

**ESPECIFICACIONES
PARA EL
SISTEMA DE VENTILACIÓN
DEL
TÚNEL SAN EDUARDO**

ÍNDICE

1.	SISTEMA DE VENTILACIÓN DEL TÚNEL SAN EDUARDO	2
1.1	Alcance	2
1.2	Objeto del sistema de ventilación	2
1.3	Parámetros utilizados para el diseño de la ventilación	2
1.3.1	Características del túnel	2
1.3.2	Características del tráfico	3
1.4	Condiciones de operación	3
1.5	Descripción del sistema de ventilación.....	4
1.6	Criterios de diseño utilizados.....	4
1.7	Resumen de características del sistema de ventilación	5
1.7.1	Túnel oeste	5
1.7.2	Túnel este	7
1.8	Operación y control del sistema de ventilación	9
1.9	Características de los ventiladores.....	10
1.10	Especificaciones de los ventiladores	10
1.10.1	Generalidades	10
1.10.2	Cuerpo	10
1.10.3	Hélice.....	11
1.10.4	Silenciadores	11
1.10.5	Soportes	11
1.10.6	Amarres de seguridad	12
1.10.7	Detector de rompimiento	12
1.10.8	Motor.....	12
1.10.9	Placa de identificación	12
1.11	Pruebas en taller.....	13
1.11.1	Pruebas de operación.....	13
1.11.2	Pruebas de materiales.....	13
1.12	Montaje, pruebas en sitio y puesta en marcha	14
1.13	Información técnica de la propuesta.....	15
1.13.1	Ventilador de propulsión en el túnel oeste.....	16
1.13.2	Ventilador de propulsión en el túnel este.....	18
1.14	Medida y pago	20

Asociación

LAHMEYER INTERNATIONAL – CONYFIS – CONSUL-SISMICA

1. SISTEMA DE VENTILACIÓN DEL TÚNEL SAN EDUARDO

1.1 Alcance

Los trabajos a ejecutar por parte del CONTRATISTA, con relación al sistema de ventilación, comprenden el diseño, la fabricación, las pruebas en fábrica, el suministro hasta entrega en sitio del túnel, el montaje, las pruebas en campo y la puesta en servicio de treinta y siete (37) ventiladores de propulsión y elementos asociados para el sistema de ventilación del túnel San Eduardo, los cuales se especifican en este capítulo.

Para la ejecución de los trabajos tratados por este capítulo, el Proponente deberá presentar información sobre los equipos, así como sobre las firmas sub-contratistas que empleará para el suministro y montaje de los equipos.

1.2 Objeto del sistema de ventilación

El sistema de ventilación debe cumplir las siguientes funciones:

- Diluir mediante un caudal de aire fresco las emisiones contaminantes de CO, NO_x y hollín que emiten los motores de los vehículos a concentraciones que estén por debajo de los límites admisibles, para no causar trastornos fisiológicos a los usuarios ni disminuir la visibilidad por debajo de la distancia mínima de frenado requerida por los vehículos.
- En caso de presentarse un incendio dentro del túnel, mantener en todo momento una velocidad del flujo de aire no inferior a la denominada velocidad crítica, para evitar la devolución de los humos hacia el lado donde los usuarios han quedado detenidos. Debido al tiempo que toma poner en movimiento la columna de aire del túnel, no es aceptable tener velocidades menores que las mínimas estipuladas antes del incendio.
- Evacuar los humos, durante un incendio en la dirección única del tráfico posible que ha quedado libre y que tiene la misma dirección del flujo de aire.

1.3 Parámetros utilizados para el diseño de la ventilación

1.3.1 Características del túnel

Número de túneles:	2
Número de carilles:	3 por túnel
Tipo de tráfico:	uni-direccional
Longitud del túnel:	1,285 m
Pendiente del túnel:	3.95% (promedio total de norte a sur)

Número de carriles:	3
Área de la sección:	76.16 m ²
Perímetro de la sección:	34.24 m
Revestimiento de la sección:	con concreto convencional
Altitud del portal norte:	28.30 m (snm)
Altitud del portal sur :	79.06 m (snm)

1.3.2 Características del tráfico

Se consideró un tránsito total de diseño de acuerdo a dictámenes de tránsito para el año 2024, conformados en la siguiente forma:

Túnel oeste:

Tráfico pico:	1,670 vph
Autobuses:	155 vph
Camiones:	77 vph
Velocidad prevista de los coches:	70 km/h
Velocidad prevista de los vehículos pesados:	50 km/h (conforme a RABT-2003)

Túnel este:

Tráfico pico:	2,019 vph
Autobuses:	160 vph
Camiones:	121 vph
Velocidad prevista de los coches:	70 km/h
Velocidad prevista de los vehículos pesados:	50 km/h (conforme a RABT-2003)

En caso de accidente o incendio, todos los vehículos ligeros se ven obligados a estacionar en el carril izquierdo y central mientras que todos los autobuses y camiones se ven obligados a estacionar en el carril derecho.

1.4 Condiciones de operación

Los ventiladores de propulsión y sus motores deberán diseñarse para operar bajo las siguientes condiciones, dentro del túnel:

Elevación promedio sobre el nivel del mar	54 m
Densidad promedio del aire	1.16 kg/m ³
Humedad relativa máxima	100%

Asociación

LAHMEYER INTERNATIONAL – CONYFIS – CONSUL-SISMICA

Humedad relativa mínima	50%
Temperatura ambiente máxima	37°C
Temperatura ambiente mínima	16°C
Tipo de ambiente:	tropical húmedo

Los ventiladores, motores y sus partes deben ser fabricados de tal manera que puedan operar continuamente en condiciones normales y durante 1.5 horas con aire a una temperatura de 250 grados centígrados en caso de incendio.

En el túnel Oeste, todos los ventiladores deberán operar a un régimen igual y constante de revoluciones. El mantenimiento del flujo de aire será automáticamente regulado con el funcionamiento o apagado de ventiladores específicos.

En el túnel Este, todos los ventiladores deberán operar a un régimen variable de revoluciones con un transformador de frecuencias.

1.5 Descripción del sistema de ventilación

El sistema de ventilación del túnel San Eduardo será del tipo longitudinal, con el flujo de aire moviéndose en el mismo sentido del tráfico y con admisión complementaria de aire a través del portal para obtener el caudal requerido en el túnel del túnel

El caudal de aire para ventilación se obtendrá mediante el empuje transferido al aire del túnel por ventiladores de propulsión, localizados en la bóveda del túnel por encima del área de tránsito, cuyo gálibo libre es de 4,75 m, y distribuidos a lo largo del túnel en las localizaciones indicadas anteriormente y mostradas en los planos de licitación.

1.6 Criterios de diseño utilizados

Los caudales de aire para la ventilación de cada túnel del túnel fueron calculados para cumplir los criterios indicados a continuación: (Ver cálculo en los Anexos)

- Velocidad mínima del flujo de aire en caso de embotellamiento y tráfico a muy baja velocidad en cada túnel no inferior a la velocidad minima: 1.5 m/s
- Velocidad mínima del flujo de aire para prevenir efecto de reflujo de humo en caso de incendio en el túbo este (solamente en el túnel cuesta abajo) no inferior a la velocidad critica: 2.5 m/s.

1.7 Resumen de características del sistema de ventilación

1.7.1 Túnel oeste

a) Caudal mínimo del flujo de aire fresco en el túnel oeste

con tráfico normal y congestionado: 114 m³/s

Velocidad mínima del flujo de aire:	1.5 m/s
Número de ventiladores de propulsión:	13 (dos de ellos son de suplencia)
Diámetro nominal de ventiladores de propulsión:	800 mm
Máximo diámetro exterior:	1,025 mm
Número de revoluciones a 60 Hz:	1,150 rpm
Velocidad nominal de perímetro:	48 m/s
Velocidad nominal de la corriente en la tobera:	17.2 m/s
Propulsión nominal por ventilador:	180 N
Potencia máxima del motor del ventilador:	3.4 kW
Tipo del motor:	trifásico con jaula de ardilla
Tipo de ambiente:	tropical húmedo
Cobertura:	totalmente encerrado con grado de protección IP55 según norma DIN VDE 0530 y sistema de enfriamiento apropiado
Aislamiento:	clase H, utilizada como B
Arranque:	directo
Operación:	continua
Voltaje:	480 V - 3 - 60 Hz
Factor de servicio mínimo:	1,15
Frecuencia mínima de interrupciones (on/off):	10 / h
Temperatura ambiente mínima:	16°C
Mínima relación fuerza de propulsión / potencia nominal del ventilador y motor en condiciones estandar:	53 N/kW
Máximo nivel de ruido permisible (medido a 3 m de la boca de descarga y a 45 grados de inclinación):	67 db(A)
Longitud de cada silenciador:	1,000 mm
Distancia del eje del ventilador a la bóveda del túnel:	1,200 mm

Asociación

LAHMEYER INTERNATIONAL – CONYFIS – CONSUL-SISMICA

b) Caudal mínimo del flujo de aire a mantener

en caso de incendio en el túnel oeste: 114 m³/s

Velocidad mínima del flujo de aire: 1.5 m/s

Número de ventiladores de propulsión: 13 (dos de ellos son de suplencia)

Diámetro nominal de ventiladores de propulsión: 800 mm

Máximo diámetro exterior: 1,025 mm

Número de revoluciones nominal a 60 Hz: 1,150 rpm

Velocidad nominal de perímetro: 48 m/s

Velocidad nominal de la corriente en la tobera: 17.2 m/s

Propulsión nominal por ventilador: 180 N

Potencia máxima del motor del ventilador: 3.4 kW

Temperatura ambiente máxima: 250°C

Duración útil a 250°C: 90 Min.

Mínima relación fuerza de propulsión / potencia nominal
del ventilador y motor en condiciones estandar: 53 N/kW

Máximo nivel de ruido permisible (medido a 3 m
de la boca de descarga y a 45 grados de inclinación): 67 db(A)

c) Propulsión mínima de ventilador durante el operación

de flujo inverso en caso de incendio en el túnel paralelo: 60 N

Velocidad de rotación inversa (a 60 Hz): 1,150 rpm

d) Espacio equidistante entre cada ventilador: 100 m

1.7.2 Túnel este

a) Caudal mínimo del flujo de aire fresco en el túnel oeste

<u>con tráfico normal y congestionado:</u>	114 m³/s
Velocidad mínima del flujo de aire:	1.5 m/s
Número de ventiladores de propulsión:	24
Diámetro nominal de ventiladores de propulsión:	900 mm
Máximo diámetro exterior:	1,145 mm
Número de revoluciones a 25 Hz:	725 rpm
Velocidad nominal de perímetro:	34 m/s
Velocidad nominal de la corriente en la tobera:	10.8 m/s
Propulsión nominal por ventilador:	90 N
Potencia máxima del motor del ventilador:	1.5 kW
Tipo del motor:	trifásico con jaula de ardilla
Tipo de ambiente:	tropical húmedo
Cobertura:	totalmente encerrado con grado de protección IP55 según norma DIN VDE 0530 y sistema de enfriamiento apropiado
Aislamiento:	clase H, utilizada como B
Arranque:	directo
Operación:	continua
Voltaje:	480 V - 3 - 60 Hz
Factor de servicio mínimo:	1,15
Frecuencia mínima de interrupciones (on/off):	10 / h
Temperatura ambiente mínima:	16°C
Mínima relación fuerza de propulsión / potencia nominal del ventilador y motor en condiciones standard:	60 N/kW
Máximo nivel de ruido permisible (medido a 3 m de la boca de descarga y a 45 grados de inclinación):	65 db(A)
Longitud de cada silenciador:	1,000 mm
Distancia del eje del ventilador a la bóveda del túnel:	1,250 mm

Asociación

LAHMEYER INTERNATIONAL – CONYFIS – CONSUL-SISMICA

b) Caudal mínimo del flujo de aire a mantener

en caso de incendio en el túnel este: 190 m³/s

Velocidad mínima del flujo de aire: 2.5 m/s

Número de ventiladores de propulsión: 24 (uno de ellos es de suplencia)

Diámetro nominal de ventiladores de propulsión: 900 mm

Máximo diámetro exterior: 1,145 mm

Número de revoluciones nominal a 60 Hz: 1,750 rpm

Velocidad nominal de perímetro: 83 m/s

Velocidad nominal de la corriente en la tobera: 25.6 m/s

Propulsión nominal por ventilador: 500 N

Potencia máxima del motor del ventilador: 11.0 kW

Temperatura ambiente máxima: 250°C

Duración útil a 250°C: 90 Min.

Mínima relación fuerza de propulsión / potencia nominal
del ventilador y motor en condiciones standard: 45 N/kW

Máximo nivel de ruido permisible (medido a 3 m de
la boca de descarga y a 45 grados de inclinación): 79 db(A)

c) Propulsión mínima de ventilador durante la operación

de flujo inverso en caso de incendio en el túnel paralelo: 30 N

Optima velocidad de rotación inversa (a 25 Hz): 725 rpm

d) La rotación del motores de los ventiladores deben controlar la variable con los convertidores de frecuencias electrónicos para ajustar la velocidad del flujo de aire en el túnel este.

e) Espacio equidistante entre cada ventilador: 50 m

Asociación

LAHMEYER INTERNATIONAL – CONYFIS – CONSUL-SISMICA

1.8 Operación y control del sistema de ventilación

El número de rotaciones a que deben operar los ventiladores en cada momento, serán determinados automáticamente, mediante los equipos e instrumentos suministrados bajo el alcance del Sistema de Supervisión y Control, como está especificado en base a las siguientes mediciones que serán efectuadas continuamente dentro del túnel este:

- Tráfico detenido o circulando a muy baja velocidad
- Velocidad del flujo de aire en el túnel

El flujo del aire será medido en el túnel este en dos lugares, estas mediciones se harán con un método ultra sonido en todo el ancho del túnel. De estos dos puestos de medición se fijará el valor medio para manejar los ventiladores.

El sistema de control comparará la velocidad de aire disponible con la velocidad de aire requerido para la ventilación, y de acuerdo con el resultado decidirá si se debe aumentar ó disminuir el número de rotaciones. El arranque o parada de los ventiladores será realizado con ajuste de rotaciones.

El sistema de control verificará en todo momento que la velocidad del flujo de aire no sea inferior a 1.5 m/s, que es la velocidad mínima, ni superior a 10 m/s, que es la velocidad máxima recomendada por PIARC, para mantener un flujo constante de aire. En caso de incendio, la velocidad no debe ser menor a la velocidad crítica (2,5 m/s).

En caso de tráfico normal, el efecto de pistón de los vehículos será suficiente para impulsar el aire requerido para la ventilación, por lo cual no se requieren ventiladores operando.

Para tráfico con velocidades muy bajas, se requieren 13 ventiladores operando en el túnel oeste y 24 en el túnel este (con rotación variable), dependiendo del tráfico, de su velocidad y composición, y de la incidencia del viento sobre los portales.

Se controlará el tráfico de cada túnel con cámaras de vídeo. Estas cámaras muestran imágenes en la sala de control que serán automáticamente evaluadas con un programa de computación para analizar accidentes e incendios o tráfico de muy baja velocidad. Solamente en estos casos operarán automáticamente los ventiladores.

Este sistema de vídeo reemplaza los aparatos de medición para controlar la calidad del aire (CO, turbidez), ya que la concentración crítica se presenta solamente en el caso de incendio, accidente, congestionamiento o tráfico a muy baja velocidad. Esta situación es reconocida inmediatamente por el sistema de vídeo.

En caso de ocurrir un incendio dentro del túnel, el sistema de ventilación deberá continuar operando normalmente con la velocidad crítica en el túnel donde se ha producido el incendio,

mientras que en el túnel paralelo el sistema de ventilación será revertido. Los ventiladores funcionarán en ambos túneles con el máximo número de rotaciones.

En caso de falla del transformador de frecuencia, cada ventilador se hará funcionar o apagar con un programa de repuesto para que en caso necesario la velocidad del aire en el túnel (congestionamiento o incendio) se mantenga constante.

1.9 Características de los ventiladores

Todos los ventiladores en el túnel deberán ser idénticos, de tipo propulsión, de diseño y fabricación normalizada, ampliamente comprobados en la práctica para la ventilación de túneles de carretera, con las características técnicas generales dadas adelante para cada uno:

Cada ventilador deberá ser suministrado completo, con su motor eléctrico, silenciadores y sus respectivos soportes flexibles y todos los elementos necesarios para su fijación a la bóveda del túnel.

1.10 Especificaciones de los ventiladores

1.10.1 Generalidades

Los ventiladores deberán ser diseñados y fabricados de acuerdo con las últimas normas DIN EN, pertinentes u otras normas internacionales actuales, vigentes y equivalentes.

Los ventiladores deberán ser diseñados de manera que no se requiera ninguna soldadura para la instalación en el sitio.

Todos los elementos de los ventiladores deben ser construidos con material anticorrosivo.

1.10.2 Cuerpo

El cuerpo del ventilador deberá constar de una carcasa tubular fabricada en láminas de acero soldadas, con las aletas guías y el soporte del motor formando parte de su estructura interna; todos los elementos internos deberán ser de perfil aerodinámico que minimice las pérdidas y garantice la propulsión mínima especificada.

Todo el conjunto del cuerpo del ventilador deberá formar una estructura rígida adecuada para resistir los esfuerzos de fatiga producidos durante la operación y deberá tener en cada uno de sus extremos una brida para el acople preciso y hermético con los silenciadores. La carcasa deberá estar provista con 4 elementos externos fabricados en acero y goma que permitan la fijación de los soportes flexibles.

La construcción completa debe ser fijada en la bóveda del túnel aislada de movimientos.

La carcasa debe tener una apertura de inspección con tapa de 400mm x 400 mm.

El material del cuerpo del ventilador debe ser del código 1.4571 (V4A).

1.10.3 Hélice

Las paletas de la hélice deberán ser fabricadas en fundición de aluminio con un pie de acero y su núcleo también de fundición de aluminio, (la fundición de aluminio debe ser resistente a agua de mar) debe ser debidamente maquinado para ser acoplado directamente al eje del Motor. El conjunto hélice - motor deberá ser dinámicamente y estáticamente balanceado sobre dos planos.

1.10.4 Silenciadores

Cada ventilador deberá incluir 2 silenciadores tubulares fijados cada uno a un extremo del cuerpo del ventilador.

Cada silenciador deberá consistir de un doble tubo concéntrico con el espacio entre tubos relleno de material aislante acústico no inflamable. El silenciador estará fabricado de láminas lisas soldadas de acero y su cara interna deberá tener perforaciones de tal manera que haga eficiente la absorción del ruido.

El conjunto silenciador deberá ser diseñado para obtener un máximo nivel de ruido de 70 db(A) cuando el ventilador opera bajo las condiciones de diseño, medidos a una distancia de 3 m frente a la boca del ventilador y a 45 grados de inclinación.

Los extremos libres de cada silenciador deberán ser redondeados con perfil aerodinámico.

La carcasa del silenciador y las láminas perforadas deben tener el código de material 1.4571 (V4A).

1.10.5 Soportes

Cada ventilador deberá ser suspendido de la bóveda del túnel por 4 soportes flexibles (compuestos de acero y goma), que permitan la amortiguación de las vibraciones producidas por el ventilador.

Cada soporte deberá ser diseñado y fabricado teniendo en cuenta los esfuerzos de fatiga transmitidos por la vibración, propulsión y peso del conjunto ventilador.

Los soportes deberán ser fabricados en acero con el código 1.4571 (V4A), de la longitud necesaria para el montaje del ventilador en el túnel dentro del espacio disponible que se muestra en el plano.

Cada soporte será fijado de un extremo al cuerpo del ventilador y del otro a un perno de anclaje en el concreto de taco químico, que deberá ser seleccionado y suministrado por el fabricante del ventilador. Estos elementos deberán ser de acero con el código 1.4529.

1.10.6 Amarres de seguridad

Cada ventilador tiene dos amarres de seguridad como protección contra caídas incontroladas de los ventiladores. Estos amarres deben ser de alambre con el código 1.4401.

1.10.7 Detector de rompimiento

Cada ventilador tiene un detector de rompimiento. Estos detectores deben colgarse con acero 1.4571 (V4A).

1.10.8 Motor

Cada motor deberá cumplir con las siguientes características técnicas:

Totalmente encerrado mediante una cobertura con grado de protección IP55 según norma DIN VDE 0530 y sistema de enfriamiento apropiado.

Todos sus cables deberán estar conectados a una terminal de bornes (con grado de protección IP65) fijado en la parte exterior de la carcasa del ventilador.

Cada motor deberá estar provisto con un banco de condensadores, si fuere necesario, para garantizar un factor de potencia no inferior a 0.95.

El banco de condensadores deberá ser instalado en el nicho de la pared cerca de los ventiladores. El banco de condensadores deberá estar provisto de medios de supervisión para detectar fallas internas.

Cada motor deberá ser fijado rígidamente por medio de pernos al soporte de las aletas guía del cuerpo del ventilador, para permitir su desmontaje.

Sus rodamientos deberán ser de bolas o rodillos, permanentemente lubricados y con una vida útil mínima de 20,000 horas de operación.

1.10.9 Placa de identificación

Cada ventilador deberá llevar fijada en su carcasa y en lugar visible una placa niquelada donde tenga impresa la siguiente información para su identificación:

- Nombre de fabricante
- Lugar y país de origen
- Número de serie
- Año de fabricación
- Modelo y tipo
- Diámetro nominal de ventilador (mm)
- Número de revoluciones por minuto (rpm)
- Velocidad nominal de perímetro (m/s)

- Caudal de aire (m³/s)
- Velocidad nominal de la corriente en la tobera (m/s)
- Propulsión nominal (N)
- Potencia nominal del motor (kW)
- Potencia en los bornes (kW)
- Frecuencia (Hz)
- Cos ϕ
- Voltaje (V)
- Corriente nominal (A)
- Corriente de arranque (A)
- Temperatura ambiente máxima (°C)
- Duración útil bei 250°C (Min.)
- Clase de aislamiento
- Cobertura y grado de protección
- Nivel de ruido, medido a 3 m de la boca de descarga y a 45 grados de inclinación en dB(A)
- Peso total (kg)

1.11 Pruebas en taller

1.11.1 Pruebas de operación

Un ventilador deberá ser sometido en fábrica a una prueba aerodinámica para determinar directamente su propulsión, volumen de aire, velocidad de salida del aire, nivel de ruido, velocidad de rotación (rpm) y consumo de energía, con velocidad de aproximación del aire nula.

Cada grupo hélice deberá ser sometido a una prueba de balanceo estático y dinámico en dos planos, después del acople con el motor, de acuerdo con la norma ISO 1940-1973 con una calidad de balanceo G 6.3, o con la norma VDE 2060, calidad Q1 a Q6.

El fabricante deberá incluir en su propuesta el método de prueba que utilizará, las características de los instrumentos de medición y los equipos disponibles para las pruebas.

Las pruebas serán presenciadas por un inspector comisionado por el consultor, el cual además verificará las dimensiones críticas, la calidad de los materiales y la mano de obra.

1.11.2 Pruebas de materiales

El fabricante deberá efectuar las siguientes pruebas a los materiales empleados en la fabricación.

Hélice:

- Pruebas con tintas penetrantes y/o partículas magnéticas
- Pruebas mecánicas de resistencia del material de fundición
- Pruebas radiográficas y con ultrasonido a las zonas críticas de cada hélice, después de maquinado

Carcasa, Silenciadores y Soportes:

- Pruebas radiográficas a todas las soldaduras críticas
- Pruebas de resistencia mecánica del material

1.12 Montaje, pruebas en sitio y puesta en marcha

El CONTRATISTA deberá efectuar el montaje, las pruebas funcionales en el sitio y la puesta en operación satisfactoria de los ventiladores del sistema de ventilación del túnel, para lo cual deberá emplear mano de obra calificada y equipos e instrumentos adecuados. El montaje se deberá efectuar en estrecha coordinación con las demás labores que se adelanten en el túnel y será programado de tal forma que la obra se ejecute dentro de los plazos establecidos y los equipos queden adecuadamente protegidos hasta su entrega final.

Una vez concluidos los montajes el CONTRATISTA deberá poner en marcha y verificar, en presencia del representante de la muy ilustre Municipalidad de Guayaquil, que se cumplen todos los requisitos técnicos establecidos en estas especificaciones.

Como mínimo se deberán medir los siguientes parámetros para todos los ventiladores suministrados:

- Amperaje y voltaje del motor,
- Sentido y velocidad de rotación del ventilador,
- Nivel de ruido,
- Velocidad del aire en la descarga del ventilador,
- Altura libre bajo el ventilador,
- Oscilación del ventilador en dos direcciones.

Además, se deberá medir la velocidad media del aire en los dos sectores del túnel, con diferente número de ventiladores en operación, con el fin de obtener una tabla o diagrama del caudal de aire versus número de ventiladores operando, para programar y calibrar el sistema de control.

Para efecto de las pruebas y comprobaciones descritas, el CONTRATISTA deberá someter con la debida antelación a consideración y aprobación de la muy ilustre Municipalidad de Guayaquil, un programa y procedimiento detallado de su ejecución.

Asociación

LAHMEYER INTERNATIONAL – CONYFIS – CONSUL-SISMICA

1.13 Información técnica de la propuesta

Los proponentes deberán adjuntar a su propuesta catálogos de los equipos ofrecidos que incluyan la información técnica necesaria para verificar el cumplimiento de los requisitos especificados. Adicionalmente, deberán indicar como mínimo las siguientes características de los equipos ofrecidos (Ver 1.13.1 y 1.13.2).

1.13.1 Ventilador de propulsión en el túnel oeste

- Número de ventiladores de propulsión: _____
- Nombre de fabricante: _____
- Lugar y país de origen: _____
- Modelo y tipo: _____
- Diámetro nominal de ventiladores de propulsión: _____ mm
- Número de revoluciones nominal a 60 Hz: _____ rpm
- Velocidad nominal de perímetro: _____ m/s
- Caudal de aire: _____ m³/s
- Velocidad nominal de la corriente en la tobera: _____ m/s
- Propulsión nominal: _____ N
- Potencia máxima del motor del ventilador: _____ kW
- Temperatura ambiente máxima: _____ °C
- Duración útil a 250°C: _____ Min.
- Mínima relación fuerza de propulsión / potencia nominal
del ventilador y motor en condiciones estandar: _____ N/kW
- Máximo nivel de ruido (medido a 3 m de la boca
de descarga y a 45 grados de inclinación): _____ db(A)
- Longitud con silenciadores: _____ mm
- Peso total: _____ kg
- Materiales: _____ Número o tipo de aleación: _____
- Carcasa:
- Hélice:
- Silenciador:
- Soporte:
- Anclaje:

Asociación

LAHMEYER INTERNATIONAL – CONYFIS – CONSUL-SISMICA

- Motor eléctrico del ventilador en el túnel oeste:
- Nombre de fabricante: _____
- Lugar y país de origen: _____
- Modelo y tipo: _____
- Número de fases: _____
- Frecuencia nominal: _____ Hz
- Número de revoluciones nominal a 60 Hz: _____ rpm
- Potencia nominal: _____ kW
- Potencia en los bornes: _____ kW
- Factor de servicio: _____
- Cos φ : _____
- Frecuencia de combinaciones permitidas: _____ /hora
- Temperatura ambiente mínima: _____ °C
- Voltaje nominal: _____ V
- Corriente nominal: _____ A
- Corriente de arranque: _____ A
- Temperatura máxima: _____ °C
- Duración útil a 250°C: _____ Min:
- Clase de aislamiento: _____
- Cobertura y grado de protección: _____
- Tipo de rodamientos: _____
- Mínima vida útil de los rodamientos: _____ horas
- Peso: _____ kg

Asociación

LAHMEYER INTERNATIONAL – CONYFIS – CONSUL-SISMICA

1.13.2 Ventilador de propulsión en el túnel este

- Número de ventiladores de propulsión: _____
- Nombre de fabricante: _____
- Lugar y país de origen: _____
- Modelo y tipo: _____
- Diámetro nominal de ventiladores de propulsión: _____ mm
- Número de revoluciones nominal a 60 Hz: _____ rpm
- Velocidad nominal de perímetro: _____ m/s
- Caudal de aire: _____ m³/s
- Velocidad nominal de la corriente en la tobera: _____ m/s
- Propulsión nominal: _____ N
- Potencia máxima del motor del ventilador: _____ kW
- Temperatura ambiente máxima: _____ °C
- Duración útil a 250°C: _____ Min.
- Mínima relación fuerza de propulsión / potencia nominal
del ventilador y motor en condiciones estandar: _____ N/kW
- Máximo nivel de ruido (medido a 3 m de la boca
de descarga y a 45 grados de inclinación): _____ db(A)
- Longitud con silenciadores: _____ mm
- Peso total: _____ kg
- Materiales: _____ Número o tipo de aleación: _____
- Carcasa:
- Hélice:
- Silenciador:
- Soporte:
- Anclaje:

Asociación

LAHMEYER INTERNATIONAL – CONYFIS – CONSUL-SISMICA

Motor eléctrico del ventilador en el túnel oeste:

- Nombre de fabricante: _____
- Lugar y país de origen: _____
- Modelo y tipo: _____
- Número de fases: _____
- Frecuencia nominal: _____ Hz
- Número de revoluciones nominal a 60 Hz: _____ rpm
- Potencia nominal: _____ kW
- Potencia en los bornes: _____ kW
- Factor de servicio: _____
- Cos φ : _____
- Frecuencia de combinaciones permitidas: _____ /hora
- Temperatura ambiente mínima: _____ °C
- Voltaje nominal: _____ V
- Corriente nominal: _____ A
- Corriente de arranque: _____ A
- Temperatura máxima: _____ °C
- Duración útil bei 250°C: _____ Min:
- Clase de aislamiento: _____
- Cobertura y grado de protección: _____
- Tipo de rodamientos: _____
- Mínima vida útil de los rodamientos: _____ horas
- Peso: _____ kg

Asociación

LAHMEYER INTERNATIONAL – CONYFIS – CONSUL-SISMICA

1.14 Medida y pago

El suministro, montaje y puesta en marcha de los ventiladores de propulsión del sistema de ventilación será pagado en forma global como se indica en la propuesta para cada uno de los ítems correspondientes, (Ver cuadro inferior) con la forma de pago establecida en el Contrato.

Los precios globales incluirán todos los costos directos e indirectos inherentes al suministro, montaje y puesta en marcha de los ventiladores de propulsión del sistema de ventilación del túnel.

Item	Descripción	Medida de pago
1-1	Trece (13) ventiladores de propulsión completos y equipos asociados para el túnel oeste como se especifica en el Capítulo 1.13.1 de los documentos de licitación	Unidad
1-2	Veinticuatro (24) ventiladores de propulsión completos y equipos asociados para el túnel este como se especifica en el Capítulo 1.13.2 de los documentos de licitación	Unidad
1-3	Dos (2) aparatos para medición ultra sonido del flujo de aire, como está especificado en el punto 1.8	Unidad

Asociación

LAHMEYER INTERNATIONAL – CONYFIS – CONSUL-SISMICA

Datos básicos del diseño:**Portal Norte:**

Localización del Portal Norte	km 0+495
Altitud del Portal Norte:	28.30 m (snm)

Portal Sur:

Localización del Portal Sur:	km 1+780	
Altitud del Portal Sur:	79.06 m (snm)	localización de la cisterna

Túnel Oeste:

Número de carriles:	3	
Número de las bahías de emergencia:	1	en el centro del túnel
Galerías de escape	3	en los intervalos de 300 m
Longitud del tubo oeste:	1,285 m	
Diferencia en altitud:	50.76 m	
Gradiente longitudinal:	3.95 %	inclinación ascendente
Área de la sección transversal:	76.16 m ²	
Perímetro de la sección transversal:	34.24 m	
Diámetro hidráulico:	8.9 m	
Tráfico pico:	1,670 veh/h	año 2024
Autobuses:	155 veh/h	
Camiones:	77 veh/h	
Velocidad prevista del coches:	70 km/h	diseño
Velocidad prevista del VP:	50 km/h	RABT-2003

Túnel Este:

Número de carriles:	3	
Número de las bahías de emergencia:	1	en el centro del túnel
Galerías de escape	3	en los intervalos de 300 m
Longitud del tubo este:	1,285 m	
Diferencia en altitud:	-50.76 m	
Gradiente longitudinal:	-3.95 %	inclinación descendente
Área de la sección transversal:	76.16 m ²	
Perímetro de la sección transversal:	34.24 m	
Diámetro hidráulico:	8.9 m	
Tráfico pico:	2,019 veh/h	año 2024
Autobuses:	160 veh/h	
Camiones:	121 veh/h	
Velocidad prevista del coches:	70 km/h	diseño
Velocidad prevista del VP:	50 km/h	RABT-2003

Velocidad crítica para control de humo en un túnel con incendio de diseño 30MW

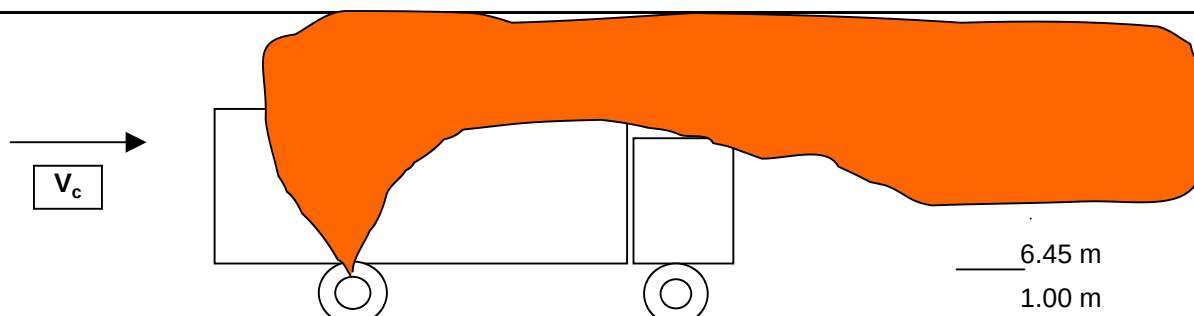


Ilustración de velocidad crítica para el control de humo, en un túnel longitudinalmente ventilado

Dimensiones del túnel:		túnel Oeste	túnel Este
Pendiente máxima i:	%	3,95	-3,95
Altitud promedio de la carretera del túnel:	m asl	50	50
Ancho del tubo del túnel W_T :	m	12,40	12,40
Altura del tubo del túnel H_T :	m	7,45	7,45
Àrea de la sección transversal del tubo del túnel A_T :	m ²	76,16	76,16

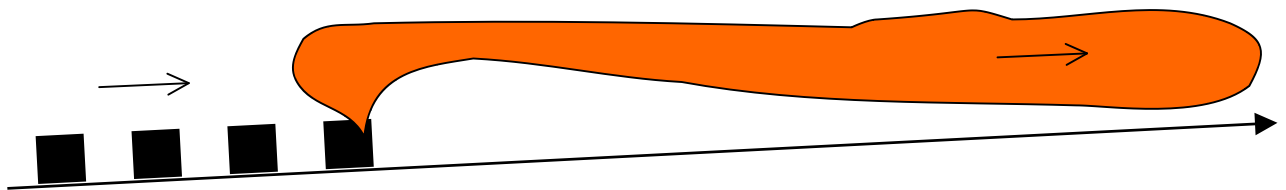
Tasa de convección de desprendimiento de calor:			
Tasa de convección de desprendimiento de calor Q:	MW	30	30

Nota: Si la tasa de tráfico de los vehículos pesados es menor a 4000 hgv*km/d entonces la tasa de convección de desprendimiento de calor es 30 MW (norma RABT).
 La tasa esperada es cerca de 1000 hgv*km/d por tubo en 2024.

Veloc. crítica para prevenir efecto de reflujo de humo:		túnel cuesta arriba*	túnel cuesta abajo
Altura columna humo = Altura túnel - Altura chasis camiones:			
$H_R = H_T - H_F = 7.45 - 1.0 =$	m	6,45	6,45
$K_1 = 0.6057 + 0.02265 \cdot i^{0.8} =$		0,67	0,67
$K_2 = Q / (\rho \cdot c_p \cdot A_T) = 30000 / (1.20 \cdot 1.005 \cdot 76.16) =$		327	327
$v_1 =$ valor inicial	m/s	2,50	2,50
$T_R = K_2 / v_1 + T_0 = 327 / 2.5 + 273 =$	K	404	404
$V_c = K_1 \cdot (K_2 \cdot g \cdot H_R / T_R)^{1/3} = 0.67 \cdot (327 \cdot 9.81 \cdot 6.45 / 404)^{1/3} =$	m/s	2,50	2,50

* El túnel de cuesta arriba tiene una fuerza ascensional en caso de incendio así que el reflujo de humo puede ser olvidado. En el túnel de cuesta arriba la velocidad crítica se aplicará solo si la corriente de aire se revierte para mover el humo cuesta abajo (pero esto no es recomendado).

Cálculo del sistema de control de humo y de ventilación para el túnel oeste con tráfico en una dirección de norte a sur



Túnel oeste con tasa mínima de ventilación

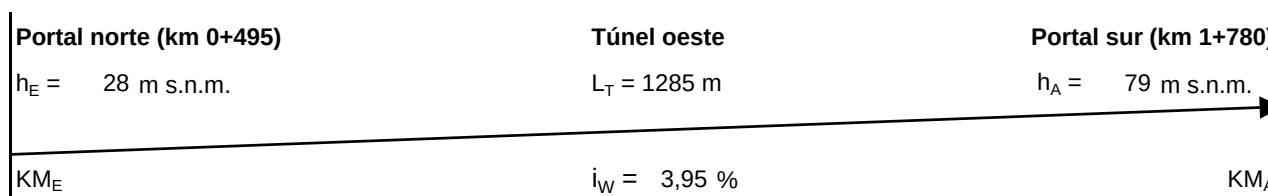
(Tráfico cuesta arriba en una dirección de norte a sur)

Dimensiones del túnel

KM = marcas viales (km)

KM _E =	495 m	Portal entrada (norte)	KM _A =	1780 m	Portal salida (sur)
L _T =	KM _E - KM _A =		1780-495 =	1285 m	Longitud del túnel oeste
h _E =	28,30 m	Altitud (s.n.m.)	h _A =	79,06 m	Altitud (s.n.m.)
Δh _T =	h _A - h _E =		79.06-28.30 =	50,76 m	Diferencia de altura (túnel oeste)
i _T =	100*Δh _T /L _T =		100*50.76/1285 =	3,95 %	Pendiente media túnel oeste
B _T =	12,40 m	Ancho túnel (oeste)	H _T =	7,45 m	Altura del túnel oeste
P _T =			34,24 m		Perímetro del túnel oeste
A _T =			76,16 m ²		Area de la sección transversal del túnel oeste
D _T =	4*A _T /P _T =		4*76.16/34.24 =	8,9 m	Diámetro hidráulico del túnel

Esquema del túnel oeste:



Pronóstico de tráfico para el año 2024:

Spv =	1670 veh/h
S/N =	45 % porcentaje de tráfico (norte a sur)
pc =	1438 pcs/h (vehículos ligeros hacia el sur)
bus =	155 autobuses/h (autobuses hacia el sur)
hgv =	77 hgvs/h (vehículos pesados hacia el sur)
v _{pc} =	70 km/h
v _{bus} =	50 km/h
v _{hgv} =	50 km/h

Distribución de vehículos en caso de accidente:

L _F =	485 m	distancia del accidente a la entrada del portal (norte), está simulada como la más desfavorable
t _{delay} =	6 min.	atraso en respuesta del sistema (por reconocimiento de accidente y procesar de datos)
pc _C =	pc*(L _F /v _{pc} /1000+t _{delay} /60) =	1438*(485/70/1000+6/60) = 154 pcs en el túnel oeste
bus _C =	bus*(L _F /v _{bus} /1000+t _{delay} /60) =	155*(485/50/1000+6/60) = 17 autobuses en el túnel oeste
hgv _C =	hgv*(L _F /v _{hgv} /1000+t _{delay} /60) =	77*(485/50/1000+6/60) = 8 hgvs en el túnel oeste

En caso de accidente, todos los vehículos ligeros se ven obligados a estacionar en el carril izquierdo y central (6 m/veh):

$$\begin{aligned} p_{CL} &= & p_{CL}/2 &= & 154/2 &= & 77 \text{ pcs/carril} \\ L_{pc} &= & 6 \cdot p_{CL} &= & 6 \cdot 77 &= & 461,3 \text{ m de carril izquierdo y central bloqueado} \end{aligned}$$

En caso de accidente, todos los autobuses y camiones se ven obligados a estacionar en el carril derecho (18 m/veh):

$$\begin{aligned} L_{hgv} &= & 18 \cdot (\text{bus}_C + \text{hgv}_C) &= & 18 \cdot (17+8) &= & 458,1 \text{ m de carril derecho bloqueado} \\ p_{CLB} &= & 1.5 \cdot \text{bus}_C &= & 1.5 \cdot 17 &= & 26 \text{ pcs en carril paralelo con autobuses} \\ p_{CLH} &= & 2.0 \cdot \text{hgv}_C &= & 2.0 \cdot 8 &= & 17 \text{ pcs en carril paralelo con vehíc. pesados} \\ p_{CLP} &= & p_{CL} - p_{CLB} - p_{CLH} &= & 77 - 26 - 17 &= & 34 \text{ pcs sin otros vehículos en carril paralelo} \end{aligned}$$

Lado de barlovento del accidente (corriente de aire entrante)

$$\begin{aligned} KM_C &= & 980 \text{ m} & \text{ punto de salida} & KM_E &= & 495 \text{ m} & \text{ punto de entrada de aire} \\ L_F &= & KM_C - KM_E &= & 980 - 495 &= & 485 \text{ m} & \text{ longitud de la corriente de la entrada de aire} \\ h_C &= & 47,46 \text{ m} & \text{ s.n.m.} & h_E &= & 28,3 \text{ m} & \text{ s.n.m.} \\ \Delta h_E &= & h_C - h_E &= & 47.5 - 28.3 &= & 19,2 \text{ m} & \text{ carretera en ascenso} \\ i_N &= & 100 \cdot \Delta h_E / L_F &= & 100 \cdot (19.2/485) &= & 3,95 \% & \text{ pendiente promedio en tramo entrada de aire} \end{aligned}$$

Lado de sotavento del accidente (corriente de aire saliente):

$$\begin{aligned} KM_A &= & 1780 \text{ m} & \text{ punto de salida} & KM_C &= & 980 \text{ m} & \text{ punto de entrada de aire} \\ L_C &= & KM_A - KM_C &= & 1780 - 980 &= & 800 \text{ m} & \text{ longitud de la corriente de aire} \\ h_A &= & 79,1 \text{ m} & \text{ s.n.m.} & h_C &= & 47,46 \text{ m} & \text{ s.n.m.} \\ \Delta h_A &= & h_A - h_C &= & 79.1 - 47.5 &= & 31,6 \text{ m} & \text{ carretera en ascenso} \\ i_S &= & 100 \cdot \Delta h_A / L_C &= & 100 \cdot (31.6/800) &= & 3,95 \% & \text{ pendiente promedio en tramo salida de aire} \end{aligned}$$

Tasa de convección de calor: ninguno

$$\begin{aligned} R_{hgv} &= & 10 \cdot \text{hgv} \cdot L_T &= & 10 \cdot 77 \cdot 1285 &= & 989 \text{ hgv} \cdot \text{km/d (túnel oeste)} & < & 4000 \text{ hgv} \cdot \text{km/d} \\ Q_F &= & MW & & & & & & \text{(sin fuego)} \\ V_R &= & m^3/h & & & & & & \text{(sin caudal de humo)} \\ L_Z &= & m & & & & & & \text{(sin gas caliente)} \\ \Delta T &= & K & & & & & & \text{(sin gas caliente)} \end{aligned}$$

Velocidad mínima de aire longitudinal requerida:

$$\begin{aligned} i_N &= & i_S &= & 3,95 \% & \text{ inclinación de la carretera} \\ v_k &= & 1,50 \text{ m/s} & \text{ velocidad requerida de corriente aire para ventilar el túnel por 4 cambios aire/h (norma RABT)} \\ V_F &= & A_T \cdot v_k &= & 76.16 \cdot 1.5 &= & 114 \text{ m}^3/\text{s} & \text{ caudal de aire tomado desde afuera (portal norte)} \end{aligned}$$

Distribución de aire:

$$\begin{aligned} \rho_N &= & 1,20 \text{ kg/m}^3 & & & & \text{densidad estándar del aire a 1013 mbar, 20°C} \\ T_F &= & 30 \text{ °C} & & 273 + 30 &= & 303 \text{ °K} & \text{ promedio de la temperatura del aire exterior} \end{aligned}$$

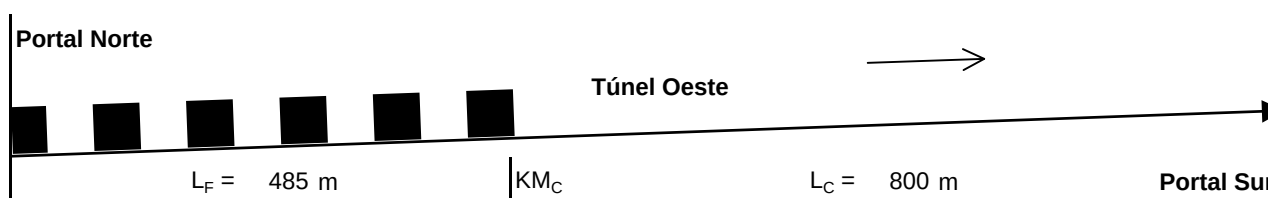
$\rho_F =$	$\rho_N * T_N / T_F =$	$1.2 * 293 / 303 =$	$1,16 \text{ kg/m}^3$	promedio densidad aire exterior a 1013 mbar, 30°C
$L_F =$	485 m			longitud de la corriente de la entrada de aire
$\Delta T_L =$	-2 K	$T_L = T_F + \Delta T_L =$	$303 - 2 =$	$301 \text{ }^\circ\text{K}$ temperatura media del aire frío en el túnel
$\rho_L =$	$\rho_N * T_N / T_L =$	$1.2 * 293 / 301 =$	$1,17 \text{ kg/m}^3$	densidad media del aire en el túnel a 1013 mbar, 28°C
$\Delta T_C =$	K	$T_C = T_L + \Delta T_C =$	$301 + 0 =$	$301 \text{ }^\circ\text{K}$ temperatura media del aire frío en los 800 m
$\rho_C =$	$\rho_N * T_N / T_C =$	$1.2 * 293 / 301 =$	$1,17 \text{ kg/m}^3$	densidad media del aire frío en el túnel
$L_C =$	800 m			longitud distribución del aire frío en el túnel

Localización del accidente

$$KM_C = KM_E + L_F = 495 + 485 = 980 \text{ m (km 0+980)}$$

Nota: En este caso se asume que no hay incendio

Distribución esquemática del aire



Fuerzas de ascensión natural:

$$\Delta p_F = g * (\rho_F - \rho_L) * L_F * i_N = 9.81 * (1.16 - 1.17) * 485 * (3.95/100) = -1,4 \text{ Pa}$$

$$\Delta p_C = g * (\rho_F - \rho_C) * L_C * i_S = 9.81 * (1.16 - 1.17) * 800 * (3.95/100) = -2,4 \text{ Pa}$$

$$\text{presión positiva} = \text{corriente inducida por fuerzas de ascensión naturales} \quad \Sigma = -3,8 \text{ Pa}$$

Fuerzas del viento exterior:

$$v_S = 3,50 \text{ m/s por viento de sur (<95\%)}$$

$$\Delta p_W = -0.5 * \rho_F * v_S^2 = -0.5 * 1.16 * 3.5^2 = -7,1 \text{ Pa}$$

Datos aerodinámicos de los vehículos:

$A_P =$	$2,24 \text{ m}^2$	pc (1.6x1.4 m)	secc. transv. del vehículo ligero	$c_{WP} =$	0,4 coef. de resistencia
$A_B =$	$6,25 \text{ m}^2$	autobus (2.5x2.5 m)	secc. transv. del autobus	$c_{WB} =$	1,1 coef. de resistencia
$A_H =$	$8,75 \text{ m}^2$	hgv (2.5x3.5 m)	secc. transv. del vehículo pesado	$c_{WH} =$	0,9 coef. de resistencia
$c_S =$	0,75	coeficiente de sotavento (en una línea de tráfico o convoy)			

Velocidades de aire y humo en el túnel en función de la sección transversal del tipo de vehículo:

$$v_L = v_F = 1,50 \text{ m/s velocidad requerida corriente de aire en la sección transversal clara del túnel}$$

$$v_{LP} = v_L * A_T / (A_T - 2 * A_P) = 1.5 * 76.16 / (76.16 - 2 * 2.24) = 1,594 \text{ m/s velocidad del aire a 2 pcs en paralelo}$$

$$\begin{aligned} v_{LB} &= v_L * A_T / (A_T - 2 * A_P - A_B) = 1.5 * 76.16 / (76.16 - 2 * 2.24 - 6.25) = 1,746 \text{ m/s veloc. aire a 2pcs+1bús en paralelo} \\ v_{LH} &= v_L * A_T / (A_T - 2 * A_P - A_H) = 1.5 * 76.16 / (76.16 - 2 * 2.24 - 8.75) = 1,82 \text{ m/s veloc. aire a 2pcs+1hgv en paralelo} \\ v_C &= v_L * T_C / T_L = 1.5 * 370 / 305 = 1,50 \text{ m/s veloc. aire sin vehiculos en el túnel} \end{aligned}$$

Presión de resistencia vehicular de flujo:

$$\begin{aligned} \Delta p_P &= -0.5 * A_P * c_{wp} * c_S * \rho_L * (2 * p_{CLP} * v_{LP}^2 + 2 * p_{CLB} * v_{LB}^2 + 2 * p_{CLH} * v_{LH}^2) / A_T = \\ (\text{vehículo ligero}) & -0.5 * 2.24 * 0.4 * 0.75 * 1.17 * (2 * 34 * 1.59^2 + 2 * 26 * 1.75^2 + 2 * 17 * 1.82^2) / 76.16 = -2,3 \text{ Pa} \\ \Delta p_B &= -0.5 * A_B * c_{WB} * c_S * \rho_L * (bus_C * v_{LB}^2) / A_T = \\ (\text{autobuses}) & -0.5 * 8.75 * 1.1 * 0.75 * 1.17 * (17 * 1.75^2) / 76.16 = -2,0 \text{ Pa} \\ \Delta p_H &= -0.5 * A_H * c_{WH} * c_S * \rho_L * (hgv_C * v_{LH}^2) / A_T = \\ (\text{vehículo pesado}) & -0.5 * 8.75 * 0.9 * 0.75 * 1.17 * (8 * 1.82^2) / 76.16 = -1,3 \text{ Pa} \\ \Sigma &= -5,6 \text{ Pa} \end{aligned}$$

Pérdida de presión por fricción en la pared del túnel:

$$\begin{aligned} \Delta p_C &= -0.5 * \lambda * \{ \rho_L * [4 * p_{CLP} * v_{LP}^2 + 8 * bus_C * v_{LB}^2 + 8 * hgv_C * v_{LH}^2 + (L_F - 4 * p_{CLP} - 8 * bus_C - 8 * hgv_C) * v_L^2] + L_C * \rho_C * v_C^2 \} / D_T = \\ & -0.5 * 0.015 * \{ 1.17 * [4 * 34 * 1.59^2 + 8 * 17 * 1.75^2 + 8 * 8 * 1.82^2 + (485 - 4 * 34 - 8 * 17 - 8 * 8) * 1.5^2] + 800 * 1.17 * 1.5^2 \} / 8.9 = -3,1 \text{ Pa} \end{aligned}$$

Pérdidas de presión de aire en la entrada y salida:

$$\begin{aligned} \Delta p_E &= -0.5 * \rho_F * \zeta_E * v_L^2 = -0.5 * 1.16 * 0.6 * 1.5^2 = -0,8 \text{ Pa} \\ \Delta p_A &= -0.5 * \rho_C * \zeta_A * v_C^2 = -0.5 * 1.17 * 1.0 * 1.5^2 = -1,3 \text{ Pa} \end{aligned}$$

$$\text{Suma de todas las pérdidas de presión: } \Sigma \Delta p = -21,7 \text{ Pa}$$

Fuerza requerida de inducción del aire:

$$F_T = -A_T * \Sigma \Delta p = -76.16 * (-21.7) = 1652 \text{ N}$$

El diseño y selección de los ventiladores de propulsión serán hechos en base a la densidad y velocidad local del aire.

La propulsión nominal requerida de los ventiladores debe considerar las disposiciones locales y eficiencia de corriente.

Selección del los ventiladores de propulsión

La selección de los ventiladores de propulsión debe considerar su localización e instalación en la bóveda del túnel.

En este caso se consideran 11 lugares, 1 para cada ventilador:

$$n_{DN} = 11 \text{ VP}$$

Los ventiladores deben ser distribuidos de forma equitativa en el túnel.

Lado de barlovento del accidente (sección aire entrante)

$$F_1 = -F_T/n_{DN}/\eta_E/\cos(\gamma) = 1652/11/0,95/\cos(0^\circ) = 158 \text{ N at } 301 \text{ }^\circ\text{K} = 28 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\eta_E = 0,95 \text{ eficiencia de la instalación}$$

$$\gamma = 0^\circ \text{ ángulo entre la tobera soplante y el eje del túnel}$$

Lado de sotavento del accidente (sección aire saliente):

$$F_2 = -F_T/n_{DN}/\eta_E/\cos(\gamma) = 1652/11/0,95/\cos(0^\circ) = 158 \text{ N at } 301 \text{ }^\circ\text{K} = 28 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\eta_E = 0,95 \text{ eficiencia de la instalación}$$

$$\gamma = 0^\circ \text{ ángulo entre la tobera soplante y el eje del túnel}$$

Propulsión requerida de los ventiladores de propulsión con valores medios de la corriente

Los ventiladores seleccionados deben ser de igual tipo y tamaño. La propulsión del ventilador se determinará mediante un cálculo de la temperatura, densidad y velocidad medias de la corriente.

$$T_M = (T_L + T_C)/2 = (301 + 301)/2 = 301 \text{ }^\circ\text{K} \text{ (temp. media de la corriente)}$$

$$v_M = (v_L + v_C)/2 = (1,5 + 1,5)/2 = 1,50 \text{ m/s} \text{ (veloc. media de la corriente)}$$

$$F_M = -F_T/n_{DN}/\eta_E/\cos(\gamma) = 1652/11/0,95/\cos(0^\circ) = 158 \text{ N at } 301 \text{ }^\circ\text{K} = 28 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$F_N = F_M * T_M/T_L = 158 * 301/293 = 162 \text{ N at } 293 \text{ }^\circ\text{K} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

Propulsión nominal

$$F_S = F_N * v_{ST}/(v_{ST} - v_M) = 162 * 17,2/(17,2 - 1,5) = 178 \text{ N para cada ventilador de propulsión}$$

$$v_{ST} = 17,2 \text{ m/s velocidad nominal de la corriente en la tobera de soplante de un diámetro de 800 mm.}$$

Datos del los ventiladores de propulsión

$$N_{ST} = 11 \text{ ventiladores de propulsión más 2 stand-by (por seguridad) = 13 VP (túnel oeste)}$$

$$D_{ST} = 800 \text{ mm diámetro nominal seleccionado de la tobera de soplar}$$

$$n_{ST} = 1150 \text{ Upm}$$

$$f = 60 \text{ Hz}$$

$$U = 480 \text{ V}$$

$$F_{ST} = 180 \text{ N propulsión nominal por ventilador con 17,2 m/s velocidad de corriente en tobera a } 20^\circ\text{C}$$

$$N_{ST} = 3 \text{ kW potencia nominal del motor del ventilador}$$

$$I = 6,5 \text{ A}$$

$$L_{PM} = 67 \text{ dB(A) medido a 3 m de distancia (de 1,0 m largo de atenuadores de sonido)}$$

Túnel oeste con control de humo para un fuego de 30 MW

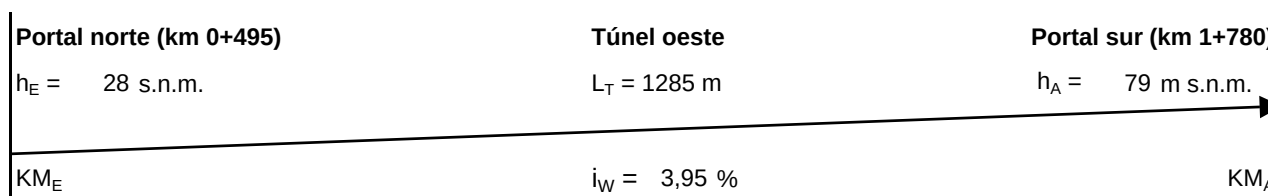
(Tráfico cuesta arriba en una dirección de norte a sur)

Dimensiones del túnel

KM = marcas viales (km)

KM _E =	495 m	Portal entrada(norte)	KM _A =	1780 m	Portal salida (sur)
L _T =	KM _E - KM _A =		1780-495 =	1285 m	Longitud del túnel oeste
h _E =	28,30 m	Altitud (s.n.m.)	h _A =	79,06 m	Altitud (s.n.m.)
Δh _T =	h _A - h _E =		79.06-28.30 =	50,76 m	Diferencia de altura (túnel oeste)
i _T =	100*Δh _T /L _T =		100*50.76/1285 =	3,95 %	Pendiente media túnel oeste
B _T =	12,40 m	Ancho túnel oeste	H _T =	7,45 m	Altura del túnel oeste
P _T =				34,24 m	Perímetro del túnel oeste
A _T =				76,16 m ²	Area de la sección transversal del túnel oeste
D _T =	4*A _T /P _T =		4*76.16/34.24 =	8,9 m	Diámetro hidráulico del túnel

Esquema del túnel oeste:



Pronóstico de tráfico para el año 2024:

Spv =	1670 veh/h
S/N =	45 % porcentaje de tráfico (norte a sur)
pc =	1438 pcs/h (vehículos ligeros hacia el sur)
bus =	155 autobuses/h (autobuses hacia el sur)
hgv =	77 hgvs/h (vehículos pesados hacia el sur)
v _{pc} =	70 km/h
v _{bus} =	50 km/h
v _{hgv} =	50 km/h

Distribución de vehículos en caso de incendio:

L _F =	485 m	distancia del incendio a la entrada del portal (norte), está simulada como la más desfavorable
t _{delay} =	6 min.	atraso en respuesta del sistema (por reconocimiento de incendio y procesar de datos)
pc _H =	pc*(L _F /v _{pc} /1000+t _{delay} /60) =	1438*(485/70/1000+6/60) = 154 pcs en el túnel oeste
bus _H =	bus*(L _F /v _{bus} /1000+t _{delay} /60) =	155*(485/50/1000+6/60) = 17 autobuses en el túnel oeste
hgv _H =	hgv*(L _F /v _{hgv} /1000+t _{delay} /60) =	77*(485/50/1000+6/60) = 8 hgvs en el túnel oeste

En caso de incendio, todos los vehículos ligeros se ven obligados a estacionar en el carril izquierdo y central (6 m/veh):

$$\begin{aligned} p_{C_L} &= & p_{C_H}/2 &= & 154/2 &= & 77 \text{ pcs/carril} \\ L_{pc} &= & 6 \cdot p_{C_L} &= & 6 \cdot 77 &= & 461,3 \text{ m de carril izquierdo y central bloqueado} \end{aligned}$$

En caso de incendio, todos los autobuses y camiones se ven obligados a estacionar en el carril derecho (18 m/veh):

$$\begin{aligned} L_{hgv} &= & 18 \cdot (\text{bus}_H + \text{hgv}_H) &= & 18 \cdot (17+8) &= & 458,1 \text{ m de carril derecho bloqueado} \\ p_{C_{LB}} &= & 1.5 \cdot \text{bus}_H &= & 1.5 \cdot 17 &= & 26 \text{ pcs en carril paralelo con autobuses} \\ p_{C_{LH}} &= & 2.0 \cdot \text{hgv}_H &= & 2.0 \cdot 8 &= & 17 \text{ pcs en carril paralelo con vehíc. pesados} \\ p_{C_{LP}} &= & p_{C_L} - p_{C_{LB}} - p_{C_{hgv}} &= & 77 - 26 - 17 &= & 34 \text{ pcs sin otros vehiculos en carril paralelo} \end{aligned}$$

Lado de barlovento del incendio (corriente de aire entrante)

$$\begin{aligned} KM_H &= & 980 \text{ m} & \text{ punto de salida} & KM_E &= & 495 \text{ m} & \text{ punto de entrada de aire} \\ L_F &= & KM_H - KM_E &= & 980 - 495 &= & 485 \text{ m} & \text{ longitud de la corriente de la entrada de aire} \\ h_H &= & 47,46 \text{ m} & \text{ s.n.m.} & h_E &= & 28,3 \text{ m} & \text{ s.n.m.} \\ \Delta h_E &= & h_H - h_E &= & 47.5 - 28.3 &= & 19,2 \text{ m} & \text{ carretera en ascenso} \\ i_N &= & 100 \cdot \Delta h_E / L_F &= & 100 \cdot (19.2/485) &= & 3,95 \% & \text{ pendiente promedio en tramo entrada de aire} \end{aligned}$$

Lado de sotavento del incendio (corriente de humo saliente):

$$\begin{aligned} KM_A &= & 1780 \text{ m} & \text{ punto de salida} & KM_H &= & 980 \text{ m} & \text{ punto de entrada de humo} \\ L_H &= & KM_A - KM_H &= & 1780 - 980 &= & 800 \text{ m} & \text{ longitud de la corriente de humo} \\ h_A &= & 79,1 \text{ m} & \text{ s.n.m.} & h_H &= & 47,46 \text{ m} & \text{ s.n.m.} \\ \Delta h_A &= & h_A - h_H &= & 79.1 - 47.5 &= & 31,6 \text{ m} & \text{ carretera en ascenso} \\ i_S &= & 100 \cdot \Delta h_A / L_H &= & 100 \cdot (31.6/800) &= & 3,95 \% & \text{ pendiente promedio en tramo salida de humo} \end{aligned}$$

Tasa de convección de calor:

$$\begin{aligned} R_{hgv} &= & 10 \cdot \text{hgv} \cdot L_T &= & 10 \cdot 77 \cdot 1285 &= & 989 \text{ hgv} \cdot \text{km/d (túnel oeste)} & < & 4000 \text{ hgv} \cdot \text{km/d} \\ Q_F &= & 30 \text{ MW} & & & & \text{de acuerdo a normas alemanas (RABT)} \\ V_R &= & 80 \text{ m}^3/\text{h} & & & & \text{caudal de humo en un diseño standard de incendio (en un camión)} \\ L_Z &= & 800 \text{ m} & & & & \text{longitud efectiva de la corriente de gas caliente} \\ \Delta T &= & 65 \text{ K} & & & & \text{elevación media de temperatura de gas caliente} \end{aligned}$$

Velocidad mínima de aire longitudinal requerida:

$$\begin{aligned} i_N &= & i_S &= & 3,95 \% & & \text{inclinación de la carretera} \\ v_k &= & 1,50 \text{ m/s} & & & & \text{velocidad requerida corriente aire para asegurar el retiro del humo cuesta abajo sin reflujos} \\ V_F &= & A_T \cdot v_k &= & 76.16 \cdot 1.5 &= & 114 \text{ m}^3/\text{s} & \text{caudal de aire tomado desde afuera (portal norte)} \end{aligned}$$

Distribución de humo:

$$\begin{aligned} \rho_N &= & 1,20 \text{ kg/m}^3 & & & & \text{densidad estándar del aire a 1013 mbar, 20°C} \\ T_F &= & 30 \text{ °C} & & 273 + 30 &= & 303 \text{ °K} & \text{promedio de la temperatura del aire exterior} \end{aligned}$$

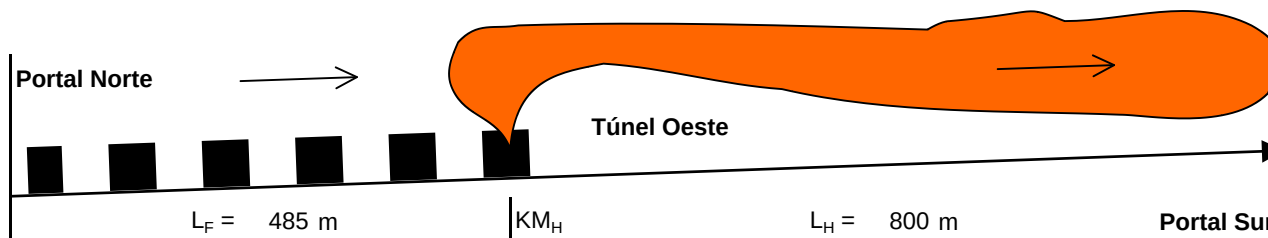
$\rho_F =$	$\rho_N * T_N / T_F =$	$1.2 * 293 / 303 =$	$1,16 \text{ kg/m}^3$	promedio densidad aire exterior a 1013 mbar, 30°C
$L_F =$	485 m			longitud de la corriente de la entrada de aire
$\Delta T_L =$	-2 K	$T_L = T_F + \Delta T_L =$	$303 - 2 =$	301 °K temperatura media del aire frio en el túnel
$\rho_L =$	$\rho_N * T_N / T_L =$	$1.2 * 293 / 301 =$	$1,17 \text{ kg/m}^3$	densidad media del aire en el túnel a 1013 mbar, 28°C
$\Delta T_H =$	65 K	$T_H = T_L + \Delta T_H =$	$301 + 65 =$	366 °K temperatura media del aire y del humo en los 800 m
$\rho_H =$	$\rho_N * T_N / T_H =$	$1.2 * 293 / 366 =$	$0,96 \text{ kg/m}^3$	densidad media del aire y del humo en el túnel
$L_H =$	800 m			longitud distribución del humo caliente en el túnel

Localización del incidente de fuego:

$$KM_H = KM_E + L_F = 495 + 485 = 980 \text{ m (km 0+980)}$$

Nota: Si el fuego está localizado cerca de un portal (< 100 m) entonces el humo correrá directamente a lo abierto

Distribución esquemática del humo:



Fuerzas de ascensión natural:

$$\Delta p_F = g * (\rho_F - \rho_L) * L_F * i_N = 9.81 * (1.16 - 1.17) * 485 * (3.95/100) = -1,4 \text{ Pa}$$

$$\Delta p_H = g * (\rho_F - \rho_H) * L_H * i_S = 9.81 * (1.16 - 0.96) * 800 * (3.95/100) = 61,9 \text{ Pa}$$

$$\text{presión positiva} = \text{corriente inducida por fuerzas de ascensión naturales} \quad \Sigma = 60,5 \text{ Pa}$$

Fuerzas del viento exterior:

$$v_S = 3,50 \text{ m/s por viento de sur (<95\%)}$$

$$\Delta p_W = -0.5 * \rho_F * v_S^2 = -0.5 * 1.16 * 3.5^2 = -7,1 \text{ Pa}$$

Datos aerodinámicos de los vehículos:

$A_P =$	2,24 m ² pc	(1.6x1.4 m)	secc. transv. del vehículo ligero	$c_{WP} =$	0,4 coef. de resistencia
$A_B =$	6,25 m ²	autobus (2.5x2.5 m)	secc. transv. del autobus	$c_{WB} =$	1,1 coef. de resistencia
$A_H =$	8,75 m ²	hgv (2.5x3.5 m)	secc. transv. del vehículo pesado	$c_{WH} =$	0,9 coef. de resistencia
$c_S =$	0,75	coeficiente de sotavento (en una línea de tráfico o convoy)			

Velocidades de aire y humo en el túnel en función de la sección transversal del tipo de vehículo:

$$v_L = v_F = 1,50 \text{ m/s velocidad requerida corriente de aire en la sección transversal clara del túnel}$$

$$v_{LP} = v_L * A_T / (A_T - 2 * A_P) = 1.5 * 76.16 / (76.16 - 2 * 2.24) = 1,594 \text{ m/s velocidad del aire a 2 pcs en paralelo}$$

$$\begin{aligned} v_{LB} &= v_L * A_T / (A_T - 2 * A_P - A_B) = 1.5 * 76.16 / (76.16 - 2 * 2.24 - 6.25) = 1,746 \text{ m/s veloc. aire a 2pcs+1bús en paralelo} \\ v_{LH} &= v_L * A_T / (A_T - 2 * A_P - A_H) = 1.5 * 76.16 / (76.16 - 2 * 2.24 - 8.75) = 1,82 \text{ m/s veloc. aire a 2pcs+1hgv en paralelo} \\ v_H &= v_L * T_H / T_L = 1.5 * 370 / 305 = 1,82 \text{ m/s veloc. humo sin vehiculos en el túnel} \end{aligned}$$

Presión de resistencia vehicular de flujo:

$$\begin{aligned} \Delta p_P &= -0.5 * A_P * c_{wp} * c_S * \rho_L * (2 * p_{c_{LP}} * v_{LP}^2 + 2 * p_{c_{LB}} * v_{LB}^2 + 2 * p_{c_{LH}} * v_{LH}^2) / A_T = \\ (\text{vehículo ligero}) & -0.5 * 2.24 * 0.4 * 0.75 * 1.17 * (2 * 34 * 1.59^2 + 2 * 26 * 1.75^2 + 2 * 17 * 1.82^2) / 76.16 = -2,3 \text{ Pa} \\ \Delta p_B &= -0.5 * A_B * c_{wb} * c_S * \rho_L * (bus_H * v_{LB}^2) / A_T = \\ (\text{autobuses}) & -0.5 * 8.75 * 1.1 * 0.75 * 1.17 * (17 * 1.75^2) / 76.16 = -2,0 \text{ Pa} \\ \Delta p_H &= -0.5 * A_H * c_{wH} * c_S * \rho_L * (hgv_H * v_{LH}^2) / A_T = \\ (\text{vehículo pesado}) & -0.5 * 8.75 * 0.9 * 0.75 * 1.17 * (8 * 1.82^2) / 76.16 = -1,3 \text{ Pa} \\ \Sigma &= -5,6 \text{ Pa} \end{aligned}$$

Pérdida de presión por fricción en la pared del túnel:

$$\begin{aligned} \Delta p_R &= -0.5 * \lambda * \{ \rho_L * [4 * p_{c_{LP}} * v_{LP}^2 + 8 * bus_H * v_{LB}^2 + 8 * hgv_H * v_{LH}^2 + (L_F - 4 * p_{c_{LP}} - 8 * bus_H - 8 * hgv_H) * v_L^2] + L_H * \rho_H * v_H^2 \} / D_T = \\ & -0.5 * 0.015 * \{ 1.17 * [4 * 34 * 1.59^2 + 8 * 17 * 1.75^2 + 8 * 8 * 1.82^2 + (485 - 4 * 34 - 8 * 17 - 8 * 8) * 1.5^2] + 800 * 0.96 * 1.82^2 \} / 8.9 = -3,4 \text{ Pa} \end{aligned}$$

Pérdidas de presión de aire en la entrada y salida:

$$\begin{aligned} \Delta p_E &= -0.5 * \rho_F * \zeta_E * v_L^2 = -0.5 * 1.16 * 0.6 * 1.5^2 = -0,8 \text{ Pa} \\ \Delta p_A &= -0.5 * \rho_H * \zeta_A * v_H^2 = -0.5 * 0.96 * 1.0 * 1.82^2 = -1,6 \text{ Pa} \end{aligned}$$

$$\text{Suma de todas las pérdidas de presión: } \Sigma \Delta p = 42,0 \text{ Pa}$$

Fuerza requerida de inducción del aire:

$$F_T = -A_T * \Sigma \Delta p = -76.16 * (42.0) = -3195 \text{ N (en exceso)}$$

El diseño y selección de los ventiladores de propulsión serán hechos en base a la densidad y velocidad local del aire.

La propulsión nominal requerida de los ventiladores debe considerar las disposiciones locales y eficiencia de corriente.

Selección de los ventiladores de propulsión

La selección de los ventiladores de propulsión debe considerar su localización e instalación en la bóveda del túnel.

En este caso se consideran un lugar, 1 para cada ventilador: $n_{DN} = 1$ VP

Los ventiladores deben ser distribuidos de forma equitativa en el túnel.

Lado de barlovento del incendio (sección aire entrante)

$$F_1 = -F_T/n_{DN}/\eta_E/\cos(\gamma) = 3195/1/0,95/\cos(0^\circ) = -3363 \text{ N at } 301 \text{ }^\circ\text{K} = 28 \text{ }^\circ\text{C}$$

$\eta_E = 0,95$ eficiencia de la instalación

$\gamma = 0^\circ$ ángulo entre la tobera soplante y el eje del túnel

Lado de sotavento del incendio (sección aire saliente):

$$F_2 = -F_T/n_{DN}/\eta_E/\cos(\gamma) = 3195/1/5/0,95/\cos(0^\circ) = -3363 \text{ N at } 366 \text{ }^\circ\text{K} = 93 \text{ }^\circ\text{C}$$

$\eta_E = 0,95$ eficiencia de la instalación

$\gamma = 0^\circ$ ángulo entre la tobera soplante y el eje del túnel

Propulsión requerida de los ventiladores de propulsión con valores medio de la corriente

Los ventiladores seleccionados deben ser de igual tipo y tamaño. La propulsión del ventilador se determinará mediante un cálculo de la temperatura, densidad y velocidad medias de la corriente.

$$T_M = (T_L + T_C)/2 = (301 + 366)/2 = 334 \text{ }^\circ\text{K} \quad (\text{temp. media de la corriente})$$

$$v_M = (v_L + v_C)/2 = (1.5 + 1.82)/2 = 1,66 \text{ m/s} \quad (\text{veloc. media de la corriente})$$

$$F_M = -F_T/n_{DN}/\eta_E/\cos(\gamma) = 3195/1/0.95/\cos(0^\circ) = -3759 \text{ N at } 334 \text{ }^\circ\text{K} = 61 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$F_N = F_M * T_M/T_L = -3759 * 334/293 = -4278 \text{ N at } 293 \text{ }^\circ\text{K} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

Propulsión nominal

$$F_S = F_N * v_{ST}/(v_{ST} - v_M) = -4278 * 17.2/(17.2 - 1.66) = -4736 \text{ N (en exceso)}$$

$v_{ST} = 17,2 \text{ m/s}$ velocidad nominal de la corriente en la tobera de soplante de un diámetro de 800 mm

Datos de los ventiladores de propulsión

$N_{ST} = 1$ ventilador de propulsión más 0 en stand-by (por seguridad) = 1 VP (túnel oeste)

$D_{ST} = 800 \text{ mm}$ diámetro nominal seleccionado de la tobera

$n_{ST} = 1150 \text{ Upm}$

$f = 60 \text{ Hz}$

$U = 480 \text{ V}$

$F_{ST} = 180 \text{ N}$ propulsión nominal por ventilador con 17.2 m/s velocidad de corriente en la tobera a 20°C

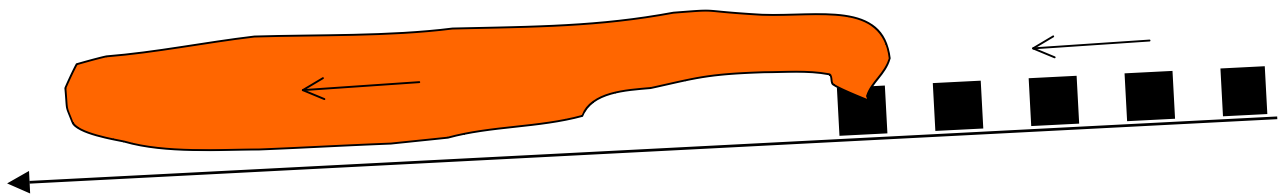
$N_{ST} = 3 \text{ kW}$ potencia nominal del motor del ventilador

$I = 6,5 \text{ A}$

$L_{PM} = 67 \text{ dB(A)}$ medido a 3 m de distancia (de 1.0 m largo de atenuadores de sonido)

Nota: En caso de accidente no se requerirá ningún ventilador de propulsión para sacar el humo del portal sur

Cálculo del sistema de control de humo y de ventilación para el túnel este con tráfico en una dirección de sur a norte



Túnel este con tasa mínima de ventilación

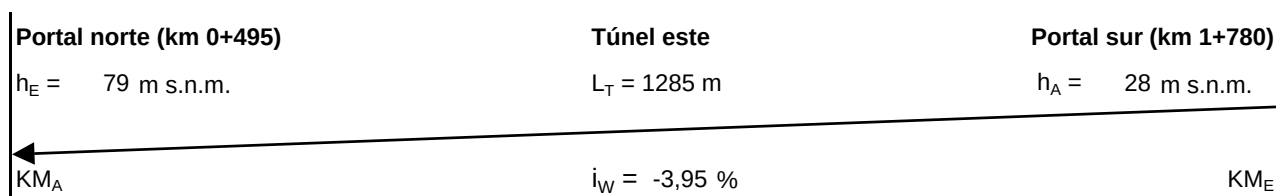
(Tráfico cuesta abajo en una dirección de sur a norte)

Dimensiones del túnel

KM = marcas viales (km)

KM _E =	1780 m	Portal entrada (sur)	KM _A =	495 m	Portal salida (norte)
L _T =	KM _E - KM _A =	1780-495 =	1285 m	Longitud del túnel este	
h _E =	79,06 m	Altitud (s.n.m.)	h _A =	28,30 m	Altitud (s.n.m.)
Δh _T =	h _A - h _E =	28.30-79.06 =	-50,76 m	Diferencia de altura (túnel este)	
i _T =	100*Δh _T /L _T =	100*(-50.76/1285) =	-3,95 %	Pendiente media túnel este	
B _T =	12,40 m	Ancho túnel (este)	H _T =	7,45 m	Altura del túnel este
P _T =			34,24 m	Perímetro del túnel este	
A _T =			76,16 m ²	Area de la sección transversal del túnel este	
D _T =	4*A _T /P _T =	4*76.16/34.24 =	8,9 m	Diámetro hidráulico del túnel	

Esquema del túnel este:



Pronóstico de tráfico para el año 2024:

Spv =	2019 veh/h
S/N =	55 % porcentaje de tráfico (sur a norte)
pc =	1738 pcs/h (vehículos ligeros hacia el norte)
bus =	160 autobuses/h (autobuses hacia el norte)
hgv =	121 hgvs/h (vehículos pesados hacia el norte)
v _{pc} =	70 km/h
v _{bus} =	50 km/h
v _{hgv} =	50 km/h

Distribución de vehículos en caso de accidente:

L _F =	485 m	distancia del accidente a la entrada del portal (sur), está simulada como la más desfavorable		
t _{delay} =	5 min.	atraso en respuesta del sistema (por reconocimiento de accidente y procesar de datos)		
pc _C =	pc*(L _F /v _{pc} /1000+t _{delay} /60) =	1738*(485/70/1000+5/60) =	157 pcs en el túnel este	
bus _C =	bus*(L _F /v _{bus} /1000+t _{delay} /60) =	160*(485/50/1000+5/60) =	15 autobuses en el túnel este	
hgv _C =	hgv*(L _F /v _{hgv} /1000+t _{delay} /60) =	121*(485/50/1000+5/60) =	11 hgvs en el túnel este	

En caso de accidente, todos los vehículos ligeros se ven obligados a estacionar en el carril izquierdo y central (6 m/veh):

$$\begin{aligned} p_{CL} &= & p_{CL}/2 &= & 157/2 &= & 78 \text{ pcs/carril} \\ L_{pc} &= & 6 \cdot p_{CL} &= & 6 \cdot 78 &= & 470,6 \text{ m de carril izquierdo y central bloqueado} \end{aligned}$$

En caso de accidente, todos los autobuses y camiones se ven obligados a estacionar en el carril derecho (18 m/veh):

$$\begin{aligned} L_{hgv} &= & 18 \cdot (\text{bus}_C + \text{hgv}_C) &= & 18 \cdot (15 + 11) &= & 470,6 \text{ m de carril derecho bloqueado} \\ p_{CLB} &= & 1.5 \cdot \text{bus}_C &= & 1.5 \cdot 15 &= & 22 \text{ pcs en carril paralelo con autobuses} \\ p_{CLH} &= & 2.0 \cdot \text{hgv}_C &= & 2.0 \cdot 11 &= & 23 \text{ pcs en carril paralelo con vehíc. pesados} \\ p_{CLP} &= & p_{CL} - p_{CLB} - p_{CLH} &= & 78 - 22 - 23 &= & 34 \text{ pcs sin otros vehiculos en carril paralelo} \end{aligned}$$

Lado de barlovento del accidente (corriente de aire entrante)

$$\begin{aligned} KM_C &= & 1295 \text{ m} & \text{ punto de salida} & KM_E &= & 1780 \text{ m} & \text{ punto de entrada de aire} \\ L_F &= & KM_E - KM_C &= & 1780 - 1295 &= & 485 \text{ m} & \text{ longitud de la corriente de la entrada de aire} \\ h_C &= & 59,9 \text{ m} & \text{ s.n.m.} & h_E &= & 79,1 \text{ m} & \text{ s.n.m.} \\ \Delta h_E &= & h_C - h_E &= & 59.9 - 79.1 &= & -19,2 \text{ m} & \text{ carretera en descenso} \\ i_S &= & 100 \cdot \Delta h_E / L_F &= & 100 \cdot (-19.2 / 485) &= & -3,95 \% & \text{ pendiente promedio en tramo entrada de aire} \end{aligned}$$

Lado de sotavento del accidente (corriente de aire saliente):

$$\begin{aligned} KM_A &= & 495 \text{ m} & \text{ punto de salida} & KM_C &= & 1295 \text{ m} & \text{ punto de entrada de aire} \\ L_C &= & KM_C - KM_A &= & 1295 - 495 &= & 800 \text{ m} & \text{ longitud de la corriente de aire} \\ h_A &= & 28,3 \text{ m} & \text{ s.n.m.} & h_C &= & 59,9 \text{ m} & \text{ s.n.m.} \\ \Delta h_A &= & h_A - h_C &= & 59.9 - 28.3 &= & -31,6 \text{ m} & \text{ carretera en descenso} \\ i_N &= & 100 \cdot \Delta h_A / L_C &= & 100 \cdot (31.6 / 800) &= & -3,95 \% & \text{ pendiente promedio en tramo salida de aire} \end{aligned}$$

Tasa de convección de calor: ninguno

$$\begin{aligned} R_{hgv} &= & 10 \cdot \text{hgv} \cdot L_T &= & 10 \cdot 121 \cdot 1285 &= & 1555 \text{ hgv} \cdot \text{km/d (túnel este)} & < & 4000 \text{ hgv} \cdot \text{km/d} \\ Q_F &= & MW & & & & & & \text{(sin fuego)} \\ V_R &= & m^3/h & & & & & & \text{(sin caudal de humo)} \\ L_Z &= & m & & & & & & \text{(sin gas caliente)} \\ \Delta T &= & K & & & & & & \text{(sin gas caliente)} \end{aligned}$$

Velocidad mínima de aire longitudinal requerida:

$$\begin{aligned} i_S &= & i_N &= & -3,95 \% & \text{ inclinación de la carretera} \\ v_k &= & 1,50 \text{ m/s} & \text{ velocidad requerida de corriente aire para ventilar el túnel por 4 cambios aire/h (norma RABT)} \\ V_F &= & A_T \cdot v_k &= & 76.16 \cdot 2.5 &= & 114 \text{ m}^3/\text{s} & \text{ caudal de aire tomado desde afuera (portal sur)} \end{aligned}$$

Distribución de aire:

$$\begin{aligned} \rho_N &= & 1,20 \text{ kg/m}^3 & & & & \text{densidad estándar del aire a 1013 mbar, 20°C} \\ T_F &= & 30 \text{ °C} & & 273 + 30 &= & 303 \text{ °K} & \text{ promedio de la temperatura del aire exterior} \end{aligned}$$

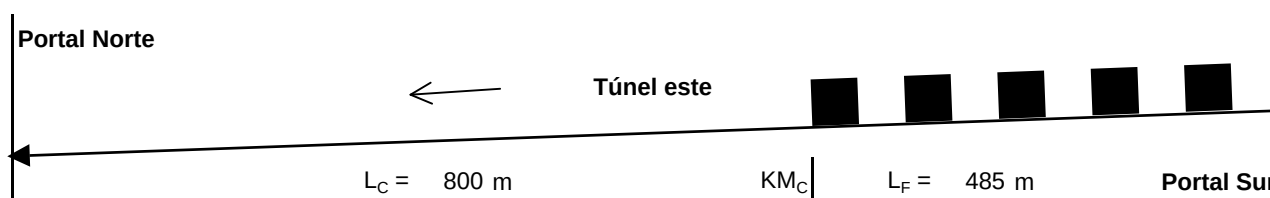
$\rho_F =$	$\rho_N * T_N / T_F =$	$1.2 * 293 / 303 =$	$1,16 \text{ kg/m}^3$	promedio densidad aire exterior a 1013 mbar, 30°C
$L_F =$	485 m			longitud de la corriente de la entrada de aire
$\Delta T_L =$	2 K	$T_L = T_F + \Delta T_L =$	$303 + 2 =$	$305 \text{ }^\circ\text{K}$ temperatura media del aire caliente en el túnel
$\rho_L =$	$\rho_N * T_N / T_L =$	$1.2 * 293 / 305 =$	$1,15 \text{ kg/m}^3$	densidad media del aire en el túnel a 1013 mbar, 32°C
$\Delta T_C =$	K	$T_C = T_L + \Delta T_C =$	$305 + 0 =$	$305 \text{ }^\circ\text{K}$ temperatura media del aire caliente en los 800 m
$\rho_C =$	$\rho_N * T_N / T_C =$	$1.2 * 293 / 305 =$	$1,15 \text{ kg/m}^3$	densidad media del aire caliente en el túnel
$L_C =$	800 m			longitud distribución del aire caliente en túnel

Localización del accidente:

$$KM_C = KM_E - L_F = 1780 - 485 = 1295 \text{ m (km 0+980)}$$

Nota: En este caso se asume que no hay incendio

Distribución esquemática del aire:



Fuerzas de ascensión natural:

$$\Delta p_F = g * (\rho_F - \rho_L) * L_F * i_N = 9.81 * (1.16 - 1.15) * 485 * (3.95/100) = -1,4 \text{ Pa}$$

$$\Delta p_C = g * (\rho_F - \rho_C) * L_C * i_S = 9.81 * (1.16 - 1.15) * 800 * (3.95/100) = -2,4 \text{ Pa}$$

$$\text{presión positiva} = \text{corriente inducida por fuerzas de ascensión naturales} \quad \Sigma = -3,8 \text{ Pa}$$

Fuerzas del viento exterior:

$$v_N = 3,50 \text{ m/s por viento de norte (<95\%)}$$

$$\Delta p_W = -0.5 * \rho_F * v_N^2 = -0.5 * 1.16 * 3.5^2 = -7,1 \text{ Pa}$$

Datos aerodinámicos de los vehículos:

$A_P =$	$2,24 \text{ m}^2$	pc (1.6x1.4 m)	secc. transv. del vehículo ligero	$c_{WP} =$	0,4 coef. de resistencia
$A_B =$	$6,25 \text{ m}^2$	autobus (2.5x2.5 m)	secc. transv. del autobus	$c_{WB} =$	1,1 coef. de resistencia
$A_H =$	$8,75 \text{ m}^2$	hgv (2.5x3.5 m)	secc. transv. del vehículo pesado	$c_{WH} =$	0,9 coef. de resistencia
$c_S =$	0,75	coeficiente de sotavento (en una línea de tráfico o convoy)			

Velocidades de aire y humo en el túnel en función de la sección transversal del tipo de vehículo:

$$v_L = v_F = 1,50 \text{ m/s velocidad requerida corriente de aire en la sección transversal clara del túnel}$$

$$v_{LP} = v_L * A_T / (A_T - 2 * A_P) = 1.5 * 76.16 / (76.16 - 2 * 2.24) = 1,594 \text{ m/s velocidad del aire a 2 pcs en paralelo}$$

$$\begin{aligned} v_{LB} &= v_L * A_T / (A_T - 2 * A_P - A_B) = 1.5 * 76.16 / (76.16 - 2 * 2.24 - 6.25) = 1,746 \text{ m/s veloc. aire a 2pcs+1bús en paralelo} \\ v_{LH} &= v_L * A_T / (A_T - 2 * A_P - A_H) = 1.5 * 76.16 / (76.16 - 2 * 2.24 - 8.75) = 1,82 \text{ m/s veloc. aire a 2pcs+1hgv en paralelo} \\ v_C &= v_L * T_C / T_L = 1.5 * 305 / 305 = 1,50 \text{ m/s veloc. aire sin vehiculos en túnel} \end{aligned}$$

Presión de resistencia vehicular de flujo:

$$\begin{aligned} \Delta p_P &= -0.5 * A_P * c_{wp} * c_S * \rho_L * (2 * p_{CLP} * v_{LP}^2 + 2 * p_{CLB} * v_{LB}^2 + 2 * p_{CLH} * v_{LH}^2) / A_T = \\ (\text{vehículo ligero}) & -0.5 * 2.24 * 0.4 * 0.75 * 1.15 * (2 * 34 * 1.59^2 + 2 * 22 * 1.75^2 + 2 * 23 * 1.82^2) / 76.16 = -2,3 \text{ Pa} \\ \Delta p_B &= -0.5 * A_B * c_{WB} * c_S * \rho_L * (bus_C * v_{LB}^2) / A_T = \\ (\text{autobuses}) & -0.5 * 8.75 * 1.1 * 0.75 * 1.15 * (15 * 1.75^2) / 76.16 = -1,8 \text{ Pa} \\ \Delta p_H &= -0.5 * A_H * c_{WH} * c_S * \rho_L * (hgv_C * v_{LH}^2) / A_T = \\ (\text{vehículo pesado}) & -0.5 * 8.75 * 0.9 * 0.75 * 1.15 * (11 * 1.82^2) / 76.16 = -1,7 \text{ Pa} \\ \Sigma &= -5,7 \text{ Pa} \end{aligned}$$

Pérdida de presión por fricción en la pared del túnel:

$$\begin{aligned} \Delta p_C &= -0.5 * \lambda * \{ \rho_L * [4 * p_{CLP} * v_{LP}^2 + 8 * bus_C * v_{LB}^2 + 8 * hgv_C * v_{LH}^2 + (L_F - 4 * p_{CLP} - 8 * bus_C - 8 * hgv_C) * v_L^2] + L_C * \rho_C * v_C^2 \} / D_T = \\ & -0.5 * 0.015 * \{ 1.15 * [4 * 34 * 1.59^2 + 8 * 15 * 1.75^2 + 8 * 11 * 1.82^2 + (485 - 4 * 34 - 8 * 15 - 8 * 11) * 1.5^2] + 800 * 1.15 * 1.5^2 \} / 8.9 = -3,0 \text{ Pa} \end{aligned}$$

Pérdidas de presión de aire en la entrada y salida:

$$\begin{aligned} \Delta p_E &= -0.5 * \rho_F * \zeta_E * v_L^2 = -0.5 * 1.16 * 0.6 * 1.5 = -0,8 \text{ Pa} \\ \Delta p_A &= -0.5 * \rho_C * \zeta_A * v_C^2 = -0.5 * 1.15 * 1.0 * 1.5 = -1,3 \text{ Pa} \end{aligned}$$

$$\text{Suma de todas las pérdidas de presión: } \Sigma \Delta p = -21,8 \text{ Pa}$$

Fuerza requerida de inducción del aire:

$$F_T = -A_T * \Sigma \Delta p = -76.16 * (-21.8) = 1657 \text{ N}$$

El diseño y selección de los ventiladores de propulsión serán hechos en base a la densidad y velocidad local del aire.

La propulsión nominal requerida de los ventiladores debe considerar las disposiciones locales y eficiencia de corriente.

Selección de los ventiladores de propulsión

La selección de los ventiladores de propulsión debe considerar su localización e instalación en la bóveda del túnel.

En este caso se consideran 24 lugares, 1 para cada ventilador:

$$n_{DN} = 24 \text{ VP}$$

Los ventiladores deben ser distribuidos de forma equitativa en el túnel.

Lado de barlovento del accidente (sección aire entrante)

$$F_1 = -F_T/n_{DN}/\eta_E/\cos(\gamma) = 1657/24/0,95/\cos(0^\circ) = 73 \text{ N at } 305 \text{ }^\circ\text{K} = 32 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\eta_E = 0,95 \text{ eficiencia de la instalación}$$

$$\gamma = 0^\circ \text{ ángulo entre la tobera soplante y el eje del túnel}$$

Lado de sotavento del accidente (sección aire saliente):

$$F_2 = -F_T/n_{DN}/\eta_E/\cos(\gamma) = 1657/24/0,95/\cos(0^\circ) = 73 \text{ N at } 305 \text{ }^\circ\text{K} = 32 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\eta_E = 0,95 \text{ eficiencia de la instalación}$$

$$\gamma = 0^\circ \text{ ángulo entre la tobera soplante y el eje del túnel}$$

Propulsión requerida de los ventiladores propulsión con valores medios de la corriente

Los ventiladores seleccionados deben ser de igual tipo y tamaño. La propulsión del ventilador se determinará mediante un cálculo de la temperatura, densidad y velocidad medias de la corriente.

$$T_M = (T_L + T_C)/2 = (305 + 305)/2 = 305 \text{ }^\circ\text{K} \quad (\text{temp. media de la corriente})$$

$$v_M = (v_L + v_C)/2 = (1.5 + 1.5)/2 = 1,50 \text{ m/s} \quad (\text{velocidad media de la corriente})$$

$$F_M = -F_T/n_{DN}/\eta_E/\cos(\gamma) = 1657/24/0,95/\cos(0^\circ) = 73 \text{ N at } 305 \text{ }^\circ\text{K} = 32 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$F_N = F_M * T_M/T_L = 73 * 305/293 = 76 \text{ N at } 293 \text{ }^\circ\text{K} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

Propulsión nominal

$$F_S = F_N * v_{ST}/(v_{ST} - v_M) = 76 * 10.8/(10.8 - 1.5) = 88 \text{ N para cada ventilador de propulsión}$$

$$v_{ST} = 10,8 \text{ m/s velocidad nominal de la corriente en la tobera de soplante de un diámetro de 900 mm}$$

Datos del ventilador de propulsión

$$N_{ST} = 24 \text{ ventiladores de propulsión más 0 stand-by (por seguridad) = 24 VP (túnel este)}$$

$$D_{ST} = 900 \text{ mm diámetro nominal seleccionado de la tobera de soplar}$$

$$n_{St} = 725 \text{ Upm (con control variable de velocidad FCU)}$$

$$F_{ST} = 90 \text{ propulsión nominal por ventilador con 10.8 m/s velocidad de corriente en tobera a } 20^\circ\text{C}$$

$$N_{ST} = 1,5 \text{ kW potencia actual del motor del ventilador (con control de velocidad variable por FCU)}$$

$$I = 6,5 \text{ A}$$

$$L_{PM} = 65 \text{ dB(A) medido a 3 m de distancia (de 1.0 m largo de atenuadores de sonido)}$$

Túnel este con control de humo para un fuego de 30 MW

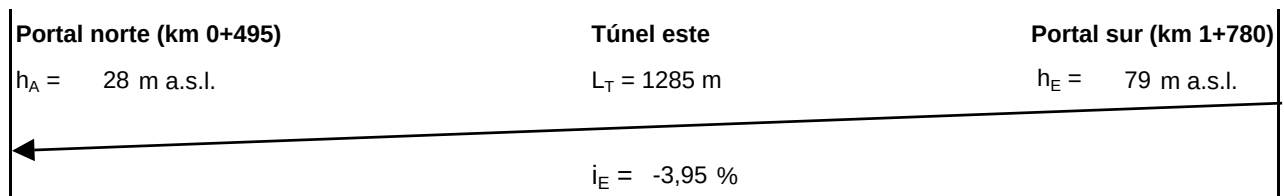
(Tráfico cuesta abajo en una dirección de sur a norte)

Dimensiones del túnel

KM = marcas viales (km)

KM _E =	1780 m	Portal entrada(sur)	KM _A =	495 m	Portal salida (norte)
L _T =	KM _E - KM _A =		1780-495 =	1285 m	Longitud del túnel este
h _E =	79,06 m	Altitud(s.n.m.)	h _A =	28,30 m	Altitud (s.n.m.)
Δh _T =	h _A - h _E =		28.30-79.06 =	-50,76 m	Diferencia de altura (túnel este)
i _T =	100*Δh _T /L _T =		100*(-50.76/1285) =	-3,95 %	Pendiente media túnel este
B _T =	12,40 m	Ancho túnel(este)	H _T =	7,45 m	Altura del túnel este
P _T =				34,24 m	Perímetro del túnel este
A _T =				76,16 m ²	Area de la sección transversal del túnel este
D _T =	4*A _T /P _T =		4*76.16/34.24 =	8,9 m	Diámetro hidráulico del túnel

Esquema del túnel este:



Pronóstico de tráfico para el año 2024:

Spv =	2019 veh/h
S/N =	0,55 % porcentaje de tráfico (sur a norte)
pc =	1738 pcs/h (vehículos ligeros hacia el norte)
bus =	160 autobuses/h (autobuses hacia el norte)
hgv =	121 hgvs/h (vehículos pesados hacia el norte)
v _{pc} =	70 km/h
v _{bus} =	50 km/h
v _{hgv} =	50 km/h

Distribución de vehículos en caso de incendio:

L _{IF} =	485 m	distancia del incendio a la entrada del portal (sur), está simulada como la más desfavorable
t _{delay} =	5 min.	atraso en respuesta del sistema (por reconocimiento de incendio y procesar de datos)
pc _H =	pc*(L _F /v _{pc} /1000+t _{delay} /60) =	1738*(485/70/1000+5/60) = 157 pcs en el túnel este
bus _H =	bus*(L _F /v _{bus} /1000+t _{delay} /60) =	160*(485/50/1000+5/60) = 15 autobuses en el túnel este
hgv _H =	hgv*(L _F /v _{hgv} /1000+t _{delay} /60) =	121*(485/50/1000+5/60) = 11 hgvs en el túnel este

En caso de incendio, todos los vehículos ligeros se ven obligados a estacionar en el carril izquierdo y central (6 m/veh):

$$\begin{aligned} p_{CL} &= & p_{CF}/2 &= & 157/2 &= & 78 \text{ pcs/carril} \\ L_{pc} &= & 6 \cdot p_{CL} &= & 6 \cdot 78 &= & 470,6 \text{ m de carril izquierdo y central bloqueado} \end{aligned}$$

En caso de incendio, todos los autobuses y camiones se ven obligados a estacionar en el carril derecho (18 m/veh):

$$\begin{aligned} L_{hgv} &= & 18 \cdot (\text{bus}_H + \text{hgv}_H) &= & 18 \cdot (15 + 11) &= & 470,6 \text{ m de carril derecho bloqueado} \\ p_{CLB} &= & 1.5 \cdot \text{bus}_H &= & 1.5 \cdot 15 &= & 22 \text{ pcs en carril paralelo con autobuses} \\ p_{CLH} &= & 2.0 \cdot \text{hgv}_H &= & 2.0 \cdot 11 &= & 23 \text{ pcs en carril paralelo con vehíc. pesados} \\ p_{CLP} &= & p_{CL} - p_{CLB} - p_{CLH} &= & 78 - 22 - 23 &= & 34 \text{ pcs sin otros vehículos en carril paralelo} \end{aligned}$$

Lado de barlovento del incendio (corriente de aire entrante)

$$\begin{aligned} KM_H &= & 1295 \text{ m} & \text{ punto salida aire} & KM_E &= & 1780 \text{ m} & \text{ punto entrada de aire} \\ L_F &= & KM_E - KM_H &= & 1780 - 1295 &= & 485 \text{ m} & \text{ longitud de la corriente de la entrada de aire} \\ h_H &= & 59,9 \text{ m} & \text{ s.n.m.} & h_E &= & 79,1 \text{ m} & \text{ s.n.m.} \\ \Delta h_E &= & h_H - h_E &= & 59,9 - 79,1 &= & -19,2 \text{ m} & \text{ carretera en descenso} \\ i_S &= & 100 \cdot \Delta h_E / L_F &= & 100 \cdot (-19,2 / 485) &= & -3,95 \% & \text{ pendiente promedio en tramo entrada de aire} \end{aligned}$$

Lado de sotavento del incendio (corriente de humo saliente):

$$\begin{aligned} KM_A &= & 495 \text{ m} & \text{ punto de salida} & KM_H &= & 1295 \text{ m} & \text{ punto de entrada de humo} \\ L_H &= & KM_H - KM_A &= & 1295 - 495 &= & 800 \text{ m} & \text{ longitud de la corriente de humo} \\ h_A &= & 28,3 \text{ m} & \text{ s.n.m.} & h_H &= & 59,9 \text{ m} & \text{ s.n.m.} \\ \Delta h_A &= & h_A - h_H &= & 28,3 - 59,9 &= & -31,6 \text{ m} & \text{ carretera en descenso} \\ i_N &= & 100 \cdot \Delta h_A / L_H &= & 100 \cdot (31,6 / 800) &= & -3,95 \% & \text{ pendiente promedio en tramo salida de humo} \end{aligned}$$

Tasa de convección de calor:

$$\begin{aligned} R_{hgv} &= & 10 \cdot \text{hgv} \cdot L_T &= & 10 \cdot 121 \cdot 1285 &= & 1555 \text{ hgv} \cdot \text{km/d (túnel este)} & < & 4000 \text{ hgv} \cdot \text{km/d} \\ Q_F &= & 30 \text{ MW} & & & & \text{de acuerdo a normas alemanas (RABT)} \\ V_R &= & 80 \text{ m}^3/\text{h} & & & & \text{caudal de humo en un diseño standard de incendio (en un camión)} \\ L_Z &= & 800 \text{ m} & & & & \text{longitud efectiva de la corriente de gas caliente} \\ \Delta T &= & 65 \text{ K} & & & & \text{elevación media de temperatura de gas caliente} \end{aligned}$$

Velocidad mínima de aire longitudinal requerida:

$$\begin{aligned} i_S &= & i_N &= & -3,95 \% & \text{ inclinación dela carretera} \\ v_k &= & 2,50 \text{ m/s} & & & & \text{velocidad requerida corriente aire para asegurar el retiro del humo cuesta abajo sin reflujos} \\ V_F &= & A_T \cdot v_k &= & 76,16 \cdot 2,5 &= & 190 \text{ m}^3/\text{s} & \text{ caudal de aire tomado desde afuera (portal sur)} \end{aligned}$$

Distribución de humo:

$$\begin{aligned} \rho_N &= & 1,20 \text{ kg/m}^3 & & & & \text{densidad estándar del aire a 1013 mbar, 20°C} \\ T_F &= & 30 \text{ °C} & & 273 + 30 &= & 303 \text{ °K} & \text{ promedio de la temperatura del aire exterior} \end{aligned}$$

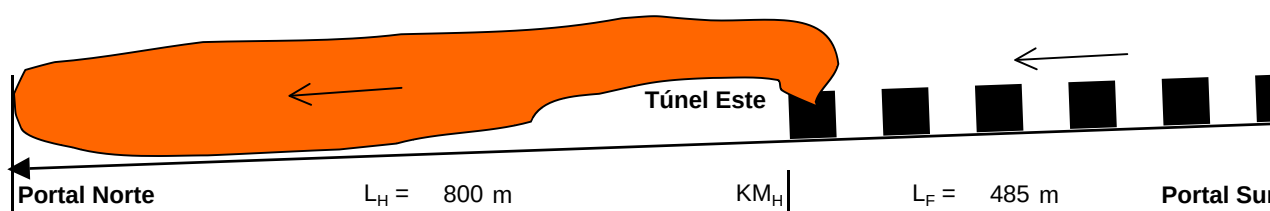
$\rho_F =$	$\rho_N * T_N / T_F =$	$1.2 * 293 / 303 =$	$1,16 \text{ kg/m}^3$	promedio densidad aire exterior a 1013 mbar, 30°C
$L_F =$	485 m			longitud de la corriente de la entrada de aire
$\Delta T_L =$	2 K	$T_L = T_F + \Delta T_L =$	$303 + 2 =$	$305 \text{ }^\circ\text{K}$ temperatura media del aire caliente en el túnel
$\rho_L =$	$\rho_N * T_N / T_L =$	$1.2 * 293 / 305 =$	$1,15 \text{ kg/m}^3$	densidad media del aire en el túnel a 1013 mbar, 32°C
$\Delta T_H =$	65 K	$T_H = T_L + \Delta T_H =$	$305 + 65 =$	$370 \text{ }^\circ\text{K}$ temperatura media del aire y del humo en los 800 m
$\rho_H =$	$\rho_N * T_N / T_H =$	$1.2 * 293 / 370 =$	$0,95 \text{ kg/m}^3$	densidad media del aire y del humo en el túnel
$L_H =$	800 m			longitud distribución del humo caliente en el túnel

Localización del incidente de fuego:

$$KM_H = KM_E - L_F = 1780 - 485 = 1295 \text{ m} \quad (\text{km } 1+295)$$

Nota: Si el fuego está localizado cerca de un portal (< 100 m) entonces el humo correrá directamente a lo abierto

Distribución esquemática del humo:



Fuerzas de ascensión natural:

$$\Delta p_F = g * (\rho_F - \rho_L) * L_F * i_N = 9.81 * (1.16 - 1.15) * 485 * (3.95/100) = -1,4 \text{ Pa}$$

$$\Delta p_H = g * (\rho_F - \rho_H) * L_H * i_S = 9.81 * (1.16 - 0.95) * 800 * (3.95/100) = -65,1 \text{ Pa}$$

$$\text{presión positiva} = \text{corriente inducida por fuerzas de ascensión naturales} \quad \Sigma = -66,6 \text{ Pa}$$

Fuerzas del viento exterior:

$$v_N = 3,50 \text{ m/s} \quad \text{por viento de norte (<95\%)}$$

$$\Delta p_W = -0.5 * \rho_F * v_N^2 = -0.5 * 1.16 * 3.5^2 = -7,1 \text{ Pa}$$

Datos aerodinámicos de los vehículos:

$A_P =$	2,24 m ² pc	(1.6x1.4 m)	secc. transv. del vehículo ligero	$c_{WP} =$	0,4 coef. de resistencia
$A_B =$	6,25 m ²	autobus (2.5x2.5 m)	secc. transv. del autobus	$c_{WB} =$	1,1 coef. de resistencia
$A_H =$	8,75 m ²	hgv (2.5x3.5 m)	secc. transv. del vehículo pesado	$c_{WH} =$	0,9 coef. de resistencia
$c_S =$	0,75	coeficiente de sotavento (en una línea de tráfico o convoy)			

Velocidades de aire y humo en el túnel en función de la sección transversal del tipo de vehículo:

$$v_L = v_k = 2,50 \text{ m/s} \quad \text{velocidad requerida corriente de aire en la sección transversal clara del túnel}$$

$$v_{LP} = v_L * A_T / (A_T - 2 * A_P) = 2.5 * 76.16 / (76.16 - 2 * 2.24) = 2,656 \text{ m/s} \quad \text{velocidad del aire a 2 pcs en paralelo}$$

$$\begin{aligned}
 v_{LB} &= v_L * A_T / (A_T - 2 * A_P - A_B) = 2.5 * 76.16 / (76.16 - 2 * 2.24 - 6.25) = 2,91 \text{ m/s veloc. aire a 2pcs+1bús en paralelo} \\
 v_{LH} &= v_L * A_T / (A_T - 2 * A_P - A_H) = 2.5 * 76.16 / (76.16 - 2 * 2.24 - 8.75) = 3,03 \text{ m/s veloc. aire a 2pcs+1hgv en paralelo} \\
 v_H &= v_L * T_H / T_L = 2.5 * 370 / 305 = 3,03 \text{ m/s veloc. humo sin vehiculos en el túnel}
 \end{aligned}$$

Presión de resistencia vehicular de flujo:

$$\begin{aligned}
 \Delta p_P &= -0.5 * A_P * c_{wp} * c_S * \rho_L * (2 * p_{cLP} * v_{LP}^2 + 2 * p_{cLB} * v_{LB}^2 + 2 * p_{cLH} * v_{LH}^2) / A_T = \\
 (\text{vehículo ligero}) & -0.5 * 2.24 * 0.4 * 0.75 * 1.15 * (2 * 34 * 2.7^2 + 2 * 26 * 2.9^2 + 2 * 17 * 3.03^2) / 76.16 = -6,4 \text{ Pa} \\
 \Delta p_B &= -0.5 * A_B * c_{wb} * c_S * \rho_L * (bus_H * v_{LB}^2) / A_T = \\
 (\text{autobuses}) & -0.5 * 8.75 * 1.1 * 0.75 * 1.15 * (17 * 2.9^2) / 76.16 = -4,9 \text{ Pa} \\
 \Delta p_H &= -0.5 * A_H * c_{wH} * c_S * \rho_L * (hgv_H * v_{LH}^2) / A_T = \\
 (\text{vehículo pesado}) & -0.5 * 8.75 * 0.9 * 0.75 * 1.15 * (8 * 3.03^2) / 76.16 = -4,6 \text{ Pa} \\
 \Sigma &= -16,0 \text{ Pa}
 \end{aligned}$$

Perdida de presión por fricción en la pared del túnel:

$$\begin{aligned}
 \Delta p_R &= -0.5 * \lambda * \{ \rho_L * [4 * p_{cLP} * v_{LP}^2 + 8 * bus_H * v_{LB}^2 + 8 * hgv_H * v_{LH}^2 + (L_F - 4 * p_{cLP} - 8 * bus_H - 8 * hgv_H) * v_L^2] + L_H * \rho_H * v_H^2 \} / D_T = \\
 & -0.5 * 0.015 * \{ 1.15 * [4 * 34 * 2.7^2 + 8 * 17 * 2.9^2 + 8 * 8 * 3.03^2 + (485 - 4 * 34 - 8 * 17 - 8 * 8) * 2.5^2] + 800 * 0.95 * 3.03^2 \} / 8.9 = -9,5 \text{ Pa}
 \end{aligned}$$

Pérdidas de presión de aire en la entrada y salida:

$$\begin{aligned}
 \Delta p_E &= -0.5 * \rho_F * \zeta_E * v_L^2 = -0.5 * 1.16 * 0.6 * 2.5 = -2,2 \text{ Pa} \\
 \Delta p_A &= -0.5 * \rho_H * \zeta_A * v_H^2 = -0.5 * 0.95 * 1.0 * 3.03 = -4,4 \text{ Pa}
 \end{aligned}$$

$$\text{Suma de todas las pérdidas de presión: } \Sigma \Delta p = -105,6 \text{ Pa}$$

Fuerza requerida de inducción del aire:

$$F_T = -A_T * \Sigma \Delta p = -76.16 * (-105.6) = 8045 \text{ N}$$

El diseño y selección de los ventiladores de propulsión serán hechos en base a la densidad y velocidad local del aire.

La propulsión nominal requerida de los ventiladores debe considerar las disposiciones locales y eficiencia de corriente.

Selección de los ventiladores de propulsión

La selección del ventilador debe considerar su localización y como ser instalación en la bóveda del túnel.

En este caso se consideran 23 lugares, 1 para cada ventilador: $n_{DN} = 23 \text{ VP}$

Los ventiladores deben ser distribuidos de forma equitativa en el túnel.

Lado de barlovento del incendio (sección aire entrante)

$$F_1 = -F_T/n_{DN}/\eta_E/\cos(\gamma) = 8045/23/0,91/\cos(0^\circ) = 384 \text{ N at } 305^\circ\text{K} = 32^\circ\text{C}$$

$\eta_E = 0,91$ eficiencia de la instalación

$\gamma = 0^\circ$ ángulo entre la tobera soplante y el eje del túnel

Lado de sotavento del incendio (sección aire saliente):

$$F_2 = -F_T/n_{DN}/\eta_E/\cos(\gamma) = 8045/23/0,91/\cos(0^\circ) = 384 \text{ N a } 370^\circ\text{K} = 97^\circ\text{C}$$

$\eta_E = 0,91$ eficiencia de instalación

$\gamma = 0^\circ$ ángulo entre la tobera soplante y el eje del túnel

Propulsión requerida de los turboventiladores con valores medios de la corriente

Los ventiladores seleccionados deben ser de igual tipo y tamaño. Por esto la propulsión del ventilador se determinará mediante un cálculo de la temperatura, densidad y velocidad medias de la corriente

$$T_M = (T_L + T_C)/2 = (305 + 370)/2 = 338^\circ\text{K} \quad (\text{temp. media de la corriente})$$

$$v_M = (v_L + v_C)/2 = (2.5 + 3.03)/2 = 2,77 \text{ m/s} \quad (\text{veloc. media de la corriente})$$

$$F_M = -F_T/n_{DN}/\eta_E/\cos(\gamma) = 8045/23/0.91/\cos(0^\circ) = 384 \text{ N a } 338^\circ\text{K} = 65^\circ\text{C}$$

$$F_N = F_M * T_M/T_L = 384 * 338/293 = 443 \text{ N a } 293^\circ\text{K} = 20^\circ\text{C}$$

Propulsión nominal

$$F_S = F_N * v_{ST}/(v_{ST} - v_M) = 443 * 25.6/(25.6 - 2.77) = 496 \text{ N para cada ventilador de propulsión}$$

$v_{ST} = 25,6 \text{ m/s}$ velocidad nominal de la corriente en la tobera de soplante de un diámetro de 900 mm

Datos del turboventilador

$N_{ST} = 23$ ventiladores de propulsión más 1 en stand-by (por seguridad) = 24 VP (túnel este)

$D_{ST} = 900 \text{ mm}$ diámetro nominal seleccionado de la tobera de soplar

$n_{ST} = 1725 \text{ Upm}$

$f = 60 \text{ Hz}$

$U = 480 \text{ V}$

$F_{ST} = 500 \text{ N}$ propulsión nominal por ventilador con 25.6 m/s velocidad de corriente en la tobera a 20°C

$N_{ST} = 11 \text{ kW}$ potencia nominal del motor del ventilador (con control de velocidad variable por FCU)

$I = 21,5 \text{ A}$

$L_{PM} = 79 \text{ dB(A)}$ medido a 3 m de distancia (de 1.0 m largo de atenuadores de sonido)

Datum: 03.02.2005

DATENBLATT FÜR STRAHLVENTILATOR

Postfach 2262 D-25412 Pinneberg, Tel.: +49 (41 01) 70 07-0 Fax: +49 (41 01) 70 07-30

KUNDE:

Lahmeyer International

Friedberger Straße 173
61118 Bad Vilbel

IHR ZEICHEN: Herr Hinrich Rottmann

ANFRAGE: vom 03.02.2005
430058

PROJEKT: Tunnel San Eduardo

I/BEZ.:

Pos.:

1

Stück.:

11

ANGEBOTS-NR.:

01020505R2

BEARBEITER: Modell/Grönwold
+49 (41 01) 70 07 22/ 93

03.02.2005 15:22:18 / hg93

Typ : A-N8L5/V1.0/800/GT/6V4A

TECHNISCHE DATEN

	vorwärts	rückw.	mittel
Dichte	ρ 1.2		kg/m³
Nominalschub , stillst. Luft	TN		N
Schub ,stillstehende Luft	T 180		N
Schub ,bewegte Luft	Tred		N
Leistungsbedarf an Welle	Pw 2.7		kW
el. Leistungsaufnahme	Pel 3.4		kW
Ausblasgeschwindigkeit	u 17.2		m/s
Hintergrundgeschw.	c		m/s
Volumenstrom	V 8.7		m³/s
Drehzahl	n 1150		1/min
Lp, 45°, 3m, Freifeld	Lp 67		dB(A)
Ventilator Masse (o. Motor)	Mv 315,6		kg

☐ für Drehzahlregelung : Resonanzdrehzahlen sperren

MOTOR

Fabrikat Standard IEC Motor

Typ/Baugröße / 132S

Bemessungsspannung U/Frequenz f V/Hz 3x480 / 60

Bemessungsdrehzahl n ca. 1/min 1150

Bemessungsleistung P kW 3

Bauform/Schutzart B5 / IP55

Motorflansch-Lochkreis M= 265 mm

Motormasse ca. kg 59

Klassifikation/Behörde/Vorschrift DIN VDE 0530

Wärmeklasse/genutzt H/B

Bemessungsstrom/Anzugsstrom ca. A 6,5 / 5-fach

Wirkungsgrad / cos phi 79,00 / 0,76

☐ Ex-Schutz

☐ Polumschaltbar

☒ Direkt-Anlauf

☐ Thermistorschutz

☐ Stillstandheizung

☒ herausgeführtes Kabel oben /Lage B-Seite

☒ 1 zusätzliches loses Leistungsschild

☒ Temperaturbeständigkeit 250°C/90 min

SONSTIGES

Dokumentation

Rechtsgrundlagen : Freibleib. Toleranzen nach ISO 13350

Allgemeine Lieferbedingungen der Elektroindustrie, Jan. 02

einschl. erweitertem Eigentumsvorbehalt III. Zahlungs-

bedingungen vorbehaltlich positiver Atradius Kreditversicherung AG

STRAHLVENTILATOR

Wanddicke 6 mm

☒ Temperaturbeständigkeit: 250°C, 90 min

☐ Reversierbarer Betrieb

☒ Laufradflügel im Stillstand verstellbar

HAUPTWERKSTOFFE

Laufrad, Hauptmat. Aluminiumguss, stahlarmiert (N-S)

Motorhalterung X6CrNiMoTi17-12-2 = 1.4571 (V4A)

Schacht X6CrNiMoTi17-12-2 = 1.4571 (V4A)

OBERFLÄCHENSCHUTZ

Laufrad A8- Al.-Guß geputzt, Schaufelbolzen Zinkprimer

Schacht Schweißnähte passiviert

SCHALLDÄMPFER

Nennweite 800 mm

Länge 1000 mm

Wandstärke Gehäuse 1,5 mm

Wandstärke Lochblech 1,0 mm

☒ Eintrittsschalld. mit Düse, Austrittsschalld. mit Abrisskante

☐ Beide Schalldämpfer mit Düse für Schubumkehr

Mineralwolle nicht entflammbar Kl. A2, DIN4102 T1

Schalldämpfergewicht 2 x 83 kg

HAUPTWERKSTOFFE

Gehäuse X6CrNiMoTi17-12-2 = 1.4571 (V4A)

Lochblech X6CrNiMoTi17-12-2 = 1.4571 (V4A)

OBERFLÄCHENSCHUTZ

Gehäuse Schweißnähte passiviert

Lochblech kein Anstrich

AUFHÄNGUNG

HAUPTWERKSTOFFE

X6CrNiMoTi17-12-2 = 1.4571 (V4A)

OBERFLÄCHENSCHUTZ

Schweißnähte passiviert

☒ Motor

☒ 2 x Schalldämpfer

☐ Schutzgitter SS

☐ Schutzgitter DS

☒ 1 x Klemmenkasten aussen IP65

☒ 1 x Montagefüße 1.4571, Tunnelausführung

LOSTEILE

☒ 1 x Aufhängung

☒ 4 x Schwingungsdämpfer

☒ 1 x Abrißüberwachung 14571 (inkl. Taster)

☒ 1 x Fangseile aus Edelstahl 1.4401

☒ 1 x Typentest, intern inkl. Messprotokoll

Gesetzl. Gewährleistung:

12 Monate nach Lieferung, Verschleißteile max. 6 Monate
Auskunft.

Datum: 03.02.2005

DATENBLATT FÜR STRAHLVENTILATOR

Postfach 2262 D-25412 Pinneberg, Tel.: +49 (41 01) 70 07-0 Fax: +49 (41 01) 70 07-30

KUNDE: Lahmeyer International	ANFRAGE: vom 03.02.2005 430058	Pos.: 2	ANGEBOTS-NR.: 01020505R2
Friedberger Straße 173 61118 Bad Vilbel	PROJEKT: Tunnel San Eduardo	Stück.: 25	BEARBEITER: Modell/Grönwold +49 (41 01) 70 07 22/ 93
IHR ZEICHEN: Herr Hinrich Rottmann	I/BEZ.:	03.02.2005 15:22:18 / hg93	

Typ : A-N8L5/V0.5/900/GT/6V4A

TECHNISCHE DATEN

	vorwärts	rückw.	mittel
Dichte	ρ 1.2		kg/m³
Nominalschub , stillst. Luft	TN		N
Schub ,stillstehende Luft	T 500		N
Schub ,bewegte Luft	Tred		N
Leistungsbedarf an Welle	Pw 9.8		kW
el. Leistungsaufnahme	Pel 11.0		kW
Ausblasgeschwindigkeit	u 25.6		m/s
Hintergrundgeschw.	c		m/s
Volumenstrom	V 16.3		m³/s
Drehzahl	n 1750		1/min
Lp, 45°, 3m, Freifeld	Lp 79		dB(A)
Ventilatormasse (o. Motor)	Mv 404,9		kg

☒ für Drehzahlregelung : Resonanzdrehzahlen sperren

MOTOR

Fabrikat	Standard IEC Motor
Typ/Baugröße	/ 160M
Bemessungsspannung U/Frequenz f	V/Hz 3x480 / 60
Bemessungsdrehzahl n ca.	1/min 1750
Bemessungsleistung P	kW 11
Bauform/Schutzart	B5 / IP55
Motorflansch-Lochkreis	M= 300 mm
Motormasse ca.	kg 108
Klassifikation/Behörde/Vorschrift	DIN VDE 0530
Wärmeklasse/genutzt	H/B
Bemessungsstrom/Anzugsstrom ca.	A 17,9 / 6,2-fach
Wirkungsgrad / cos phi	89,00 / 0,84
☐ Ex-Schutz	
☐ Polumschaltbar	
☒ Direkt-Anlauf	
☐ Thermistorschutz 3-fach	
☐ Stillstandheizung	
☒ herausgeführtes Kabel oben /Lage B-Seite	
☒ 1 zusätzliches loses Leistungsschild	
☒ Temperaturbeständigkeit 250°C/90 min	
☒ Geeignet für den Betrieb am FU	

SONSTIGES

Dokumentation

Rechtsgrundlagen : Freibleib. Toleranzen nach ISO 13350
Allgemeine Lieferbedingungen der Elektroindustrie, Jan. 02
einschl. erweitertem Eigentumsvorbehalt III. Zahlungs-
bedingungen vorbehaltlich positiver Atradius Kreditversicherung AG

STRAHLVENTILATOR

Wanddicke 6 mm

- ☒ Temperaturbeständigkeit: 250°C, 90 min
- ☐ Reversierbarer Betrieb
- ☒ Laufradflügel im Stillstand verstellbar

HAUPTWERKSTOFFE

Laufrad, Hauptmat.	Aluminiumguss, stahlarmiert (N-S)
Motorhalterung	X6CrNiMoTi17-12-2 = 1.4571 (V4A)
Schacht	X6CrNiMoTi17-12-2 = 1.4571 (V4A)

OBERFLÄCHENSCHUTZ

Laufrad	A8- Al.-Guß geputzt, Schaufelbolzen Zinkprimer
Schacht	Schweißnähte passiviert

SCHALLDÄMPFER

Nennweite	900 mm
Länge	1000 mm
Wandstärke Gehäuse	1,5 mm
Wandstärke Lochblech	1,0 mm
☒ Eintrittsschalld. mit Düse, Austrittsschalld. mit Abrisskante	
☐ Beide Schalldämpfer mit Düse für Schubumkehr	
Mineralwolle nicht entflammbar Kl. A2, DIN4102 T1	
Schalldämpfergewicht	2 x 98 kg

HAUPTWERKSTOFFE

Gehäuse	X6CrNiMoTi17-12-2 = 1.4571 (V4A)
Lochblech	X6CrNiMoTi17-12-2 = 1.4571 (V4A)

OBERFLÄCHENSCHUTZ

Gehäuse	Schweißnähte passiviert
Lochblech	kein Anstrich

AUFHÄNGUNG

HAUPTWERKSTOFFE

X6CrNiMoTi17-12-2 = 1.4571 (V4A)

OBERFLÄCHENSCHUTZ

Schweißnähte passiviert

- ☒ Motor
- ☒ 2 x Schalldämpfer
- ☐ Schutzgitter SS
- ☐ Schutzgitter DS
- ☒ 1 x Klemmenkasten aussen IP65
- ☒ 1 x Montagefüße 1.4571, Tunnelausführung

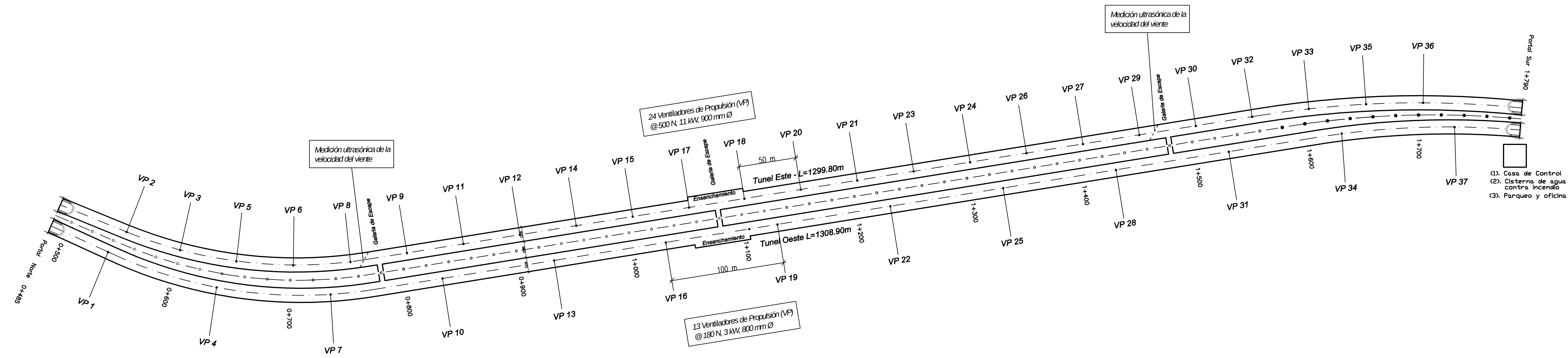
LOSTEILE

- ☒ 1 x Aufhängung
- ☒ 4 x Schwingungsdämpfer
- ☒ 1 x Abrißüberwachung 14571 (inkl. Taster)
- ☒ 1 x Fangseile aus Edelstahl 1.4401
- ☒ 1 x Typentest, intern ink. Messprotokoll

Gesetzl. Gewährleistung:

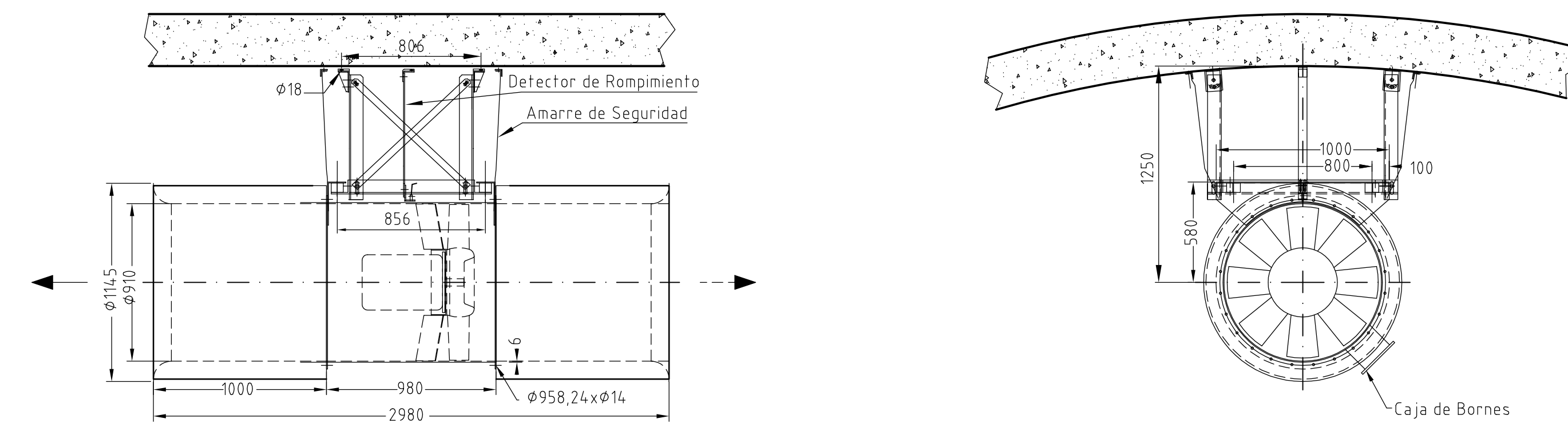
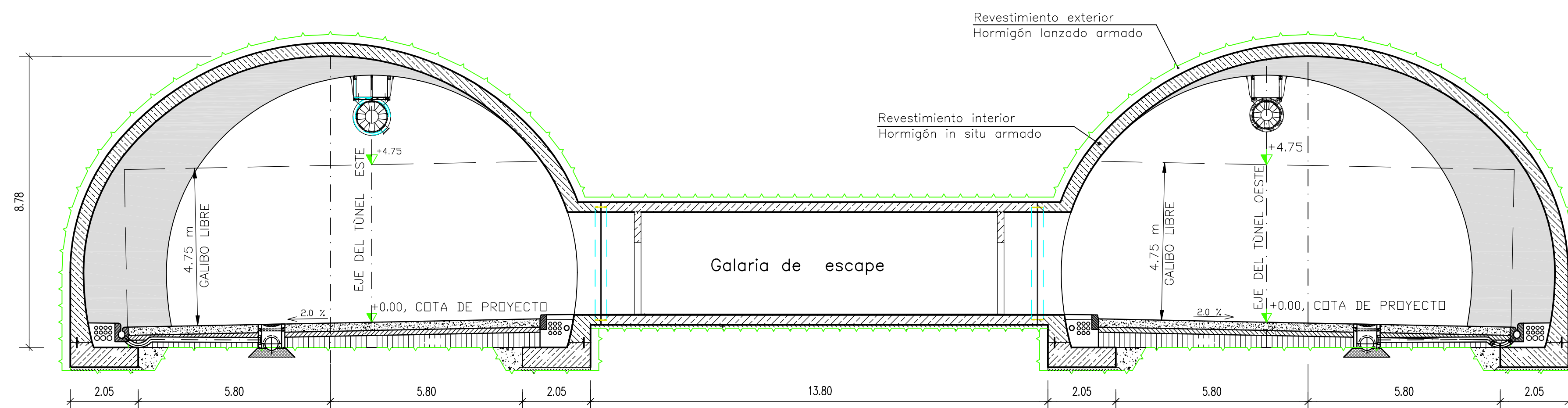
12 Monate nach Lieferung, Verschleißteile max. 6 Monate
Auskunft.

Planta, Instalación de los Ventiladores en los Túneles

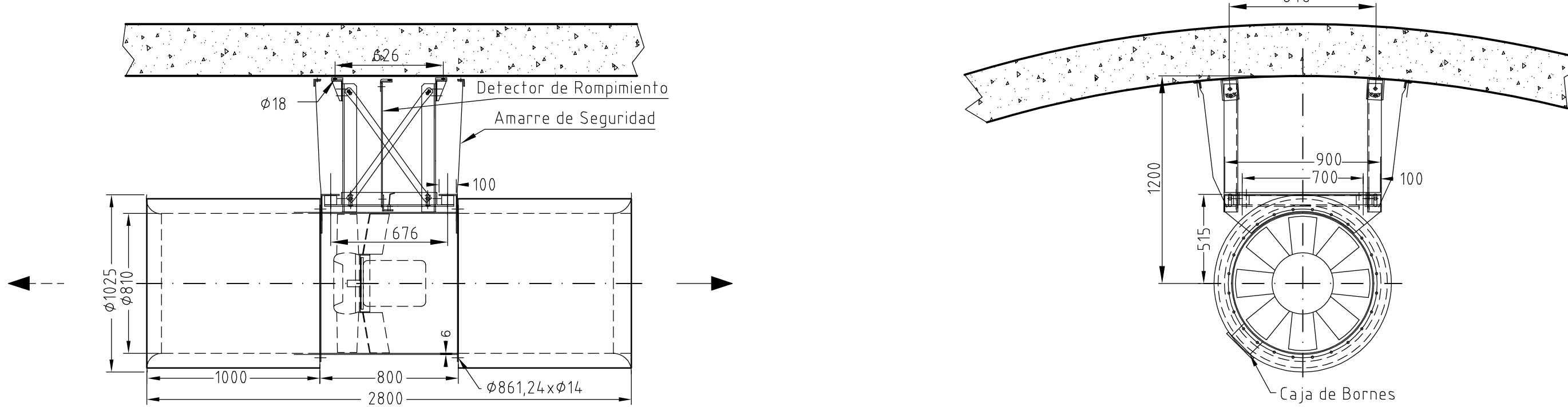


Detalle del Ventilador de Propulsión para el Tubo Este

Sección en Ensanchamiento para Paradero de Emergencia



Detalle del Ventilador de Propulsión para el Tubo Oeste

[illegible]