	1,3
	PASILLO 2	1,3
CT3	TRANSF. LINEA 1	19,2
	CELDAS MT LINEA 1	2,7
	LOCAL CUADROS	7,5
	TRANSF. LINEA 2	19,2
	CELDAS MT LINEA 2	2,7
	SAI	7,8
	COMUNIC.Y SISTEMAS	1,6
	PCI CTs	0,2
	PASILLO 1	1,3
	PASILLO 2	1,3
CT4	VENTILACION	3,3
	CGBT	21,7
	COMUNICACIONES	6,0
	TRANSFORMACION	30,8
	SAI	8,1
	PCI TUNEL	39,4
	PCI CT	0,5
	COMPAÑÍA	5,1
	TELEFONICA	3,3
	PASILLO	0,3
	PASILLO 1	0,3
	PASILLO2	0,3

Tabla 23: Cargas térmicas estimadas

Ocupaciones locales considerada:

En operación normal en los locales se ha considerado, sin ocupación en el diseño.

RESULTADOS CALCULOS:

LOCAL A VENTILAR		DATOS DE PARTIDA			S / RITE	S/ NFPA 1			CAUDAL NECESARIO								
		Superficie (m2)	Altura (m)	*Nª de Personas*	Por / m2 de local (l/s)	dilución H2 (l/s.m2)	Por ext. Gas (minutos)	Renov./h consideradas	Por superficie (m3/h)	Por dil. H2 (m3/h)	Por exh. local (m3/h)	Por renov/h (m3/h)	*Por calor en interior (m3/h)*	IMPULSION (m3/h)		EVACUACION (m3/h)	
CT1	TRANSFORMADORES	122	4	0	0,55	---	10	6	19	---	2.928	2.928	7.700	7.705	NATURAL	7.705	SUP-LMK-VEX-001L1
	CGBT	59,57	4	0	0,55	---	10	3	9	---	1.430	715	714	1.435	SUP-LMK-VIM-002L1	1.435	SUP-LMK-VEX-002L1
	SAI	59,57	4	0	0,55	5,1	10	3	9	1.094	1.430	715	714	1.435	SUP-LMK-VIM-003L1	1.435	SUP-LMK-VEX-004L1
	COMUNICACIONES	63	4	0	0,55	---	10	3	10	---	1.512	756	720	1.515	SUP-LMK-VIM-002L1	1.515	SUP-LMK-VEX-002L1
	TELEFONIA	29,9898	4	0	0,55	---	10	3	5	---	720	360	360	725	SUP-LMK-VIM-002L1	725	SUP-LMK-VEX-002L1
	PCI CT	28,37	4	0	0,55	---	---	6	4	---	---	681	1.275	1.275	SUP-LMK-VIM-002L1	1.275	NATURAL
	PCI Túnel	28,39	4	0	0,55	---	---	6	4	---	---	681	13.350	13.355	SUP-LMK-VIM-001L1	13.355	SUP-LMK-VEX-003L1
	ALMACEN	28,39	4	0	0,55	---	---	3	4	---	---	341	475	475	SUP-LMK-VIM-002L1	475	SUP-LMK-VEX-002L1
	COMPAÑÍA	42,21	4	0	0,55	---	10	3	6	---	1.014	507	510	1.015	SUP-LMK-VIM-002L1	1.015	SUP-LMK-VEX-002L1
	PASILLO	52,49	4	0	0,55	---	---	3	104	---	---	630	125	625	SUP-LMK-VIM-002L1	625	SUP-LMK-VEX-002L1
CT2	TRANSF. LINEA 1	11,3	4	0	0,55	---	10	6	2	---	272	271	6.200	6.205	SUP-LMK-VIM-001L2	6.205	SUP-LMK-VEX-001L2
	CELDAS MT LINEA 1	14,9	4	0	0,55	---	10	3	2	---	358	179	360	365	SUP-LMK-VIM-001L2	365	SUP-LMK-VEX-001L2
	LOCAL CUADROS	54,4	4	0	0,55	---	10	3	8	---	1.306	653	778	1.305	SUP-LMK-VIM-001L2	1.305	SUP-LMK-VEX-001L2
	TRANSF. LINEA 2	11,3	4	0	0,55	---	10	6	2	---	272	271	6.200	6.205	SUP-LMK-VIM-002L2	6.205	SUP-LMK-VEX-002L2
	CELDAS MT LINEA 2	14,9	4	0	0,55	---	10	3	2	---	358	179	356	355	SUP-LMK-VIM-002L2	355	SUP-LMK-VEX-002L2
	SAI	15,7	4	0	0,55	5,1	10	3	2	288	377	188	376	375	SUP-LMK-VIM-002L2	375	SUP-LMK-VEX-002L2
	COMUNIC.Y SISTEMAS	22,4	4	0	0,55	---	10	3	3	---	538	269	531	535	SUP-LMK-VIM-002L2	535	SUP-LMK-VEX-002L2
	PCI CTs	9,2	4	0	0,55	---	---	6	1	---	---	221	75	225	SUP-LMK-VIM-002L2	225	SUP-LMK-VEX-002L2
	PASILLO 1	17	4	0	0,55	---	---	3	34	---	---	204	450	455	SUP-LMK-VIM-001L2	455	SUP-LMK-VEX-001L2
	PASILLO 2	33	4	0	0,55	---	---	3	65	---	---	396	450	455	SUP-LMK-VIM-002L2	455	SUP-LMK-VEX-002L2
CT3	TRANSF. LINEA 1	11,3	4	0	0,55	---	10	6	2	---	272	271	6.200	6.205	SUP-LMK-VIM-001L3	6.205	SUP-LMK-VEX-001L3
	CELDAS MT LINEA 1	14,9	4	0	0,55	---	10	3	2	---	358	179	360	365	SUP-LMK-VIM-001L3	365	SUP-LMK-VEX-001L3
	LOCAL CUADROS	54,4	4	0	0,55	---	10	3	8	---	1.306	653	778	1.305	SUP-LMK-VIM-001L3	1.305	SUP-LMK-VEX-001L3
	TRANSF. LINEA 2	11,3	4	0	0,55	---	10	6	2	---	272	271	6.200	6.205	SUP-LMK-VIM-002L3	6.205	SUP-LMK-VEX-002L3
	CELDAS MT LINEA 2	14,9	4	0	0,55	---	10	3	2	---	358	179	356	355	SUP-LMK-VIM-002L3	355	SUP-LMK-VEX-002L3
	SAI	15,7	4	0	0,55	5,1	10	3	2	288	377	188	376	375	SUP-LMK-VIM-002L3	375	SUP-LMK-VEX-002L3
	COMUNIC.Y SISTEMAS	22,4	4	0	0,55	---	10	3	3	---	538	269	531	535	SUP-LMK-VIM-002L3	535	SUP-LMK-VEX-002L3
	PCI CTs	9,2	4	0	0,55	---	---	6	1	---	---	221	125	225	SUP-LMK-VIM-002L3	225	SUP-LMK-VEX-002L3
	PASILLO 1	17	4	0	0,55	---	---	3	34	---	---	204	450	455	SUP-LMK-VIM-001L3	455	SUP-LMK-VEX-001L3
	PASILLO 2	33	4	0	0,55	---	---	3	65	---	---	396	450	455	SUP-LMK-VIM-002L3	455	SUP-LMK-VEX-002L3
CT4	VENTILACION	68,86	6	0	0,55	---	10	6	11	---	---	2.479	1.075	2.475	SUP-LMK-VIM-001L4	2.475	SUP-LMK-VEX-002L4
	CGBT	71	4,5	0	0,55	---	10	3	11	---	1.917	959	904	1.915	SUP-LMK-VIM-001L4	1.915	SUP-LMK-VEX-002L4
	COMUNICACIONES	59,52	4,5	0	0,55	---	10	3	9	---	1.608	804	703	1.605	SUP-LMK-VIM-001L4	1.605	SUP-LMK-VEX-002L4
	TRANSFORMACION	64,14	4,5	0	0,55	5,1	10	6	10	---	1.732	1.732	9.950	9.955	SUP-LMK-VIM-001L4	9.955	SUP-LMK-VEX-002L4
	SAI	77,9	4,5	0	0,55	---	---	3	12	1.430	2.104	1.052	878	2.105	SUP-LMK-VIM-001L4	2.105	SUP-LMK-VEX-002L4
	PCI TUNEL	372,06	4,5	0	0,55	---	---	6	57	---	---	10.046	14.450	14.455	SUP-LMK-VIM-003L4	14.455	SUP-LMK-VEX-003L4
	PCI CT	47,46	4,5	0	0,55	---	10	6	7	---	---	1.281	175	1.285	SUP-LMK-VIM-001L4	1.285	SUP-LMK-VEX-002L4
	COMPAÑÍA	42	4,5	0	0,55	---	10	3	6	---	1.134	567	569	1.135	SUP-LMK-VIM-001L4	1.135	SUP-LMK-VEX-002L4
	TELEFONICA	42	4,5	0	0,55	---	---	3	6	---	1.134	567	569	1.135	SUP-LMK-VIM-001L4	1.135	SUP-LMK-VEX-002L4
	PASILLO	71,8	4,5	0	0,55	---	---	3	142	---	---	969	100	965	SUP-LMK-VIM-001L4	965	SUP-LMK-VEX-002L4
	PASILLO 1	36	4,5	0	0,55	---	---	3	71	---	---	486	100	485	SUP-LMK-VIM-001L4	485	SUP-LMK-VEX-002L4
	PASILLO2	12	4,5	0	0,55			3	24	---	---	162	100	165	SUP-LMK-VIM-001L4	165	SUP-LMK-VEX-002L4

Fuente: Elaboración propia

Tabla 24: Resultados del cálculo de necesidades de ventilación para cada uno d ellos cuartos técnicos

VENTILADORES A IMPLANTAR:

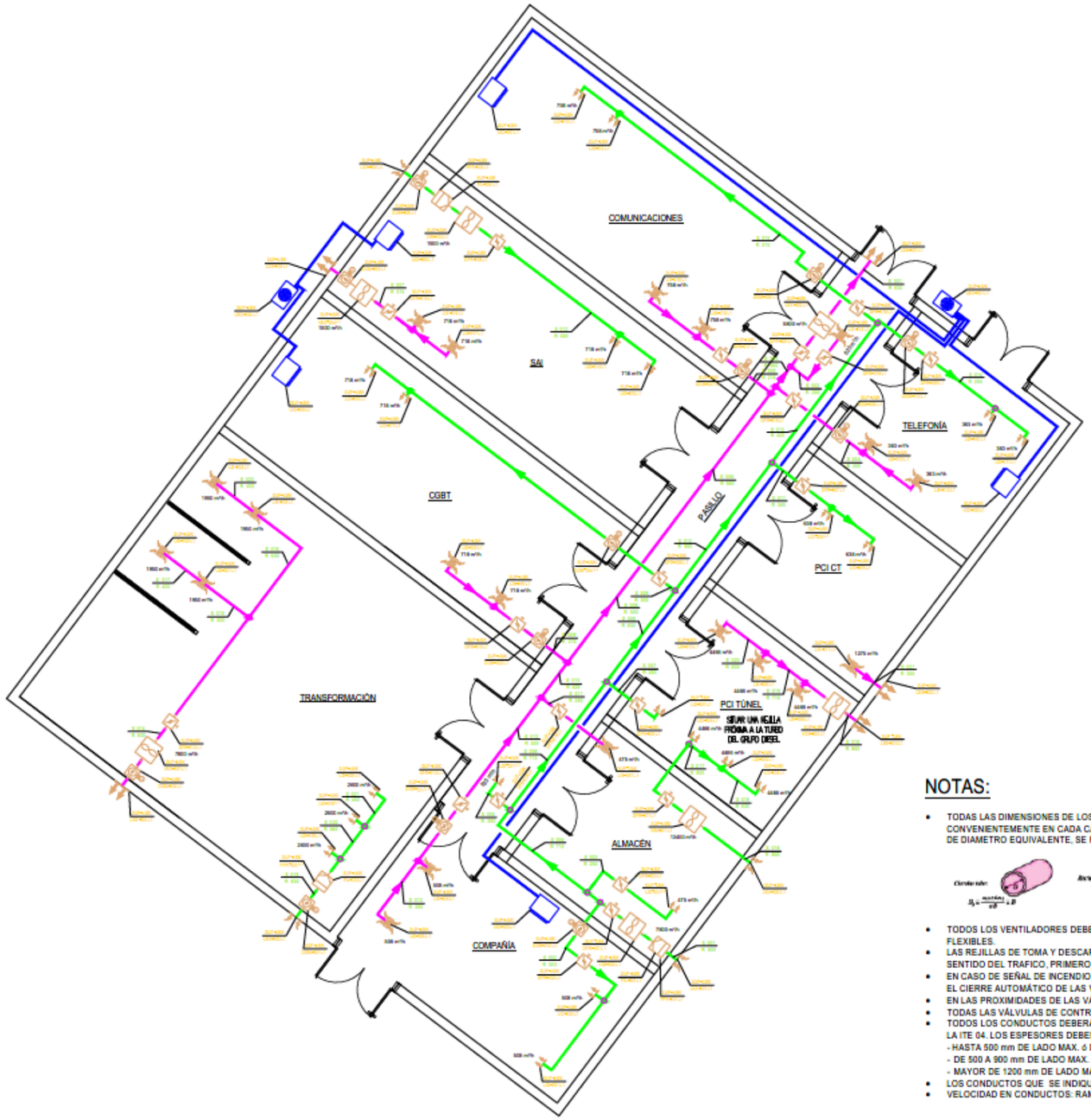
VENTILADORES									
CUARTO	DESIGNACION	SITUACION EQUIPO	TIPO DE VENTILADOR	SERVICIO	CAUDAL m³/h	Presión Estática Pa	MOTOR ELECTRICO		OBSERVACIONES
							Potencia kW	Tensión y Frecuencia	
CT1	SUP-LMK-VEX-001L1	CT1 TRANSF.	CAJA VENT. ACUSTICA CON VENTILADOR HELICOIDAL	EXHAUSTACION TRANSF.	7.800	500	2	3F/400V/50HZ	
	SUP-LMK-VEX-002L1	CT1 PASILLO	CAJA VENT. ACUSTICA CON VENTILADOR HELICOIDAL	EXHAUSTACION CT1	5.800	300	2	3F/400V/50HZ	
	SUP-LMK-VEX-003L1	CT1 PCI TÚNEL	CAJA VENT. ACUSTICA CON VENTILADOR HELICOIDAL	EXHAUSTACION PCI TÚNEL	13.400	250	2	3F/400V/50HZ	SOLO EMERGENCIA, DOBLE ALIMENTACION
	SUP-LMK-VEX-004L1	CT1 SAI	CAJA VENT. ACUSTICA CON VENTILADOR CENTRIFUGO	EXHAUSTACION SAI	1.500	250	0	3F/400V/50HZ	ANTIDEFLAGANTE
	SUP-LMK-VIM-001L1	CT1 ALMACÉN	CAJA VENT. ACUSTICA CON VENTILADOR HELICOIDAL	ADMISION PCI TÚNEL	13.400	250	4	3F/400V/50HZ	SOLO EMERGENCIA, DOBLE ALIMENTACION
	SUP-LMK-VIM-002L1	CT1 ALMACÉN	CAJA VENT. ACUSTICA CON VENTILADOR HELICOIDAL	ADMISION CT1	7.800	500	3	3F/400V/50HZ	
	SUP-LMK-VIM-003L1	CT1 SAI	CAJA VENT. ACUSTICA CON VENTILADOR HELICOIDAL	ADMISION SAI	1.500	400	1	3F/400V/50HZ	ANTIDEFLAGANTE
CT2	SUP-LMK-VEX-001L2	CT2A PASILLO 1	CAJA VENT. ACUSTICA CON VENTILADOR HELICOIDAL	EXHAUSTACION CT2A	8.400	350	2	3F/400V/50HZ	
	SUP-LMK-VEX-002L2	CT2B PASILLO 2	CAJA VENT. ACUSTICA CON VENTILADOR HELICOIDAL	EXHAUSTACION CT2B	8.200	350	2	3F/400V/50HZ	ANTIDEFLAGANTE
	SUP-LMK-VIM-001L2	CT2A PASILLO 1	CAJA VENT. ACUSTICA CON VENTILADOR HELICOIDAL	ADMISION CT2A	8.400	500	3	3F/400V/50HZ	
	SUP-LMK-VIM-002L2	CT2B PASILLO 2	CAJA VENT. ACUSTICA CON VENTILADOR HELICOIDAL	ADMISION CT2B	8.200	500	3	3F/400V/50HZ	ANTIDEFLAGANTE
CT3	SUP-LMK-VEX-001L3	CT3A PASILLO 1	CAJA VENT. ACUSTICA CON VENTILADOR HELICOIDAL	EXHAUSTACION CT3A	8.400	350	2	3F/400V/50HZ	
	SUP-LMK-VEX-002L3	CT3B PASILLO 2	CAJA VENT. ACUSTICA CON VENTILADOR HELICOIDAL	EXHAUSTACION CT3B	8.200	350	2	3F/400V/50HZ	ANTIDEFLAGANTE
	SUP-LMK-VIM-001L3	CT3A PASILLO 1	CAJA VENT. ACUSTICA CON VENTILADOR HELICOIDAL	ADMISION CT3A	8.400	500	3	3F/400V/50HZ	
	SUP-LMK-VIM-002L3	CT3B PASILLO 2	CAJA VENT. ACUSTICA CON VENTILADOR HELICOIDAL	ADMISION CT3B	8.200	500	3	3F/400V/50HZ	ANTIDEFLAGANTE
CT4	SUP-LMK-VEX-001L4	CT4 PCI TÚNEL	CAJA VENT. ACUSTICA CON VENTILADOR HELICOIDAL	EXHAUSTACION CT4	21.200	400	6	3F/400V/50HZ	
	SUP-LMK-VEX-002L4	CT4 PCI TÚNEL	CAJA VENT. ACUSTICA CON VENTILADOR HELICOIDAL	EXHAUSTACION PCI TÚNEL	14.500	300	2	3F/400V/50HZ	VARIADOR DE FRECUENCIA, DOBLE ALIMENTACION
	SUP-LMK-VEX-003L4	CT4 PCI TÚNEL	CAJA VENT. ACUSTICA CON VENTILADOR HELICOIDAL	EXHAUSTACION PCI SAI	2.200	300	1	3F/400V/50HZ	ANTIDEFLAGANTE
	SUP-LMK-VIM-001L4	CT4 VENTILACION	CAJA VENT. ACUSTICA CON VENTILADOR CENTRIFUGO	ADMISION CT4	21.200	500	8	3F/400V/50HZ	
	SUP-LMK-VIM-002L4	CT4 VENTILACION	CAJA VENT. ACUSTICA CON VENTILADOR CENTRIFUGO	ADMISION PCI TÚNEL	14.500	500	4	3F/400V/50HZ	VARIADOR DE FRECUENCIA, DOBLE ALIMENTACION
	SUP-LMK-VIM-003L4	CT4 VENTILACION	VENTILADOR CENTRIFUGO	ADMISION CT4 SAI	2.200	500	3	3F/400V/50HZ	ANTIDEFLAGANTE

Fuente: Elaboración propia

Tabla 25: relación de ventiladores a instalar

En los cálculos, se han analizado todos los casos mencionados para comprobar cuál es el más restrictivo, siendo el criterio de caudal de aire por disipación de calor el más restrictivo para las salas con solo ventilación. Y en las salas climatizadas resulta la condición de poder extraer el agente extintor en menos de 10 minutos, siendo está la condición que nos fija el caudal de ventilación de estas salas.

Esquema HVAC CT1:



CODIFICACION ACCESORIOS Y EQUIPOS

CCSSSIT
EQUMUNNY

CCSS: IDENTIFICA EL CONTRATO
SIT: IDENTIFICA EL VIAL O TUNEL
EQU: IDENTIFICA EL TIPO DE ELEMENTO
NUM: ORDINAL (3) NUMEROS + 1 LETRA INDICA POSICION DEL ELEMENTO, RESPECTO A ELEMENTOS DEL MISMO TIPO, EN ORDEN CRECIENTE EN FUNCION DEL SENTIDO TRAFICO
Y: LA CLAVE "Y" INDICA EL NUMERO DE GALERIA O LOCAL TECNICO EMPEZANDO A CONTAR DESDE LA ZONA DE BALLONTI.

TUN	MUK	MUK - TUNEL SUBFLUVIAL LAMBRO
EQU	DCM	VALVULA CONTROL MOTORIZADA
	DFR	VALVULA REGULACIÓN FLUJO
	DGM	VALVULA ESTANCA AL GAS MOTORIZADA
	DNR	VALVULA ANTIRETORNO
	FCM	VALVULA CORTAFUEGOS MOTORIZADA
	FIL	FILTRO AIRE
	FPR	PRE FILTRO AIRE
	LBA	REJILLA EXTERIOR ADMISIÓN
	LBE	REJILLA EXTERIOR EXHAUSTACIÓN
	LID	REJILLA INTERIOR DESCARGA
	LIE	REJILLA INTERIOR EXHAUSTACIÓN
	UEC	UNIDAD EXTERIOR CLIMATIZACIÓN
	UIC	UNIDAD INTERIOR CLIMATIZACIÓN
NUMB	XXXD	EQUIPO EN TUNEL DESCENDENTE (TUBO OESTE)
	XXXA	EQUIPO EN TUNEL ASCENDENTE (TUBO ESTE)
	XXXGY	EQUIPO EN GALERIA
	XXXLY	EQUIPO EN LOCAL TECNICO

SIMBOLOGIA

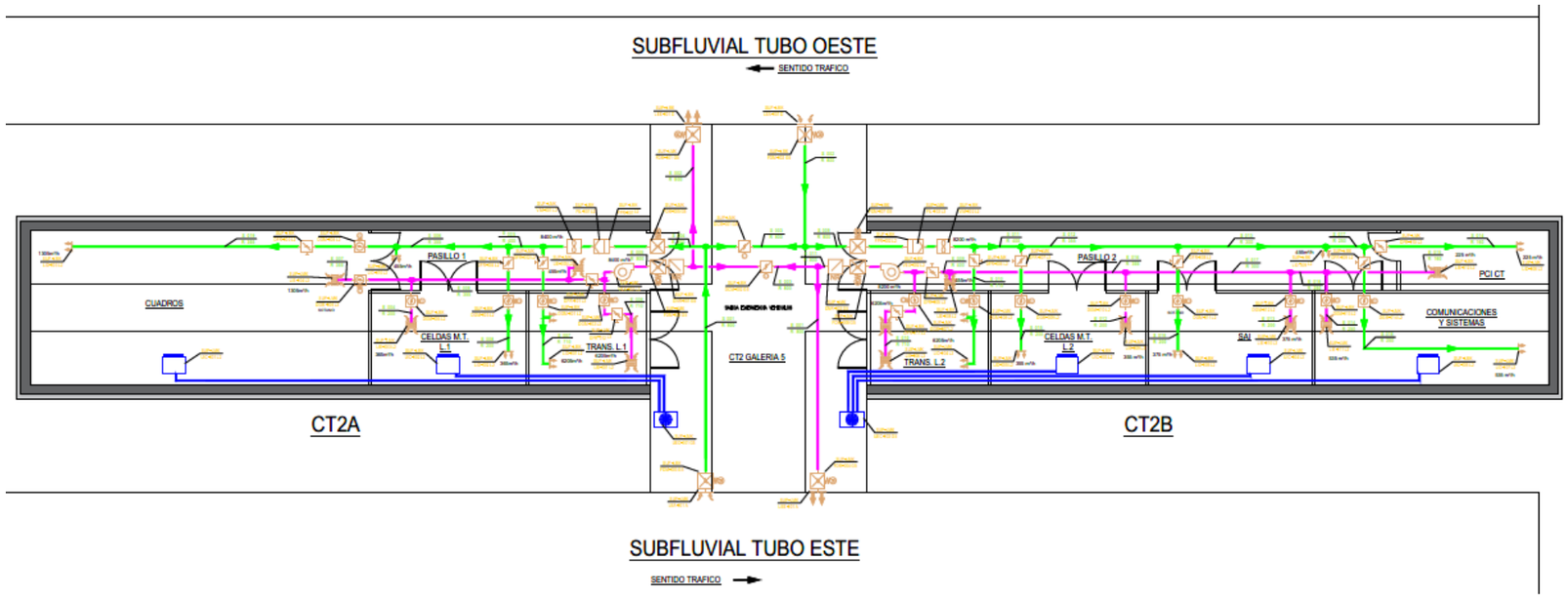
- VALVULA CORTAFUEGOS
- VALVULA ANTIRETORNO
- VALVULA REGULACION MANUAL
- VALVULA ESTANCA AL GAS MOTORIZADA Y RETORNO MUELLE
- REJILLA EXTERIOR ADMISION
- REJILLA EXTERIOR EXHAUSTACION
- REJILLA INTERIOR SUMINISTRO
- REJILLA INTERIOR EXTRACCION
- VENTILADOR AXIAL
- VENTILADOR CENTRIFUGO
- VENTILADOR HELICOIDAL MURAL
- UTA (PREFILTRO + FILTRO AIRE)
- VRV/VRF UNIDAD INTERIOR A/C
- UNIDAD EXTERIOR A/C
- VENTILACION SUMINISTRO
- VENTILACION EXHAUSTACION
- TUBERIA REFRIGERANTE

NOTAS:

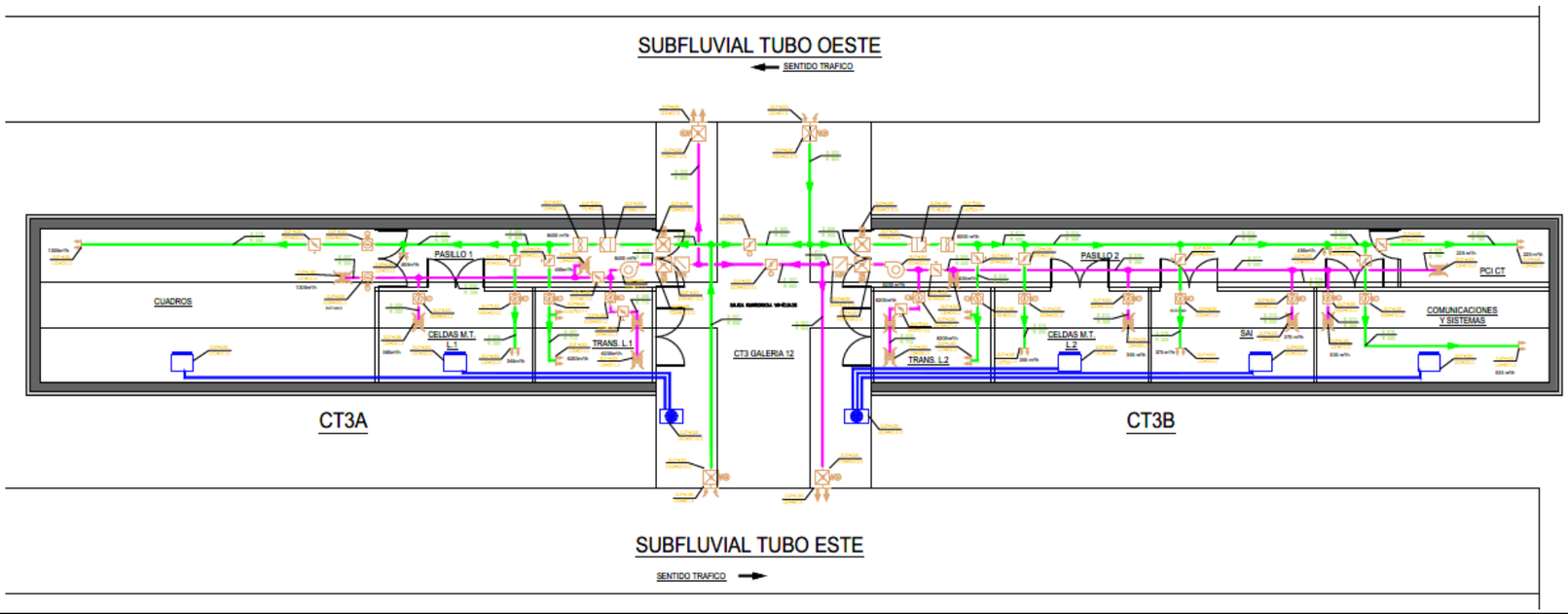
- TODAS LAS DIMENSIONES DE LOS CONDUCTOS SE HAN INDICADO COMO CONDUCTOS CIRCULARES. LA CONVERSION DEBE REALIZARSE CONVENIENTEMENTE EN CADA CASO. PARA LA CONVERSION DE CONDUCTOS CIRCULARES A RECTANGULARES DEBE TENERSE EN CUENTA EL CONCEPTO DE DIAMETRO EQUIVALENTE, SE PUEDE UTILIZAR LA SIGUIENTE CONVERSION CON UNA RELACION MAXIMA RECOMENDADA DE LADO X LADO (A x B) DE 1:3

- TODOS LOS VENTILADORES DEBEN SER SOPORTADOS ELÁSTICAMENTE, ASÍ COMO LAS CONEXIONES A LOS CONDUCTOS DEBEN DISPONER UNIONES FLEXIBLES.
- LAS REJILLAS DE TOMA Y DESCARGA EXTERIORES DEBEN DE INSTALARSE LO MAS ALEJADAS POSIBLES ENTRE ELLAS Y SE INSTALARAN SEGÚN EL SENTIDO DEL TRAFICO, PRIMERO LA REJILLA DE ADMISIÓN Y DESPUÉS LA REJILLA DE DESCARGA.
- EN CASO DE SEÑAL DE INCENDIO EN ALGUNO DE LOS LOCALES LOS VENTILADORES DE DICHOS LOCALES DEBEN PARA AUTOMÁTICAMENTE, Y ACTIVARSE EL CIERRE AUTOMÁTICO DE LAS VÁLVULAS CORTATIRO DEL LOCAL DONDE SE HAYA PRODUCIDO LA ALARMA.
- EN LAS PROXIMIDADES DE LAS VÁLVULAS CORTAFUEGOS Y VÁLVULAS ESTANCAS AL GAS, DEBEN DISPONERSE REGISTRO DE INSPECCIÓN.
- TODAS LAS VÁLVULAS DE CONTROL DE FLUJO (DFR), DEBEN SER AJUSTADAS AL CAUDAL NOMINAL DESPUÉS DE SU INSTALACIÓN.
- TODOS LOS CONDUCTOS DEBERÁN SER DE MATERIAL ACERO GALVANIZADO TIPO ENGATILLADO, Y DEBERÁN CUMPLIR CON LOS REQUISITOS EXIGIDOS EN LA ITE 04. LOS ESPESORES DEBEN SER LOS SIGUIENTES:
  - HASTA 500 mm DE LADO MAX. ó DIÁMETRO: 0,6 mm
  - DE 500 A 900 mm DE LADO MAX. ó DIÁMETRO: 0,8 mm
  - MAYOR DE 1200 mm DE LADO MAX. ó DIÁMETRO: 1,2 mm
- LOS CONDUCTOS QUE SE INDIQUEN CON UN INTEGRIDAD AL FUEGO DEBEN SER CONSTRUIDOS CON MATERIAL DE TIPO FIBROSILICATO.
- VELOCIDAD EN CONDUCTOS: RAMALES PRINCIPALES 5 a 10 m/s ; RAMAL SECUNDARIO: 2 a 5 m/s

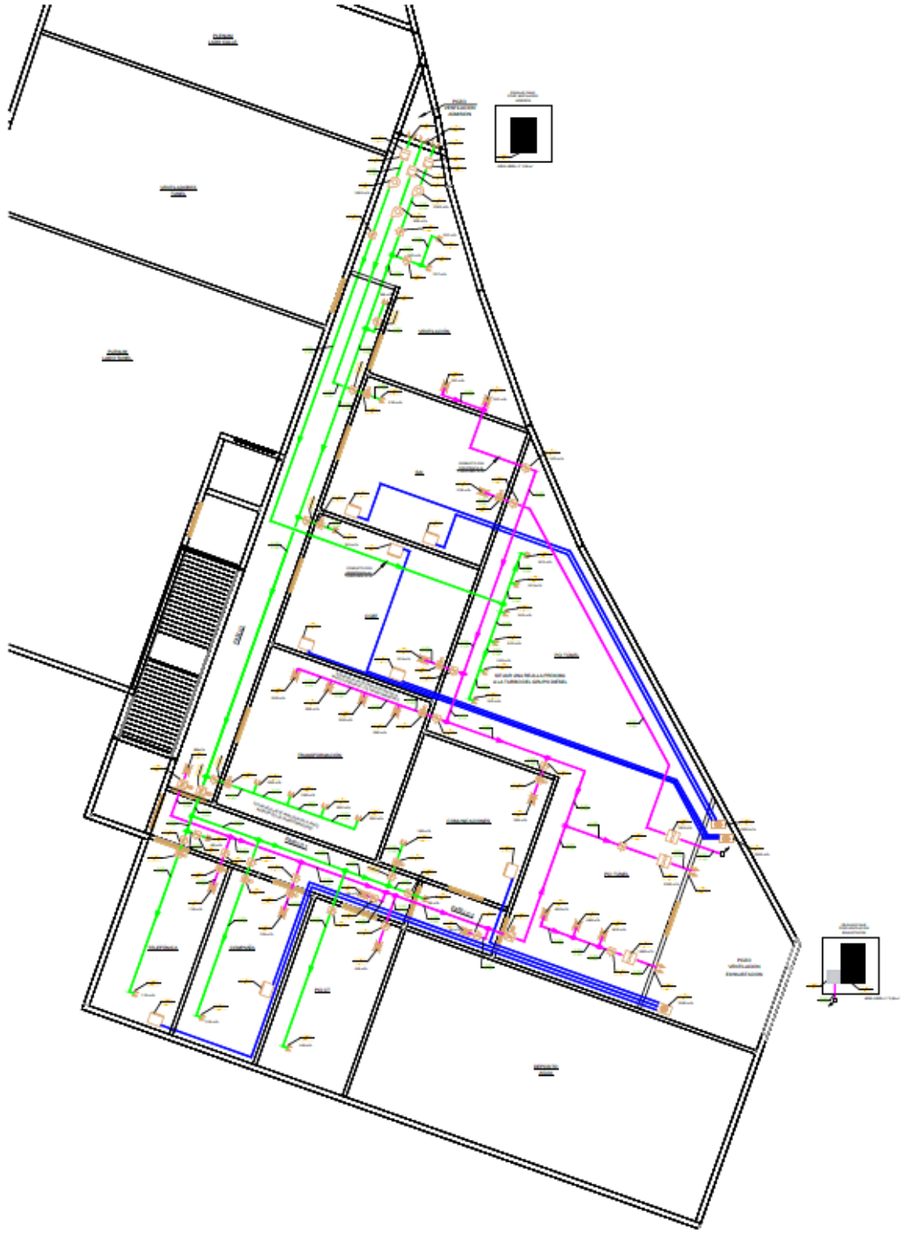
Esquema HVAC CT2:



Esquema HVAC CT3:



Esquema HVAC CT4:



7.7 Climatización de salas y cuartos técnicos

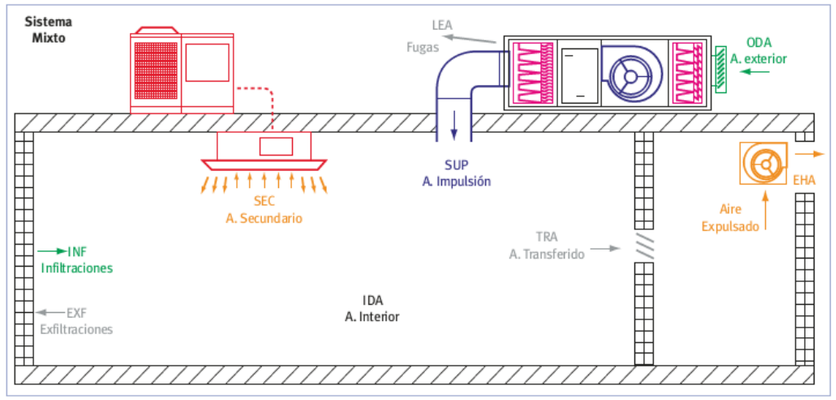
Algunas salas deberán ser climatizadas con el objeto de garantizar la fiabilidad de los equipos electrónicos. Por lo tanto, las salas donde se dispondrán baterías y los racks de los sistemas de comunicaciones y control tendrán que tener climatización mediante fan coils de mural visto, además de la ventilación correspondiente.

Existen cuartos técnicos que por la peculiaridad de las instalaciones que albergan requerirán de climatización (refrigeración) para mantener unas condiciones de temperatura y humedad por motivos operativos y de seguridad, tal sea el caso de los cuartos que alojan los cuadros generales de baja tensión (CGBT), equipos de SAI, cuartos de comunicaciones, etc.

Al tratarse de instalaciones de climatización (PN< 70 kW) se optará por un sistema mixto. Los sistemas mixtos constan de 2 subsistemas:

- La unidad de tratamiento de aire (UTA). En este equipo el aire se filtrará y se introducirá a los locales.
- Las unidades terminales. Se trata de unidades terminales (splits) que suelen ser de tipo pared, techo, suelo cassette o conductos. Las unidades interiores estarán conectadas a una o varias unidades exteriores.

En la figura se muestran los distintos tipos de aire que se definen en un sistema mixto de climatización según UNE EN 13779.



7.7.1.1 Descripción del sistema

Con el objetivo de mejora de la eficiencia energética tiene un impacto considerable sobre el mercado de la calefacción, ventilación y el aire acondicionado, por ello hemos diseñado la climatización de los locales técnicos con un sistema de caudal de refrigerante variable (VRV/VRF) que es una extensión del sistema dividido con más control y flexibilidad.

La tecnología de VRV/VRF tiene la capacidad de funcionar con el mismo sistema exterior para varias zonas o unidades interiores.

Se trata de una solución para varias unidades exteriores que calcula cuidadosamente la cantidad exacta de refrigerante que requiere cada unidad interior para lograr un control de la temperatura individualizado para cada local o cuarto técnico.

7.7.1.2 Criterios de diseño

En el diseño y dimensionamiento de la ventilación de los cuartos técnicos, se deben de tener en cuenta los siguientes requisitos y criterios.

- Temperatura del aire exterior: 30 ºC (correspondiendo con verano)
- Temperatura máxima en el local: 27 ºC (verano) y 20ºC (invierno)
- Humedad relativa en el local: 45-60%

Si bien es cierto que las necesidades de calefacción son mínimas (debido a las cargas internas de los equipos), en determinados casos puede ser más ventajoso económicamente el disponer equipos con bomba de calor que equipos de sólo frío.

Inicialmente, el fan coil arrancará con la velocidad más baja. Si transcurrido un tiempo prefijado, no se alcanza la temperatura de consigna, parará la velocidad 1 y arrancará la velocidad 2. Si todavía no se alcanza la consigna, parará la velocidad 2 y arrancará la 3. Una vez alcanzada la temperatura de consigna, el sistema de gestión irá descendiendo o aumentando de velocidad, siempre intentando mantener la temperatura de consigna con la velocidad más baja posible. Los fan-coils trabajarán con la consigna de temperatura fijada por el operador del sistema de control. En cada una de las zonas, habrá un termostato que permitirá el ajuste final de la consigna en el rango +/-3ºC. Los fans coils podrán arrancar por orden del operador del sistema, automáticamente por programa de gestión horaria o localmente si está habilitado el permiso desde el sistema de gestión.

7.7.1.3 Cálculos preliminares

Se calculan las potencias de refrigeración del equipo de aire acondicionado mediante fórmulas simplificadas, al considerarlo un apoyo a la ventilación en los cuartos donde están instalados los SAIs, rack de comunicaciones y control, y no un sistema principal, ya que los locales no tendrán ocupación permanentemente.

- Capacidad de refrigeración, en función de la conductividad de las superficies, temperatura exterior, etc.
- Capacidad de calefacción, en función de la orientación, el aislamiento de las paredes, la zona climática, etc.

7.7.1.4 Resultados

A continuación, se muestran los resultados de los diferentes cálculos realizados para el dimensionamiento de la ventilación de los cuartos técnicos, teniendo en cuenta las necesidades de refrigeración y de calefacción de los cuartos técnicos.

En la tabla siguiente mostramos también, los equipos de climatización que hemos considerado para esta fase de anteproyecto. En las fases posteriores, se realizarán cálculos más detallados de las necesidades de frio y calor de las salas a través de un software específico de cálculo.

LOCAL A REFRIGERAR		REFRIGERACION												CALEFACCION					
		CALOR SENSIBLE					CALOR LATENTE					TOTAL REFRIGERACION		CALOR SENSIBLE				TOTAL	
		CARGAS POR TRANSMISION	CARGAS POR RADIACION	CARGAS POR CALOR INTERNO	CARGAS DE VENTILACION	TOTAL CALOR SENSIBLE	CARGAS POR TRANSMISION	CARGAS POR RADIACION	CARGAS POR CALOR INTERNO	CARGAS DE VENTILACION	TOTAL CALOR LATENTE			CARGAS POR TRANSMISIÓN	CARGAS POR RADIACION	CARGAS POR CALOR INTERNO	CARGAS POR VENTILACION		
		[Kcal/h]	[Kcal/h]	[Kcal/h]	[Kcal/h]	[Kcal/h]	[Kcal/h]	[Kcal/h]	[Kcal/h]	[Kcal/h]	[Kcal/h]	[Kcal/h]	kW	[Kcal/h]	[Kcal/h]	[Kcal/h]	[Kcal/h]	[Kcal/h]	kW
CT1	CT1 CGBT	1.372,2	-145,9	5.918,4	681,9	7.826,6	---	---	0,0	3.084,3	3.084,3	10.910,9	12,7	3.317,6	---	---	0,0	3.317,6	3,9
	CT1 SAI	539,6	-145,9	6.239,7	681,9	7.315,4	---	---	0,0	3.084,3	3.084,3	10.399,7	12,1	2.974,4	---	---	0,0	2.974,4	3,5
	CT1 Comunicaciones	871,1	-91,8	4.035,6	687,4	5.502,2	---	---	0,0	3.109,2	3.109,2	8.611,4	10,0	3.383,9	---	---	0,0	3.383,9	3,9
	CT1 Telefonía	626,6	-69,5	4.270,7	343,7	5.171,5	---	---	0,0	1.554,6	1.554,6	6.726,1	7,8	1.664,6	---	---	0,0	1.664,6	1,9
	CT1 Compañía	788,1	21,0	4.378,2	486,9	5.674,2	---	---	0,0	2.202,3	2.202,3	7.876,5	9,2	3.157,8	---	---	0,0	3.157,8	3,7
CT2/CT3	CT2/CT3 CELDAS MT L.1	664,8	-19,6	2.354,9	343,7	3.343,8	---	---	0,0	1.554,6	1.554,6	4.898,4	5,7	2.203,4	---	---	0,0	2.203,4	2,6
	CT2/CT3 CUADROS	934,6	-375,4	6.478,1	742,4	7.779,7	---	---	0,0	3.357,9	3.357,9	11.137,6	13,0	9.624,0	---	---	0,0	9.624,0	11,2
	CT2/CT3 Comunicaciones	489,1	99,1	1.356,3	506,9	2.451,4	---	---	0,0	2.293,0	2.293,0	4.744,4	5,5	3.818,0	---	---	0,0	3.818,0	4,4
	CT2/CT3 SAI	326,6	-21,4	6.722,4	359,3	7.386,9	---	---	0,0	1.625,2	1.625,2	9.012,1	10,5	2.249,2	---	---	0,0	2.249,2	2,6
	CT2/CT3 CELDAS MT L.2	664,9	-20,3	2.353,3	340,3	3.338,2	---	---	0,0	1.539,0	1.539,0	4.877,2	5,7	2.213,4	---	---	0,0	2.213,4	2,6
CT4	CT4 CGBT	1.343,7	276,6	18.666,7	862,8	21.149,8	---	---	0,0	3.902,8	3.902,8	25.052,6	29,1	4.806,2	---	---	0,0	4.806,2	5,6
	CT4 SAI	991,7	268,7	6.975,6	838,4	9.074,4	---	---	0,0	3.792,2	3.792,2	12.866,6	15,0	4.844,8	---	---	0,0	4.844,8	5,6
	CT4 Comunicaciones	1.254,5	215,1	5.123,9	670,9	7.264,4	---	---	0,0	3.034,7	3.034,7	10.299,0	12,0	3.764,6	---	---	0,0	3.764,6	4,4
	CT4 Telefonía	741,4	-16,0	2.801,1	542,8	4.069,2	---	---	0,0	2.455,0	2.455,0	6.524,2	7,6	6.009,6	---	---	0,0	6.009,6	7,0
	CT4 Compañía	719,2	168,5	4.374,9	542,8	5.805,3	---	---	0,0	2.455,0	2.455,0	8.260,3	9,6	3.103,5	---	---	0,0	3.103,5	3,6

Tabla 26: Resultados del cálculo de necesidades de climatización para los cuartos técnicos Fuente: Elaboración propia

7.7.1.5 Equipos a implantar:

UNIDADES DE CLIMATIZACION													
DESIGNACION	SITUACION EQUIPO	TIPO UNIDAD CLIMATIZADORA	SERVICIO	REFRIGERANTE	POTENCIA		Ventilador	Parámetros eléctricos			Nivel Presión Sonora		OBSERVACIONES
					REFRIG. kW	CALEF. kW	Caudal m³/h	Pot. Nom. Abs. Refrig. kW	Pot. Nom. Abs. Calef. kW	Tensión y Frecuencia	Refrig. dB(A)	Calef. dB(A)	
SUP-LMK-UEC-001L1	CT1 EXTERIOR	VRF DESCARGA FRONTAL	HVAC TELEFONIA, COMUNICACIONES y COMPAÑIA	R410A	31,5	31,5	10.000	10,18	8,51	3F/380-415V/50HZ	65	67	
SUP-LMK-UEC-002L1	CT1 EXTERIOR	VRF DESCARGA FRONTAL	HVAC CGBT y SAI	R410A	31,5	31,5	10.000	10,18	8,51	3F/380-415V/50HZ	65	67	
SUP-LMK-UIC-001L1	CT1 COMUNICACIONES	UNIDAD EVAPORADORA DE TECHO	HVAC COMUNICACIONES	R410A	11,2	12,5	2110/1990/1750	0,126	0,126	220-230 /50 Hz	50	50	
SUP-LMK-UIC-002L1	CT1 TELEFONIA	UNIDAD EVAPORADORA DE TECHO	HVAC TELEFONIA	R410A	8	9	1570/1420/1240	0,105	0,105	220-230 /50 Hz	47	47	
SUP-LMK-UIC-003L1	CT1 COMPAÑIA	UNIDAD EVAPORADORA DE TECHO	HVAC COMPAÑIA	R410A	11,2	12,5	2110/1990/1750	0,126	0,126	220-230 /50 Hz	50	50	
SUP-LMK-UIC-004L1	CT1 CGBT	UNIDAD EVAPORADORA DE TECHO	HVAC CGBT	R410A	14	16	2110/1990/1750	0,126	0,126	220-230 /50 Hz	50	50	
SUP-LMK-UIC-005L1	CT1 SAI	UNIDAD EVAPORADORA DE TECHO	HVAC SAI	R410A	14	16	2110/1990/1750	0,126	0,126	220-230 /50 Hz	50	50	
SUP-LMK-UEC-001G5	CT2A GALERIA N5	VRF DESCARGA FRONTAL	HVAC CT2A	R410A	22,6	22,6	10.000	6,46	5,79	3F/380-415V/50HZ	63	65	
SUP-LMK-UEC-002G5	CT2B GALERIA N5	VRF DESCARGA FRONTAL	HVAC CT2B	R410A	28	30,5	10.000	8,75	8,03	3F/380-415V/50HZ	64	66	
SUP-LMK-UIC-001L2	CT2 LOCAL CUADROS	UNIDAD EVAPORADORA DE TECHO	HVAC LOCAL CUADROS	R410A	14	16	2110/1990/1750	0,126	0,126	220-230 /50 Hz	50	50	
SUP-LMK-UIC-002L2	CT2A CELDAS MT L1	UNIDAD EVAPORADORA DE TECHO	HVAC CELDAS MT L1	R410A	7,1	8	1420/1270/1240	0,08	0,08	220-230 /50 Hz	48	46	
SUP-LMK-UIC-003L2	CT2B CELDAS MT L2	UNIDAD EVAPORADORA DE TECHO	HVAC CELDAS MT L2	R410A	7,1	8	1420/1270/1240	0,08	0,08	220-230 /50 Hz	48	46	
SUP-LMK-UIC-004L2	CT2 SAI	UNIDAD EVAPORADORA DE TECHO	HVAC SAI	R410A	11,2	12,5	2110/1990/1750	0,126	0,126	220-230 /50 Hz	50	50	
SUP-LMK-UIC-005L2	CT2 COMUNICACIONES	UNIDAD EVAPORADORA DE TECHO	HVAC COMUNICACIONES	R410A	5,6	6,3	950/820/690	0,045	0,045	220-230 /50 Hz	42	42	
SUP-LMK-UEC-001G12	CT3A GALERIA N12	VRF DESCARGA FRONTAL	HVAC CT3A	R410A	22,6	22,6	10.000	6,46	5,79	3F/380-415V/50HZ	63	65	
SUP-LMK-UEC-002G12	CT3B GALERIA N12	VRF DESCARGA FRONTAL	HVAC CT3B	R410A	28	30,5	10.000	8,75	8,03	3F/380-415V/50HZ	64	66	
SUP-LMK-UIC-001L3	CT3 LOCAL CUADROS	UNIDAD EVAPORADORA DE TECHO	HVAC LOCAL CUADROS	R410A	14	16	2110/1990/1750	0,126	0,126	220-230 /50 Hz	50	50	
SUP-LMK-UIC-002L3	CT3A CELDAS MT L1	UNIDAD EVAPORADORA DE TECHO	HVAC CELDAS MT L1	R410A	7,1	8	1420/1270/1240	0,08	0,08	220-230 /50 Hz	48	46	
SUP-LMK-UIC-003L3	CT3B CELDAS MT L2	UNIDAD EVAPORADORA DE TECHO	HVAC CELDAS MT L2	R410A	7,1	8	1420/1270/1240	0,08	0,08	220-230 /50 Hz	48	46	
SUP-LMK-UIC-004L3	CT3 SAI	UNIDAD EVAPORADORA DE TECHO	HVAC SAI	R410A	11,2	12,5	2110/1990/1750	0,126	0,126	220-230 /50 Hz	50	50	
SUP-LMK-UIC-005L3	CT3 COMUNICACIONES	UNIDAD EVAPORADORA DE TECHO	HVAC COMUNICACIONES	R410A	5,6	6,3	950/820/690	0,045	0,045	220-230 /50 Hz	42	42	
SUP-LMK-UEC-001L4	CT4 CGBT- POZO EXTRACION	VRF DESCARGA SUPERIOR	HVAC CGBT	R410A	40	40	13.500	11,94	10	3F/380-415V/50HZ	59	59	
SUP-LMK-UEC-002L4	CT4 SAI - POZO EXTRACCION	VRF DESCARGA FRONTAL	HVAC SAI	R410A	22,6	22,6	10.000	6,48	5,78	3F/380-415V/50HZ	63	65	
SUP-LMK-UEC-003L4	CT4 COMUNI./TELEF./COMPA.- POZO EXTRAC.	VRF DESCARGA SUPERIOR	HVAC COMUNI./TELEF./COMPA.	R410A	33,5	33,5	12.000	9,31	7,94	3F/380-415V/50HZ	59	59	
SUP-LMK-UIC-001L4	CT4 CGBT	UNIDAD EVAPORADORA DE TECHO	HVAC CGBT	R410A	11,2	12,5	2110/1990/1750	0,126	0,126	220-230 /50 Hz	50	50	
SUP-LMK-UIC-002L4	CT4 CGBT	UNIDAD EVAPORADORA DE TECHO	HVAC CGBT	R410A	11,2	12,5	2110/1990/1750	0,126	0,126	220-230 /50 Hz	50	50	
SUP-LMK-UIC-003L4	CT4 CGBT	UNIDAD EVAPORADORA DE TECHO	HVAC CGBT	R410A	11,2	12,5	2110/1990/1750	0,126	0,126	220-230 /50 Hz	50	50	
SUP-LMK-UIC-004L4	CT4 SAI	UNIDAD EVAPORADORA DE TECHO	HVAC SAI	R410A	8	9	1570/1420/1240	0,126	0,126	220-230 /50 Hz	47	47	
SUP-LMK-UIC-005L4	CT4 COMUNICACIONES	UNIDAD EVAPORADORA DE TECHO	HVAC COMUNICACIONES	R410A	14	16	2110/1990/1750	0,126	0,126	220-230 /50 Hz	50	50	
SUP-LMK-UIC-006L4	CT4 COMPAÑIA	UNIDAD EVAPORADORA DE TECHO	HVAC COMPAÑÍA	R410A	11,2	12,5	2110/1990/1750	0,126	0,126	220-230 /50 Hz	50	50	
SUP-LMK-UIC-007L4	CT4 TELEFONICA	UNIDAD EVAPORADORA DE TECHO	HVAC TELEFONIA	R410A	8	9	1570/1420/1240	0,126	0,126	220-230 /50 Hz	47	47	
SUP-LMK-UIC-008L4	CT4 SAI	UNIDAD EVAPORADORA DE TECHO	HVAC SAI	R410A	8	9	1570/1420/1240	0,126	0,126	220-230 /50 Hz	47	47	

Tabla 27: Equipos climatizadores a implantar Fuente: Elaboración propia

8 APENDICE A – CÁLCULO DE EMISIONES

CALCULATION RESULTS - EMISSION GENERATION TABLES

The following results are the fleet specific emission generation tables. These tables are used in further calculations that take into acount the tunnel and traffic parameters to determine the required dilution air flow rates.

Vehículos Ligeros

PVC - CO									
v [km/h]	[g/h]								
	-10,0	-6,0	-4,0	-2,0	0,0	2,0	4,0	6,0	10,0
0		2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	
10		2,6	3,0	3,4	3,9	4,3	5,0	5,9	
20		2,9	3,5	4,3	5,9	8,3	12,2	16,8	
30		2,7	3,3	3,9	5,2	6,5	8,4	11,2	
40		2,9	3,6	4,5	5,8	7,9	11,3	16,3	
50		3,1	4,0	4,8	6,3	8,2	11,2	15,6	
60		3,0	3,9	4,5	6,2	8,6	12,6	19,2	
70		3,4	4,4	5,9	8,4	11,8	19,2	33,9	
80		4,1	5,2	6,8	9,9	15,7	27,6	50,7	
90		3,9	5,1	7,3	11,2	20,9	44,4	79,7	
100		5,0	6,7	9,9	15,6	26,3	63,1	124,5	
110		8,5	10,4	14,6	23,8	44,9	97,7	236,0	
120		14,6	16,9	22,5	39,4	78,0	180,3	448,1	
130		25,9	32,2	42,8	70,8	150,5	392,3	763,3	

PVC - NOx									
v [km/h]	[g/h]								
	-10,0	-6,0	-4,0	-2,0	0,0	2,0	4,0	6,0	10,0
0		0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	
10		2,1	2,4	2,8	3,3	3,9	4,5	5,3	
20		2,1	3,2	3,9	4,9	6,2	7,7	9,3	
30		2,2	2,8	3,5	4,7	6,1	7,9	10,0	
40		2,3	3,2	4,3	6,0	8,0	10,5	14,2	
50		2,2	2,8	3,9	5,6	7,9	10,8	14,6	
60		2,3	3,1	4,3	6,4	9,4	13,6	18,8	
70		2,4	3,4	5,1	7,8	11,7	16,8	23,2	
80		2,1	3,3	5,5	9,2	15,1	23,3	32,9	
90		2,3	3,7	6,6	11,9	18,9	28,5	44,1	
100		2,7	4,3	7,4	13,8	23,3	34,6	52,6	
110		3,7	6,1	10,4	17,1	30,3	46,6	63,9	

120		5,4	8,8	14,5	23,2	37,6	61,8	81,2	
130		7,5	13,0	21,2	32,8	50,0	74,9	95,6	

PVC - PM									
v [km/h]	**[m²/h]**								
	-10,0	**-6,0**	**-4,0**	**-2,0**	**0,0**	**2,0**	**4,0**	**6,0**	**10,0**
0		0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	
10		0,9	1,0	1,0	1,0	1,1	1,1	1,2	
20		1,6	1,7	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	
30		2,3	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	
40		3,0	3,1	3,1	3,3	3,4	3,6	3,8	
50		3,6	3,7	3,8	4,0	4,2	4,4	4,6	
60		4,3	4,4	4,5	4,7	5,0	5,3	5,6	
70		5,0	5,1	5,3	5,5	5,8	6,1	6,8	
80		5,6	5,8	6,0	6,3	6,8	7,2	8,1	
90		6,4	6,5	6,8	7,2	7,8	8,6	9,5	
100		7,2	7,3	7,6	8,1	8,9	9,8	10,8	
110		8,1	8,3	8,6	9,1	10,0	11,0	12,2	
120		9,0	9,3	9,8	10,4	11,3	12,3	13,7	
130		10,0	10,6	11,3	12,2	13,3	14,4	15,6	

Vehículos Ligeros Comerciales

LVC - CO									
v [km/h]	**[g/h]**								
	-10,0	**-6,0**	**-4,0**	**-2,0**	**0,0**	**2,0**	**4,0**	**6,0**	**10,0**
0		0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	
10		1,0	1,1	1,3	1,4	1,5	1,7	1,9	
20		1,1	1,3	1,6	1,9	2,4	3,0	3,3	
30		1,1	1,3	1,6	1,8	2,1	2,4	3,0	
40		1,1	1,3	1,7	2,0	2,5	3,2	4,0	
50		1,2	1,4	1,7	2,1	2,5	3,0	3,9	
60		1,2	1,4	1,8	2,1	2,8	3,7	5,3	
70		1,2	1,6	2,0	2,6	3,6	5,1	9,1	
80		1,5	1,8	2,3	2,8	4,4	6,8	14,8	
90		1,6	2,0	2,7	3,3	6,0	13,4	30,4	
100		2,1	2,7	3,5	3,9	8,1	21,4	47,7	
110		3,0	3,9	5,0	5,9	14,1	37,4	74,7	
120		4,5	6,0	7,8	11,1	26,0	58,5	92,7	
130		6,0	8,0	12,1	24,0	52,2	84,8	99,2	

LVC - NOx									
v [km/h]	[g/h]								
	-10,0	-6,0	-4,0	-2,0	0,0	2,0	4,0	6,0	10,0
0		1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	
10		2,0	2,3	2,8	3,4	4,4	5,3	6,2	
20		2,0	2,5	3,3	4,5	6,1	10,6	13,4	
30		2,1	2,8	3,9	5,5	7,8	13,0	17,1	
40		1,9	2,6	3,9	6,0	9,1	15,4	20,8	
50		1,7	2,5	4,0	6,6	10,4	15,9	22,5	
60		1,5	3,0	4,1	7,1	14,5	22,0	31,2	
70		1,7	3,4	6,3	11,3	18,6	28,2	39,9	
80		1,9	3,6	7,7	16,6	29,0	41,5	55,9	
90		3,3	6,0	11,6	22,2	39,2	55,4	69,4	
100		4,6	9,1	16,5	29,2	46,7	64,8	80,4	
110		7,7	15,4	26,4	42,3	59,7	76,2	89,7	
120		12,5	23,8	38,7	56,3	73,4	86,9	96,5	
130		20,9	35,3	52,3	70,1	85,7	93,7	98,7	

LVC - PM									
v [km/h]	[m²/h]								
	-10,0	-6,0	-4,0	-2,0	0,0	2,0	4,0	6,0	10,0
0		0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	
10		1,1	1,2	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	
20		1,8	1,9	2,1	2,2	2,3	2,5	2,8	
30		2,5	2,6	2,7	2,9	3,2	3,6	3,8	
40		3,2	3,4	3,5	3,7	4,1	4,6	4,9	
50		3,8	4,0	4,3	4,6	4,9	5,6	5,8	
60		4,6	4,7	5,1	5,5	5,9	6,8	7,2	
70		5,3	5,5	5,8	6,5	7,2	7,9	8,6	
80		6,3	6,5	7,0	7,7	8,6	9,3	10,2	
90		7,4	7,7	8,1	8,9	9,9	10,8	11,7	
100		8,7	9,0	9,5	10,2	11,1	12,1	13,2	

110		9,7	10,2	10,8	11,6	12,5	13,6	14,7	
120		10,8	11,5	12,1	12,8	13,9	15,2	16,1	
130		11,8	12,5	13,2	14,2	15,4	16,6	17,2	

Vehículos Pesados

HGV - CO									
v [km/h]	**[g/h]**								
	-10,0	**-6,0**	**-4,0**	**-2,0**	**0,0**	**2,0**	**4,0**	**6,0**	**10,0**
0		1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	
10		6,4	7,7	9,7	12,0	14,0	16,3	18,3	
20		5,3	6,2	8,8	12,7	15,2	17,9	20,7	
30		4,6	5,4	9,2	13,6	17,6	21,9	24,4	
40		2,9	4,5	8,5	15,4	21,7	28,3	32,2	
50		1,9	3,1	8,1	16,8	25,3	33,5	37,9	
60		1,6	3,0	9,0	20,2	31,3	36,6	39,2	
70		1,7	3,0	9,8	23,5	37,2	39,6	40,4	
80		1,7	3,0	11,1	26,9	43,3	44,8	43,4	
90		1,7	3,0	12,0	28,0	44,8	48,1	46,7	
100		1,7	3,0	12,0	29,7	46,3	51,3	50,0	
110		1,0	1,4	12,0	29,7	46,3	51,3	50,0	
120		1,0	1,4	12,0	29,7	46,3	51,3	50,0	
130		1,0	1,4	12,0	29,7	46,3	51,3	50,0	

HGV - NOx									
v [km/h]	**[g/h]**								
	-10,0	**-6,0**	**-4,0**	**-2,0**	**0,0**	**2,0**	**4,0**	**6,0**	**10,0**
0		2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	
10		14,0	16,7	18,7	19,5	19,7	20,0	20,4	
20		10,6	14,3	18,5	19,6	20,5	20,4	21,0	
30		8,4	12,6	18,3	20,1	20,9	20,8	23,2	
40		6,1	10,8	16,8	22,3	23,1	25,5	31,3	

50		5,1	8,5	15,6	23,4	24,6	30,4	37,9	
60		4,0	6,2	15,0	24,4	33,6	45,2	54,7	
70		2,9	3,8	13,5	25,4	42,6	60,0	71,6	
80		2,9	3,8	13,5	26,4	51,6	74,8	88,4	
90		2,9	3,8	13,5	26,4	53,0	77,0	88,9	
100		2,9	3,8	13,5	27,2	54,8	78,7	89,4	
110		0,8	1,3	11,8	27,2	54,8	78,7	89,4	
120		0,8	1,3	11,8	27,2	54,8	78,7	89,4	
130		0,8	1,3	11,8	27,2	54,8	78,7	89,4	

HGV - PM									
v [km/h]	**[m²/h]**								
	-10,0	**-6,0**	**-4,0**	**-2,0**	**0,0**	**2,0**	**4,0**	**6,0**	**10,0**
0		0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	
10		6,7	7,0	7,4	7,9	8,4	8,9	9,3	
20		10,7	11,0	11,6	12,4	13,0	13,7	14,3	
30		15,0	15,4	16,2	16,9	17,9	18,9	19,6	
40		19,3	19,6	20,7	22,1	23,7	25,1	26,2	
50		23,6	23,9	25,0	26,8	28,9	30,7	32,1	
60		28,0	28,2	29,6	31,7	34,7	37,4	39,1	
70		32,365	32,8	34,2	36,6	40,4	44,1	46,1	
80		36,9	37,0	38,4	42,3	46,5	50,8	53,2	
90		41,4	41,5	42,8	48,1	52,1	55,5	57,7	
100		45,9	46,1	47,3	52,8	57,4	60,4	62,2	
110		1,7	1,8	3,2	8,6	13,2	16,2	18,0	
120		1,7	1,8	3,2	8,6	13,2	16,2	18,0	
130		1,7	1,8	3,2	8,6	13,2	16,2	18,0	

END OF CALCULATION