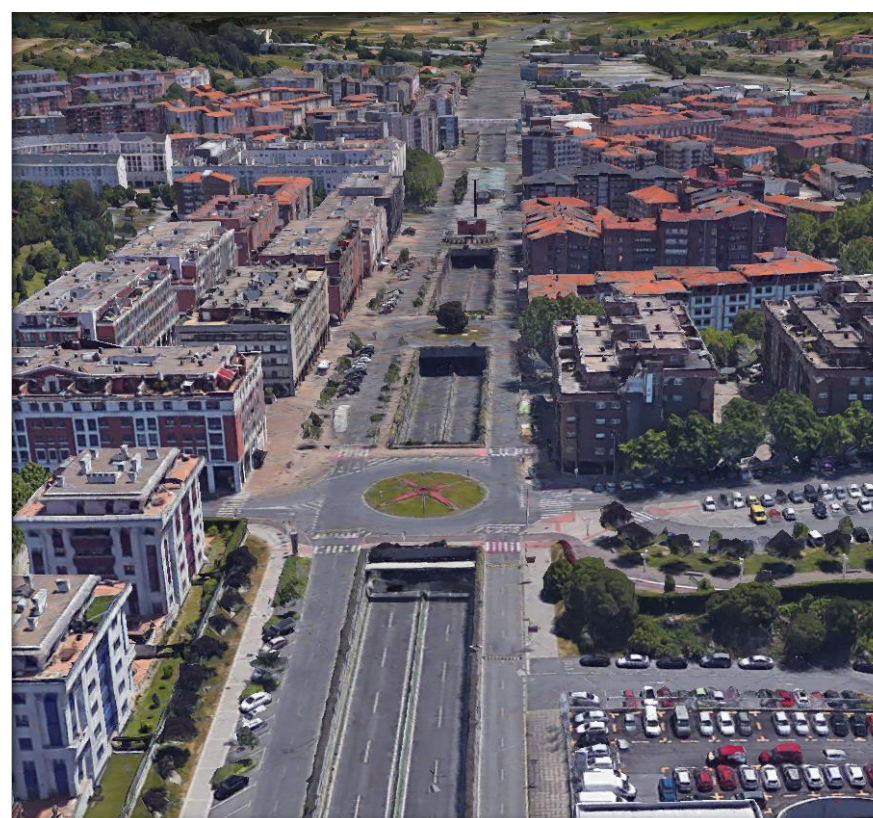


PROYECTO CONSTRUCTIVO DE ADECUACIÓN DEL TÚNEL DE LA AVANZADA EN LA BI-637
Nº EX.: 2020/004/073/10

PROYECTO DE ADECUACIÓN DEL TÚNEL DE LA AVANZADA EN LA BI-637



Anejo 12 - Análisis de Riesgos

Anejo 12. Análisis de Riesgos

Control de firmas

Realizado	Aprobado
Ion Berganza Larrañaga	Jorge Alcalde Bezhold
Fecha y Firma	Fecha y Firma
No precisa firma si está aprobado electrónicamente mediante ruta	

Información del Documento	
Código Documento	P0210L59-ATA-AP-GB-AN-0012
Referencia	P0210L59

Registro de cambios				
Rev	Fecha	Autor	Sección afectada	Cambios
00	27/05/2021	Ion Berganza Larrañaga	Todas	Versión Inicial
01	20/10/2021	Ion Berganza Larrañaga	Todas	Actualización

Anejo 12. Análisis de Riesgos

INDICE

1	INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	6
1.1	Abreviaturas y acrónimos	6
2	CARACTERÍSTICAS DEL TÚNEL	7
2.1	Datos principales	7
2.2	Características geométricas	7
2.3	Equipamiento e infraestructura	7
3	DESVIACIONES CON RESPECTO A LAS INSTRUCCIONES TÉCNICAS	8
4	ESTUDIO DE TRÁFICO	8
4.1	Fuente	8
4.2	Tráfico en el Túnel de la Avanzada	9
4.2.1	Tráfico actual	9
4.2.2	Proyección de tráfico	9
4.2.3	Tráficos considerados	10
4.3	Distribución horaria de tráfico	10
4.3.1	Tráfico horario en la estación de referencia	10
4.3.2	Tráfico horario considerado	11
4.3.3	Tráfico horario por sentidos considerado	11
5	ANÁLISIS DE RIESGO POR EL MÉTODO GENERAL	13
5.1	Metodología	13
5.1.1	Modelo de riesgo del túnel	13
5.1.2	Modelo de ventilación	16
5.1.3	Modelo de comportamiento de los usuarios	17
5.2	Información y datos empleados	18
5.2.1	Sección transversal	18
5.2.2	Datos del tráfico	19
5.2.3	Servicios de emergencia	20
5.2.4	Escenarios	20
5.2.5	Probabilidad de ocurrencia de cada escenario	20
5.2.6	Posicionamiento del incendio en el túnel	21
5.2.7	Modelo de ventilación	21
5.3	Análisis del Túnel Real	22
5.3.1	Características del túnel	22
5.3.2	Determinación del factor corrector del coeficiente de riesgo	23
5.3.3	Determinación de usuarios afectados	25
5.3.4	Criterios modificadores adicionales	25
5.3.5	Proceso de evacuación de usuarios	26
5.3.6	Cálculo del coeficiente de riesgo del túnel real, CR _{TR}	30
5.4	Análisis del Túnel Virtual	30
5.4.1	Características del túnel en aplicación de la Normativa Foral	30
5.4.2	Determinación del factor corrector del coeficiente de riesgo	31
5.4.3	Determinación de usuarios afectados	32
5.4.4	Criterios modificadores adicionales	33
5.4.5	Proceso de evacuación de usuarios	33

5.4.6	Cálculo del coeficiente de riesgo del túnel virtual, CR _{TV}	36
5.5	Índice de riesgo y calificación del túnel	37
6	ANÁLISIS DE RIESGO POR EL MÉTODO DE MERCANCÍAS PELIGROSAS	37
6.1	Documentación y normativa de referencia	37
6.1.1	Metodología de análisis de riesgo en túneles de la Red de Carreteras de Bizkaia	37
6.1.2	Metodología de análisis de riesgo en túneles de la Red de Carreteras del Estado	37
6.1.3	ADR	38
6.2	Cálculo del riesgo social de paso de mercancía peligrosas a través del túnel de La Avanzada	38
6.2.1	Introducción	38
6.2.2	Datos de tráfico	38
6.2.3	Datos de partida	40
6.2.4	Análisis de riesgo mediante QRAM	44
6.3	Resultados y evaluación del riesgo	49
7	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS Y CONCLUSIONES	50

APÉNDICE 1: INPUTS DGQRAM - ESCENARIO 1: AVAN_T3_3P

APÉNDICE 2: INPUTS DGQRAM - ESCENARIO 2: AVAN_T3_3P_T

APÉNDICE 3: INPUTS DGQRAM - ESCENARIO 3: AVAN_T3_1P

APÉNDICE 4: INPUTS DGQRAM - ESCENARIO 4: AVAN_T3_1P_T

FIGURAS

Figura 1:	Estaciones de aforo en la BI-637	8
Figura 2:	Registro histórico de tráfico en la estación 84A de la BI-637	9
Figura 3:	Registro histórico de tráfico en la estación 83A de la BI-637	9
Figura 4:	Proyección de tráfico en la estación 84A de la BI-637	10
Figura 5:	Proyección de tráfico en la estación 83A de la BI-637	10
Figura 6:	Variación horaria del tráfico en la estación permanente 81A la BI-637	10
Figura 7:	Variación horaria del tráfico en la estación permanente 81A1 y 81A2 la BI-637	11
Figura 8:	Tráfico horario obtenido en las estaciones de aforo de la Avanzada (Año 2049)	11
Figura 9:	Tráfico horario estimado en las estaciones de aforo de la Avanzada - Año 2049	12
Figura 10:	Planta del túnel y salidas de emergencia	13
Figura 11:	Escenario 1	14
Figura 12:	Escenario 2	14
Figura 13:	Escenario 3	15
Figura 14:	Escenario 4	15
Figura 15:	Escenario 5	15
Figura 16:	Sección tipo propuesta	19
Figura 17:	Posicionamiento del incendio en el túnel real	21
Figura 18:	Posicionamiento del incendio en el túnel virtual	21

Anejo 12. Análisis de Riesgos

Figura 19: Gráfica de autoevacuación túnel real sentido Bilbao, Escenario 1	26
Figura 20: Gráfica de autoevacuación túnel real sentido Bilbao, Escenario 2	26
Figura 21: Gráfica de autoevacuación túnel real sentido Bilbao, Escenario 3	27
Figura 22: Gráfica de autoevacuación túnel real sentido Bilbao, Escenario 5	28
Figura 23: Gráfica de autoevacuación túnel real sentido Getxo, Escenario 1	28
Figura 24: Gráfica de autoevacuación túnel real sentido Getxo, Escenario 2	28
Figura 25: Gráfica de autoevacuación túnel real sentido Getxo, Escenario 3	29
Figura 26: Gráfica de autoevacuación túnel real sentido Getxo, Escenario 4	29
Figura 27: Gráfica de autoevacuación túnel real sentido Getxo, Escenario 5	29
Figura 28: Gráfica de autoevacuación túnel virtual Escenario 1, ambos sentidos	34
Figura 29: Gráfica de autoevacuación túnel virtual Escenario 2, ambos sentidos	34
Figura 30: Gráfica de autoevacuación túnel virtual Escenario 3, ambos sentidos	35
Figura 31: Gráfica de autoevacuación túnel virtual Escenario 4, ambos sentidos	35
Figura 32: Gráfica de autoevacuación túnel virtual Escenario 5, ambos sentidos	36
Figura 33: Itinerario para el Análisis de Riesgo de Mercancías Peligrosas	38
Figura 34: Malla de población considerada para el Periodo Valle	41
Figura 35: Malla de población considerada para el Periodo Normal	41
Figura 36: Malla de población considerada para el Periodo Punta	41
Figura 37: Ficha de la estación meteorológica C038 - Galindo	42
Figura 38: Rosa de los vientos obtenida en el software QRAM para la estación meteorológica C038	42
Figura 39: Ejemplo de definición geométrica de un túnel	43
Figura 40: Sección tipo del Túnel de La Avanzada	43
Figura 41: Representación del sumatorio de curvas F/N y áreas de aceptabilidad	45
Figura 42: Rectas límite de aceptabilidad de riesgo	45
Figura 43: Curvas F/N Mercancías Peligrosas. Escenario 1: AVAN_T3_3P (Output QRAM)	47
Figura 44: Curvas F/N para todos los escenarios. Escenario 1: AVAN_T3_3P (Output QRAM)	47
Figura 45: Curvas F/N Agrupadas. Escenario 1: AVAN_T3_3P (Output QRAM)	48
Figura 46: Curvas F/N Agrupadas. Escenario 1: AVAN_T3_3P (Output QRAM)	48
Figura 47: Curvas F/N Agrupadas. Escenario 2: AVAN_T3_3P_T (Output QRAM)	48
Figura 48: Curvas F/N Agrupadas. Escenario 3: AVAN_T3_1P (Output QRAM)	49
Figura 49: Curvas F/N Agrupadas. Escenario 4: AVAN_T3_1P_T (Output QRAM)	49

TABLAS

Tabla 1: Lista de abreviaturas y acrónimos	6
Tabla 2: Datos principales del Túnel de La Avanzada	7
Tabla 3: Característica geométricas del Túnel de La Avanzada	7
Tabla 4: Datos de equipamiento del Túnel de La Avanzada	7
Tabla 5: Tráfico y % de pesados en las estaciones de aforo de la BI-637 - Año 2019	9
Tabla 6: Proyección de Tráfico en las estaciones de aforo de la BI-637 - Año 2049	9
Tabla 7: Estimación de Tráfico y % de pesados en las estaciones de aforo de la BI-637 - Año 2049	10
Tabla 8: Estimación del Tráfico horario en las estaciones 84A y 83 ^a (Año 2049)	11
Tabla 9: Estimación del Tráfico horario por sentidos en las estaciones 84A y 83 ^a - Año 2049	12
Tabla 10. Modelos a aplicar para cada túnel dentro del Método General de análisis de riesgo	13
Tabla 11. Probabilidades de ocurrencia	16
Tabla 12. Caudal de humo producido mediante método tabulado	16
Tabla 13. Velocidad del humo en una sección tipo unidireccional y bidireccional	16
Tabla 14. Tiempo de desestratificación y tiempo adicional	16
Tabla 15. Tasa de ocupación de vehículos	17
Tabla 16. Trayectorias de evacuación de usuarios implicados en el incidente	17
Tabla 17. Datos de tráfico año 2019	19
Tabla 18. Datos de tráfico empleados, año horizonte 2049	19
Tabla 19. Factor de proximidad de los servicios de emergencia de la MARTBI	20
Tabla 20. Probabilidad de ocurrencia de cada escenario y cada túnel	20
Tabla 21. Características del túnel real	22
Tabla 22. Velocidades de autoevacuación en el túnel real	25
Tabla 23. Víctimas túnel real, Escenario 1	26
Tabla 24. Víctimas túnel real, Escenario 2	26
Tabla 25. Víctimas túnel real, Escenario 3	27
Tabla 26. Víctimas túnel real, Escenario 4	27
Tabla 27. Víctimas túnel real, Escenario 5	28
Tabla 28. Características del túnel virtual	31
Tabla 29. Víctimas túnel virtual, Escenario 1	34
Tabla 30. Víctimas túnel virtual, Escenario 2	34
Tabla 31. Víctimas túnel virtual, Escenario 3	35
Tabla 32. Víctimas túnel virtual, Escenario 4	35
Tabla 33. Víctimas túnel virtual, Escenario 5	36
Tabla 34. Índice de Riesgo del túnel	37
Tabla 35: Tráfico horario estimado por sentidos y periodos para el QRAM - Año 2049	39
Tabla 36: Tráfico horario estimado por sentidos para el Escenario QRAM en hora punta - Año 2049	39
Tabla 37: Distribución de vehículos pesados según tipología	39

Anejo 12. Análisis de Riesgos

Tabla 38: Tráfico horario estimado de MMPP por sentidos y periodos para el QRAM - Año 2049 39

Tabla 39: Tráfico horario de MMPP por sentidos para el Escenario QRAM en hora punta 39

Tabla 40: Escenarios de QRAM estudiados en el Túnel de la Avanzada 40

Tabla 41: Accidentes con víctimas de Vehículos Pesados en la BI-637 P.K. 9+800 - P.K. 13+400 40

Tabla 42: Ratios considerados para la ocupación de vehículos 41

Tabla 43: Escenarios de QRAM estudiados en el Túnel de la Avanzada 42

Tabla 44: Escenarios de QRAM estudiados en el Túnel de la Avanzada 43

Tabla 45: Escenarios de QRAM estudiados en el Túnel de la Avanzada 46

Tabla 46: Escenarios de accidentes considerados en el QRAM..... 46

Tabla 47: Previsión de víctimas anuales en el túnel, output DG QRAM 46

Tabla 48: Porcentaje de MMPP en la Previsión de víctimas anuales en el túnel 47

Tabla 49. Probabilidad de ocurrencia de cada escenario y cada túnel 50

Tabla 50: Víctimas en los cinco escenarios del túnel real y el virtual 50

Anejo 12. Análisis de Riesgos

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

El 3 de marzo de 2020 la Diputación Foral de Bizkaia publicó el primer documento para licitar los trabajos de ASISTENCIA TÉCNICA PARA LA REDACCIÓN DEL PROYECTO CONSTRUCTIVO DE ADECUACIÓN DEL TÚNEL DE LA AVANZADA EN LA BI- 637, siendo adjudicados el 22 de septiembre del 2020 a SENER, INGENIERÍA Y SISTEMAS, S.A. y formalizándose mediante la resolución 2020-004-073-10.

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares requiere realizar un Análisis de Riesgo, AARR, completo y exhaustivo del que se derivaran las medias a tomar para garantizar la adaptación del túnel a la normativa de seguridad en vigor.

El objetivo principal durante la fase de Proyecto de adecuación túnel La Avanzada, es poder garantizar la seguridad del túnel proyectado, con la cubrición completa y 824 metros de longitud, así como disponer de una herramienta que facilita la toma de decisiones con relación a la infraestructura y sistemas de seguridad a implantar (o descartar). Para ello, se han desarrollado de forma detallada los análisis de riesgo cuantitativos de acuerdo al Borrador de la metodología MARTBI, Decreto Foral de seguridad de túneles en carreteras de Bizkaia, Instrucciones Técnicas de Seguridad y Explotación VIII de Metodología de Análisis de Riesgos de la Red de Carreteras de Bizkaia:

- AARR mediante el método General, en adelante AARR MG.
- AARR mediante el método por el Mercancías Peligrosas - DGQRAM, en adelante AARR MMPP.

El presente anejo detalla inicialmente las caracterizas, infraestructura e instalaciones consideradas en el túnel a la terminación de la remodelación, el análisis del tráfico y la proyección del mismo considerada para posteriormente en los apartados correspondientes se describen los análisis de riesgos detallados. Por último, se incluyen las principales conclusiones obtenidas.

1.1 Abreviaturas y acrónimos

ACRÓNIMO	DESCRIPCIÓN
AARR	Análisis de Riesgo
ACV	Accidentes con víctimas
ADR	Acuerdo Europeo sobre el transporte internacional de cargas peligrosas por vía terrestre
ALARP	As Low As Rational Possible / Tan bajo como razonablemente sea posible
CCTV	Círculo cerrado de televisión
DAI	Detección Automática de Incidentes
DF	Decreto Foral
DG QRAM	Dangerous Goods Quantitative Risk Assessment Model / Modelo Cuantitativo de Evaluación del Riesgo de Mercancías Peligrosas
EV / VE	Expected Value / Valor Esperado
HCM	Highway Capacity Manual
IMD	Intensidad Media Diaria
IML	Intensidad Media Laborable
INE	Instituto Nacional de Estadística
IR	Índice de Riesgo
IT	Instrucción Técnica de Seguridad y Explotación de carreteras de Bizkaia
MARTBI	Metodología de Análisis de Riesgo en Túneles de la Red de Carreteras de Bizkaia
MARTE	Metodología de Análisis de Riesgo en Túneles de la Red de Carreteras del Estado

ACRÓNIMO	DESCRIPCIÓN
MMPP	Mercancías Peligrosas
OECD / OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico
PIARC / AIPCR	Asociación Mundial de la Carretera
PMV	Panel de Mensajería Variable
QRAM	Quantitative Risk Assessment Model / Modelo Cuantitativo de Evaluación del Riesgo
RCE	Red de Carreteras del Estado

Tabla 1: Lista de abreviaturas y acrónimos

Fuente: Elaboración propia

Anejo 12. Análisis de Riesgos

2 CARACTERÍSTICAS DEL TÚNEL

El túnel de Avanzada proyectado dispondrá una longitud total de 824 metros, consta de un único tubo compuesto por dos sentidos de circulación de dos carriles cada uno, separados entre sí por una barrera rígida. Se encuentra en la carretera BI-637, que constituye el eje fundamental a través del cual se articula la margen derecha de la ría, en Área Metropolitana de Bilbao, en el tramo que transcurre desde el nudo de Kukularra, donde enlaza con el Puente de Rontegi y con el Corredor del Txorierri (BI-30) hasta la rotonda de Artaza, desde la cual se prolonga por el Corredor de Uribe-Kosta.

El túnel

2.1 Datos principales

DATOS PRINCIPALES	LA AVANZADA
Tipo de circulación	Bidireccional
Carriles por túnel	2 por sentido
Longitud del túnel (m)	824
Ancho del túnel (m)	16,90
Pendiente ponderada)	2,75%
Pendiente máxima	5,38%
Tipo de pavimento de la calzada	Bituminoso no drenante
Tipo de revestimiento en el tubo	Hormigón

Tabla 2: Datos principales del Túnel de La Avanzada

Fuente: Elaboración propia

2.2 Características geométricas

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS	LA AVANZADA
Ancho de carriles (m)	3,50 carril derecho y 3,30 carril izquierdo
Ancho de arcén derecho (m)	0,50
Ancho de arcén izquierdo (m)	0,50
Ancho de acera derecha (m)	No dispone
Ancho de acera izquierda (m)	No dispone
Gálibo de circulación (m)	4,50
Altura máxima (m)	5,15
Sección (m ²)	87,00

Tabla 3: Característica geométricas del Túnel de La Avanzada

Fuente: Elaboración propia

2.3 Equipamiento e infraestructura

Se han considerado los siguientes datos del equipamiento e infraestructura proyectadas:

EQUIPAMIENTO	LA AVANZADA
Carácter del túnel	Urbano
Direccionalidad de circulación	Unidireccional
Apartaderos	No
Anchura de aceras	No
Salidas de emergencia interiores	Si
Nº de salidas de emergencia	6
Señalización de salidas de emergencia y vías de evacuación	Si
Sistema de ventilación automatizado	Si
Sistema de detección de incendios	Si
Revestimiento hormigón en el túnel	Revestido y con barreras
Explanadas en bocas	No
Centro de Control permanente y vigilado con control de accesos	Si (24h/7días)
Gestionado con dos o más operadores de sala	Si
Protocolos automatizados de incidentes de incendio	Si
Permitido el adelantamiento a los vehículos pesados	Si
Control de radar con posibilidad de sanción	Si, en las aproximaciones
Señal activa de radar en bocas	Si
Drenaje de líquidos tóxicos o inflamables	No
Iluminación de seguridad y evacuación garantizada (SAI + G.E.)	Si
Postes SOS con extintores	Si
Megafonía	En el interior, salidas, vías de evacuación y bocas
Señalización vial obligatoria	Si
Señalización dinámica: PMVs, semáforos, CLVs y AFs	En los accesos
Sistema de cierre de túnel	Semáforos, barreras y AFs bocas con C.Control y DAI
Sistema de detección, clasificación y contaje de vehículos	Si
Conexiones transversales interiores adaptadas para los SSEE	No requiere
Cruce de mediana en las bocas	Si
Doble suministro eléctrico	Si
Mediana en túnel	No requiere
CCTV con DAI	Si
Cámaras térmicas en el interior	Si
Sistema de extinción (BIEs e hidrantes, red propia y extintores)	Si
Semáforos interiores	No requiere
Sistema de radiocomunicaciones para los SSEE	Si
Mensajería de emergencia por canales de radio	Si

Tabla 4: Datos de equipamiento del Túnel de La Avanzada

Fuente: Elaboración propia

3 DESVIACIONES CON RESPECTO A LAS INSTRUCCIONES TÉCNICAS

El túnel tiene incumplimientos con respecto a las Instrucciones Técnicas, estas medidas no requeridas por suponer coste desproporcionado y una compleja ejecución son:

- Instalaciones en las Bocas: debido a la ubicación en el entorno urbano en una zona en trinchera y con vías laterales el túnel no dispone de Apartaderos en Boca.
- Aceras: No dispone de aceras por la sección estricta existente en el túnel.
- Drenaje separativo: El túnel no dispone de un sistema de drenaje de líquidos tóxicos
- Señalización dinámica: PMVs, semáforos, CLVs y AFs

El incumplimiento parcial de la señalización variable según DFST debido a la no existencia de gálibos para la instalación de señalización variable (señales Aspa-Flecha, control de velocidad y PMV) en el interior del túnel.

A lo largo del informe se van evaluando estos apartados cuando es necesario para el cálculo, no obstante, como se indica en las conclusiones se ponen medidas adicionales que concluye que el túnel es seguro.

4 ESTUDIO DE TRÁFICO

4.1 Fuente

Se han tomado como referencia los datos de tráfico de la Serie histórica de Informes "Evolución del tráfico en las carreteras de Bizkaia" publicados desde el año 2002 hasta el año 2019 del Departamento de Infraestructuras y Desarrollo Territorial de la Diputación Foral de Bizkaia.

En la BI-637, en el tramo entre el enlace de Erandio y la rotonda de Artaza existen 3 estaciones de aforo: 81A, 83A Y 84A.

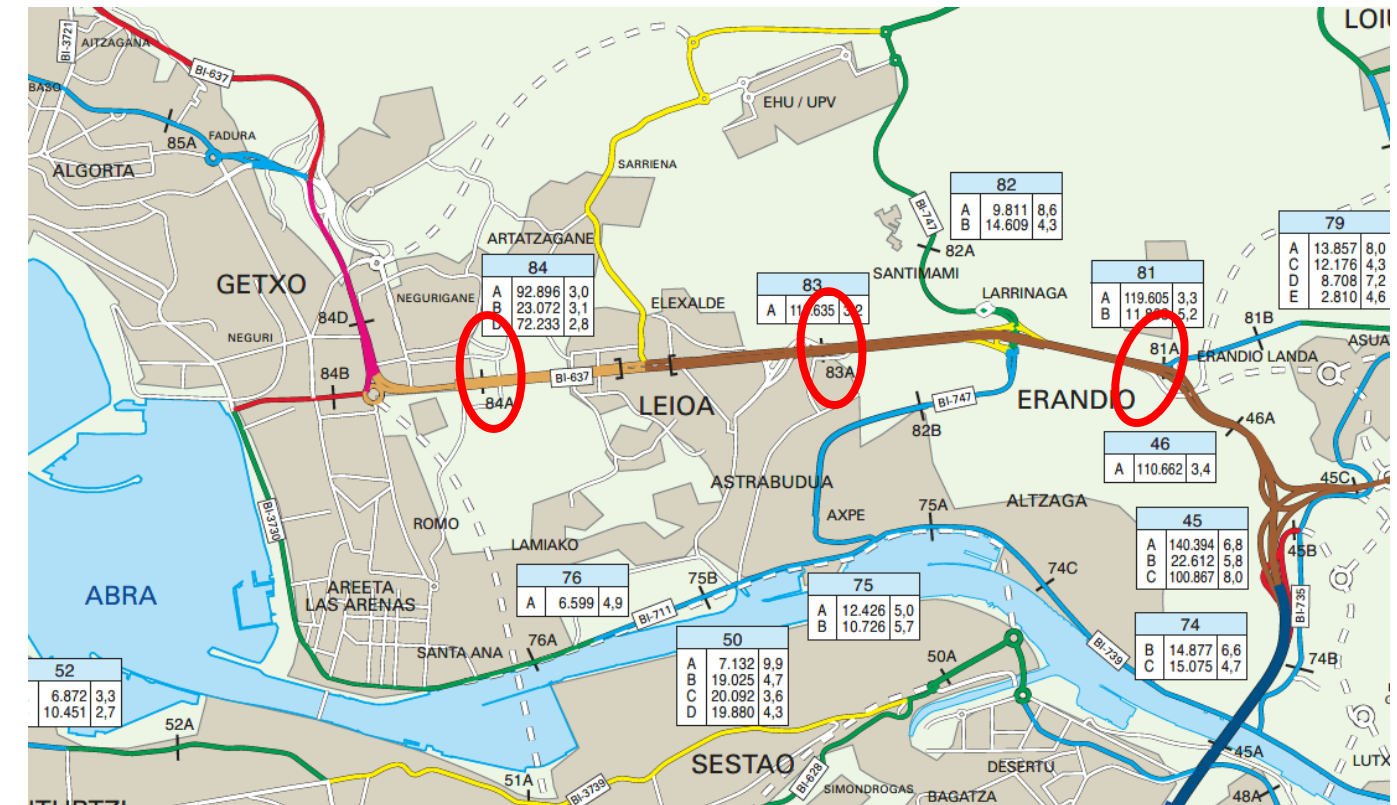


Figura 1: Estaciones de aforo en la BI-637

Fuente: Evolución del tráfico en las carreteras de Bizkaia - Año 2019

Tal y como se indica en MARTBI, se ha realizado el análisis de riesgo para un nivel de tráfico de referencia correspondiente al año horizonte 2049 (20 años después de la entrada en servicio).

En los siguientes apartados se presenta el tráfico actual en las estaciones próximas al túnel de la Avanzada y se realiza una proyección del mismo al año 2049. Además, se presenta la distribución e intensidades horarias para el túnel de la Avanzada en el año 2049, tomando como referencia la distribución horaria de la estación permanente 81A en la BI-637. Al final del apartado se presentan el resumen de los datos considerados en los análisis de riesgos.

Anejo 12. Análisis de Riesgos

4.2 Tráfico en el Túnel de la Avanzada

4.2.1 Tráfico actual

Los datos de tráfico para el año 2019 se presentan en la siguiente tabla.

ESTACIÓN	DÍA MEDIO		DÍA LABORABLE	
	IMD (veh/d)	% PESADOS	IML (veh/d)	% PESADOS
84A	92.896	3,00%	100.236	3,50%
83A	113.365	3,20%	126.446	3,80%

Tabla 5: Tráfico y % de pesados en las estaciones de aforo de la BI-637 - Año 2019

Fuente: Evolución del tráfico en las carreteras de Bizkaia - Año 2019

4.2.2 Proyección de tráfico

En el análisis de riesgos se consideran representativos los tráficos de las estaciones de aforo 83A y 84A.

En ambas estaciones se ha analizado la evolución que han tenido en el histórico de datos de tráfico disponibles los datos de IMD e IML, tanto de vehículos totales como pesados. En las siguientes gráficas se muestran los datos, así como la línea de tendencia logarítmica que se ajusta a los mismos.

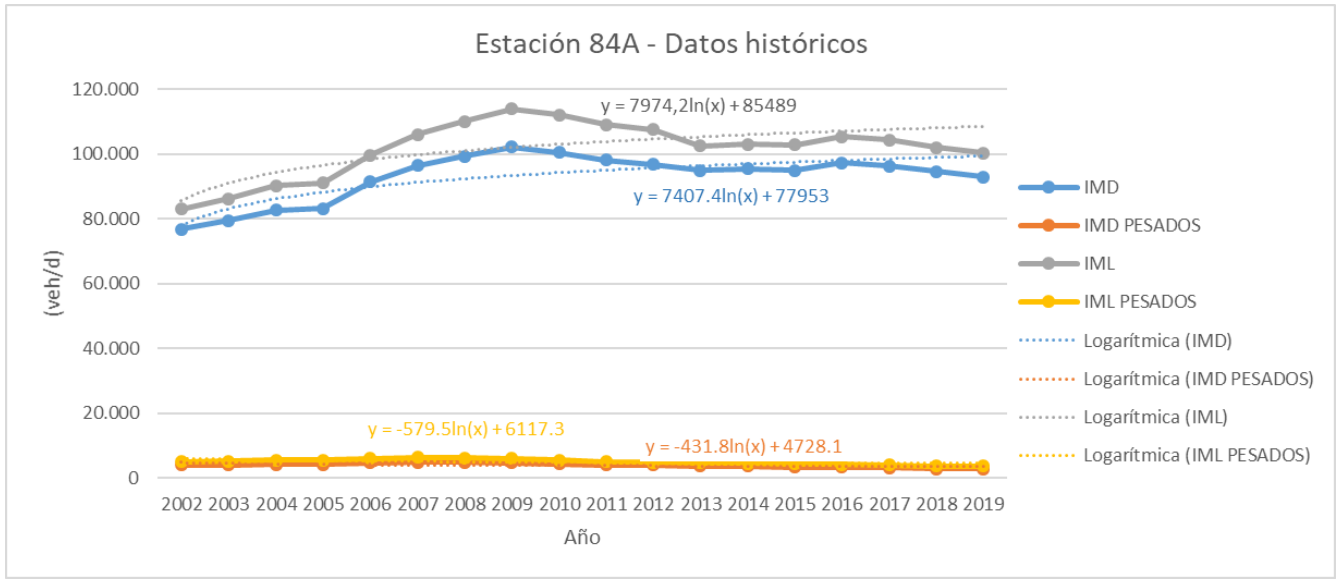


Figura 2: Registro histórico de tráfico en la estación 84A de la BI-637

Fuente: Elaboración propia

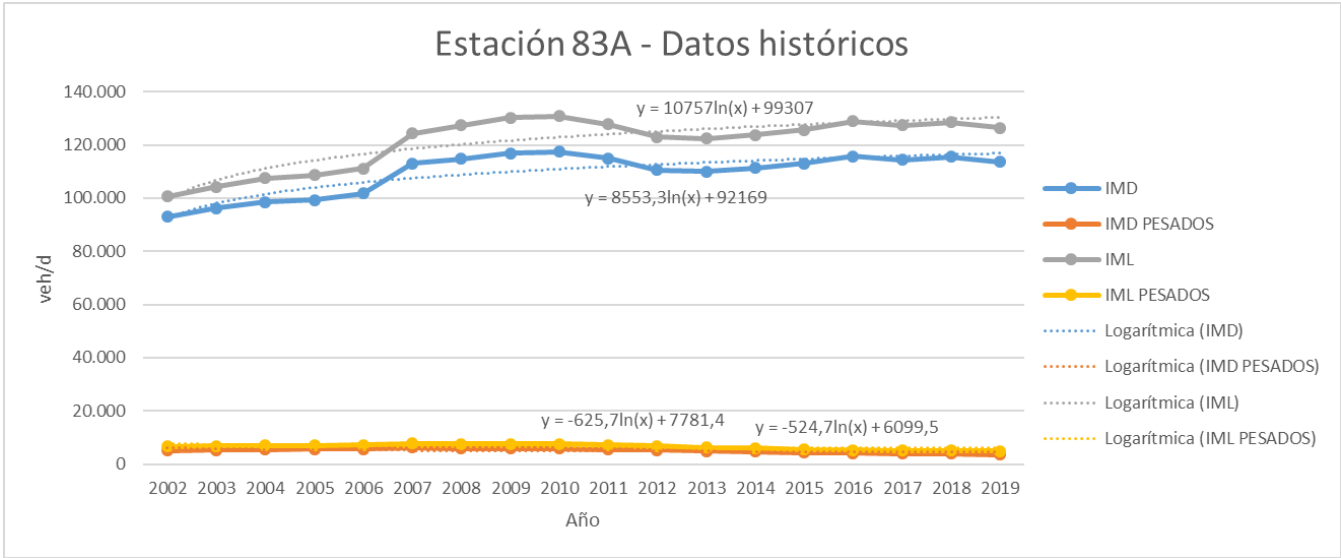


Figura 3: Registro histórico de tráfico en la estación 83A de la BI-637

Fuente: Elaboración propia

A partir de esta tendencia se ha realizado la proyección al año 2049, obteniéndose los siguientes resultados:

	Estación 84A	Estación 83A
AÑO	2049	2049
IMD	106.629	125.281
IMD PESADOS	3.057	4.068
% PESADOS IMD	2,87%	3,25%
IML	116.359	140.950
IML PESADOS	3.874	5.359
% PESADOS IML	3,33%	3,80%

Tabla 6: Proyección de Tráfico en las estaciones de aforo de la BI-637 - Año 2049

Fuente: Elaboración propia

Anejo 12. Análisis de Riesgos

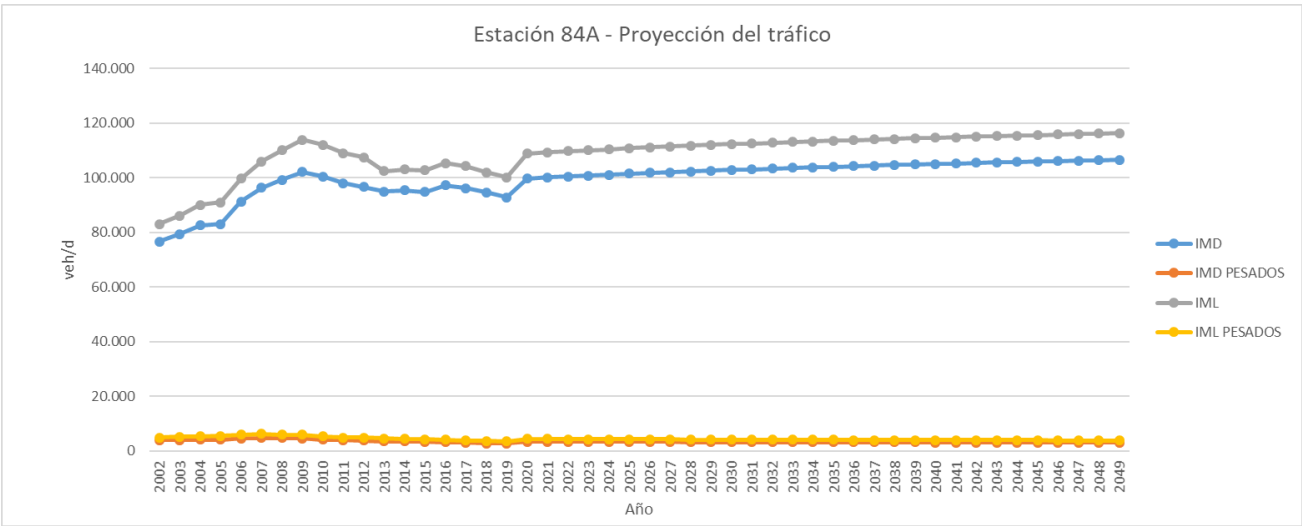


Figura 4: Proyección de tráfico en la estación 84A de la BI-637

Fuente: Elaboración propia

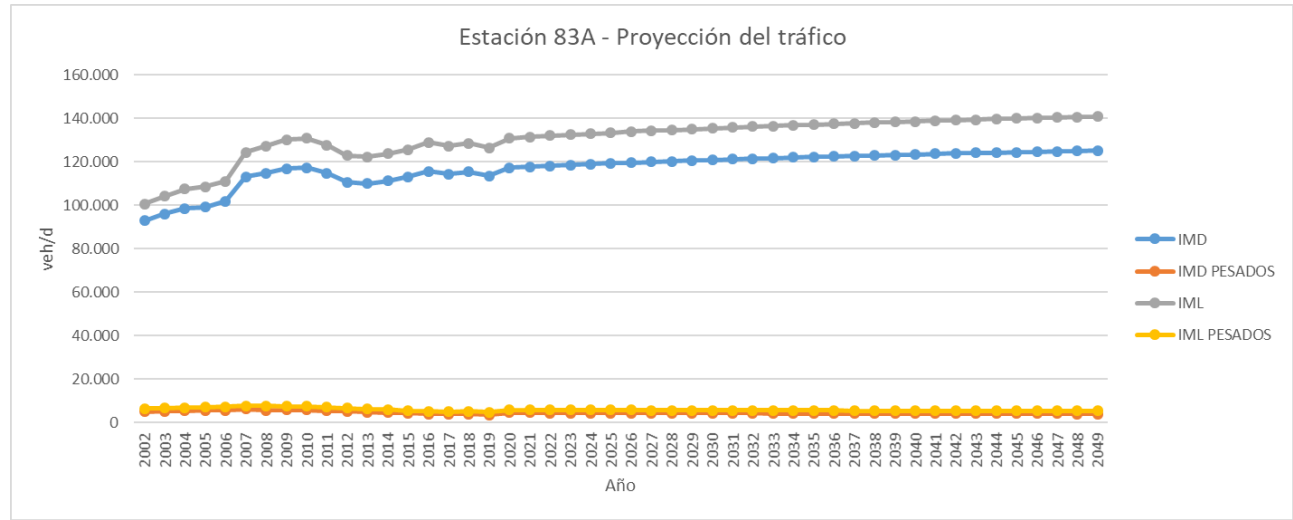


Figura 5: Proyección de tráfico en la estación 83A de la BI-637

Fuente: Elaboración propia

Como puede observarse en los datos y gráficas anteriores, tanto la IMD como la IML en ambas estaciones presentan una tendencia ligeramente ascendente, por lo tanto, se consideran estos datos obtenidos para el análisis de riesgo.

Sin embargo, en el caso de los vehículos pesados, la tendencia de los datos del Libro de Aforos entre 2002 y 2019 es descendente, presentando en el año horizonte 2049 menor porcentaje de vehículos pesados que en la actualidad. Por ello, en el análisis de riesgo se considera el porcentaje de vehículos pesados del año 2019.

4.2.3 Tráficos considerados

Se incluye a continuación la tabla resumen con los valores de tráfico considerados en los análisis de riesgos:

ESTACIÓN	DÍA MEDIO		DÍA LABORABLE	
	IMD (veh/d)	% PESADOS	IML (veh/d)	% PESADOS
84A	106.629	3,00%	116.359	3,50%
83A	125.281	3,20%	140.950	3,80%

Tabla 7: Estimación de Tráfico y % de pesados en las estaciones de aforo de la BI-637 - Año 2049

Fuente: Elaboración propia

4.3 Distribución horaria de tráfico

4.3.1 Tráfico horario en la estación de referencia

Para el cálculo de los periodos se ha empleado la variación horaria de tráfico, correspondiente al año 2019, recogida en la Estación Permanente 81A, localizada en la zona en estudio (carretera BI-637), próxima al enlace de Erandio.

La variación horaria del tráfico en esta estación es la siguiente:

VARIACIÓN HORARIA DEL TRÁFICO								
Estación 81A: R.Erandio-Santimami					Carretera: BI-637			
HORA	DÍA MEDIO		LABORABLES		SÁBADOS		DOMINGOS	
	Vehículos	%	Vehículos	%	Vehículos	%	Vehículos	%
7	1.923	1,61	2.292	1,92	1.180	0,99	850	0,71
8	4.926	4,12	6.408	5,36	1.587	1,33	1.032	0,86
9	6.651	5,56	8.613	7,20	2.474	2,07	1.258	1,05
10	6.505	5,44	7.976	6,67	3.952	3,30	1.855	1,55
11	5.775	4,83	6.458	5,40	5.308	4,44	2.852	2,38
12	6.253	5,23	6.621	5,54	6.527	5,46	4.083	3,41
13	7.000	5,85	7.260	6,07	7.353	6,15	5.252	4,39
14	8.268	6,91	8.848	7,40	7.602	6,36	5.965	4,99
15	9.235	7,72	10.294	8,61	7.475	6,25	5.703	4,77
16	8.122	6,79	9.618	8,04	5.154	4,31	3.728	3,12
17	7.206	6,02	8.442	7,06	4.629	3,87	3.682	3,08
18	8.449	7,06	9.634	8,06	5.923	4,95	5.087	4,25
19	8.411	7,03	9.274	7,75	6.759	5,65	5.724	4,79
20	7.708	6,44	8.230	6,88	6.918	5,78	5.815	4,86
21	7.343	6,14	7.826	6,54	6.675	5,58	5.523	4,62
22	5.796	4,85	5.961	4,98	5.867	4,91	4.802	4,01
23	4.036	3,37	4.168	3,48	4.214	3,52	3.136	2,62
24	2.096	1,75	2.054	1,72	2.646	2,21	1.704	1,42
1	1.233	1,03	903	0,76	1.943	1,62	2.075	1,73
2	713	0,60	425	0,36	1.313	1,10	1.471	1,23
3	414	0,35	240	0,20	765	0,64	887	0,74
4	286	0,24	184	0,15	471	0,39	585	0,49
5	326	0,27	278	0,23	418	0,35	456	0,38
6	931	0,78	1.041	0,87	710	0,59	600	0,50
TOTAL	119.605	100,00	133.049	111,24	97.865	81,82	74.123	61,97

Figura 6: Variación horaria del tráfico en la estación permanente 81A la BI-637

Fuente: Evolución del tráfico en las carreteras de Bizkaia - Año 2019

Anejo 12. Análisis de Riesgos

En la siguiente figura se refleja la variación horaria del tráfico diferenciando cada uno de los sentidos de circulación (sentido Getxo y sentido Bilbao) en la estación 81A:

VARIACIÓN HORARIA DEL TRÁFICO

Estación 81a1: Sentido (Bilbao-Getxo)

Carretera: BI-637

HORA	DÍA MEDIO		LABORABLES		SÁBADOS		DOMINGOS	
	Vehículos	%	Vehículos	%	Vehículos	%	Vehículos	%
7	836	1,44	1.005	1,73	522	0,90	360	0,62
8	2.077	3,58	2.751	4,74	665	1,15	411	0,71
9	3.201	5,52	4.226	7,29	1.160	2,00	564	0,97
10	3.137	5,41	3.888	6,71	1.935	3,34	866	1,49
11	2.759	4,76	3.098	5,34	2.526	4,36	1.342	2,31
12	3.014	5,20	3.192	5,50	3.092	5,33	1.970	3,40
13	3.410	5,88	3.507	6,05	3.554	6,13	2.617	4,51
14	3.989	6,88	4.215	7,27	3.719	6,41	2.995	5,17
15	4.321	7,45	4.727	8,15	3.700	6,38	2.874	4,96
16	3.841	6,62	4.535	7,82	2.527	4,36	1.867	3,22
17	3.564	6,15	4.197	7,24	2.284	3,94	1.838	3,17
18	4.113	7,09	4.652	8,02	2.979	5,14	2.604	4,49
19	4.014	6,92	4.349	7,50	3.368	5,81	2.912	5,02
20	3.799	6,55	4.014	6,92	3.446	5,94	2.944	5,08
21	3.756	6,48	4.006	6,91	3.333	5,75	2.821	4,86
22	2.962	5,11	3.051	5,26	2.917	5,03	2.408	4,15
23	2.107	3,63	2.203	3,80	2.123	3,66	1.535	2,65
24	1.149	1,98	1.144	1,97	1.385	2,39	862	1,49
1	687	1,18	509	0,88	1.034	1,78	1.060	1,83
2	388	0,67	228	0,39	690	1,19	747	1,29
3	221	0,38	125	0,22	397	0,69	446	0,77
4	140	0,24	81	0,14	237	0,41	286	0,49
5	139	0,24	107	0,18	191	0,33	216	0,37
6	364	0,63	396	0,68	299	0,52	260	0,45
TOTAL	57.988	100,00	64.206	110,72	48.083	82,92	36.805	63,47

VARIACIÓN HORARIA DEL TRÁFICO

Estación 81a2: Sentido (Getxo-Bilbao)

Carretera: BI-637

HORA	DÍA MEDIO		LABORABLES		SÁBADOS		DOMINGOS	
	Vehículos	%	Vehículos	%	Vehículos	%	Vehículos	%
7	1.241	2,01	1.429	2,32	795	1,29	684	1,11
8	3.352	5,44	4.140	6,72	1.192	1,94	937	1,52
9	3.488	5,66	4.288	6,96	1.445	2,35	884	1,43
10	3.396	5,51	4.033	6,54	2.033	3,30	1.160	1,88
11	3.083	5,00	3.385	5,49	2.976	4,83	1.739	2,82
12	3.266	5,30	3.434	5,57	3.707	6,02	2.290	3,72
13	3.564	5,78	3.750	6,09	3.938	6,39	2.607	4,23
14	4.311	7,00	4.711	7,64	3.921	6,36	2.866	4,65
15	5.166	8,38	5.907	9,59	3.710	6,02	2.696	4,38
16	4.438	7,20	5.232	8,49	2.638	4,28	1.811	2,94
17	3.527	5,72	4.071	6,61	2.323	3,77	1.813	2,94
18	4.310	6,99	4.979	8,08	2.783	4,52	2.239	3,63
19	4.500	7,30	5.104	8,28	3.280	5,32	2.594	4,21
20	3.809	6,18	4.156	6,74	3.359	5,45	2.697	4,38
21	3.271	5,31	3.496	5,67	3.215	5,22	2.459	3,99
22	2.590	4,20	2.664	4,32	2.870	4,66	2.320	3,77
23	1.685	2,73	1.696	2,75	1.966	3,19	1.668	2,71
24	733	1,19	695	1,13	1.062	1,72	791	1,28
1	402	0,65	291	0,47	723	1,17	925	1,50
2	257	0,42	165	0,27	516	0,84	674	1,09
3	160	0,26	103	0,17	318	0,52	424	0,69
4	144	0,23	114	0,18	220	0,36	312	0,51
5	216	0,35	208	0,34	262	0,42	273	0,44
6	708	1,15	794	1,29	530	0,86	457	0,74
TOTAL	61.617	100,00	68.844	111,73	49.782	80,79	37.318	60,57

Figura 7: Variación horaria del tráfico en la estación permanente 81A1 y 81A2 la BI-637

Fuente: Evolución del tráfico en las carreteras de Bizkaia - Año 2019

4.3.2 Tráfico horario considerado

Se ha extrapolado la distribución por sentidos y la distribución horaria de la estación 81A a las estaciones 83A y 84A, con el fin de obtener una estimación del tráfico horario en cada una de las estaciones del tramo comprendido entre el enlace de la Universidad y la rotonda de Artaza.

Los tráfico horarios obtenidos para las estaciones 84A y 83A son los siguientes:

HORA	84A - AMBOS SENTIDOS				83A - AMBOS SENTIDOS			
	DÍA MEDIO		DÍA LABORABLE		DÍA MEDIO		DÍA LABORABLE	
	Vehículos	%	Vehículos	%	Vehículos	%	Vehículos	%
7	1.849	1,73%	2.129	1,83%	2.173	1,73%	2.579	1,83%
8	4.840	4,54%	6.026	5,18%	5.687	4,54%	7.300	5,18%
9	5.963	5,59%	7.446	6,40%	7.006	5,59%	9.019	6,40%
10	5.824	5,46%	6.927	5,95%	6.842	5,46%	8.391	5,95%
11	5.207	4,88%	5.670	4,87%	6.117	4,88%	6.868	4,87%
12	5.598	5,25%	5.795	4,98%	6.578	5,25%	7.019	4,98%
13	6.215	5,83%	6.347	5,45%	7.302	5,83%	7.688	5,45%
14	7.401	6,94%	7.806	6,71%	8.696	6,94%	9.456	6,71%
15	8.455	7,93%	9.300	7,99%	9.935	7,93%	11.265	7,99%
16	7.379	6,92%	8.542	7,34%	8.670	6,92%	10.347	7,34%
17	6.319	5,93%	7.231	6,21%	7.425	5,93%	8.759	6,21%
18	7.507	7,04%	8.423	7,24%	8.819	7,04%	10.203	7,24%
19	7.589	7,12%	8.267	7,10%	8.916	7,12%	10.014	7,10%
20	6.782	6,36%	7.145	6,14%	7.968	6,36%	8.655	6,14%
21	6.266	5,88%	6.561	5,64%	7.361	5,88%	7.947	5,64%
22	4.948	4,64%	4.998	4,30%	5.814	4,64%	6.054	4,30%

HORA	84A - AMBOS SENTIDOS				83A - AMBOS SENTIDOS			
	DÍA MEDIO		DÍA LABORABLE		DÍA MEDIO		DÍA LABORABLE	
	Vehículos	%	Vehículos	%	Vehículos	%	Vehículos	%
23	3.383	3,17%	3.410	2,93%	3.975	3,17%	4.130	2,93%
24	1.678	1,57%	1.608	1,38%	1.972	1,57%	1.948	1,38%
1	969	0,91%	700	0,60%	1.140	0,91%	847	0,60%
2	577	0,54%	344	0,30%	677	0,54%	416	0,30%
3	345	0,32%	199	0,17%	405	0,32%	242	0,17%
4	257	0,24%	171	0,15%	302	0,24%	207	0,15%
5	322	0,30%	275	0,24%	378	0,30%	334	0,24%
6	957	0,90%	1.041	0,89%	1.123	0,90%	1.261	0,89%
	106.630	100,00%	116.359	100,00%	125.281	100,00%	140.950	100,00%

Tabla 8: Estimación del Tráfico horario en las estaciones 84A y 83ª (Año 2049)

Fuente: Elaboración propia

En el siguiente gráfico se muestra la variación horaria de la estación 84A, correspondiente al tráfico en el túnel de la Avanzada:



Figura 8: Tráfico horario obtenido en las estaciones de aforo de la Avanzada (Año 2049)

Fuente: Elaboración propia

Tal y como se observa en la gráfica, la hora punta en los días laborables se sitúa a las 15:00 con 9.300 vehículos horarios, siendo 4.134 veh/h en sentido Getxo y 5.166 en sentido Bilbao.

4.3.3 Tráfico horario por sentidos considerado

La distribución por sentidos que se ha considerado para la distribución del tráfico corresponde con la obtenida a partir de los datos recogidos en el Libro de Aforos del año 2019 para la estación permanente 81A, y las asociadas a cada sentido de circulación 81A1 (sentido Bilbao - Getxo) y 81A2 (sentido Getxo - Bilbao).

A partir de los datos anteriores se obtiene el tráfico horario para cada sentido de circulación en las dos estaciones más próximas al túnel de la Avanzada:

Anejo 12. Análisis de Riesgos

ESTACIÓN 84A					ESTACIÓN 83A				
HORA	Sentido Getxo DÍA LABORABLE		Sentido Bilbao DÍA LABORABLE		HORA	Sentido Getxo DÍA LABORABLE		Sentido Bilbao DÍA LABORABLE	
	Vehículos	%	Vehículos	%		Vehículos	%	Vehículos	%
7	879	1,57%	1.250	2,08%	7	1.065	1,57%	1.514	2,08%
8	2.406	4,28%	3.621	6,01%	8	2.914	4,28%	4.386	6,01%
9	3.696	6,58%	3.750	6,23%	9	4.477	6,58%	4.543	6,23%
10	3.400	6,06%	3.527	5,86%	10	4.119	6,06%	4.272	5,86%
11	2.709	4,83%	2.960	4,92%	11	3.282	4,83%	3.586	4,92%
12	2.792	4,97%	3.003	4,99%	12	3.382	4,97%	3.638	4,99%
13	3.067	5,46%	3.280	5,45%	13	3.715	5,46%	3.973	5,45%
14	3.686	6,56%	4.120	6,84%	14	4.465	6,56%	4.991	6,84%
15	4.134	7,36%	5.166	8,58%	15	5.008	7,36%	6.258	8,58%
16	3.966	7,06%	4.576	7,60%	16	4.804	7,06%	5.543	7,60%
17	3.670	6,54%	3.560	5,91%	17	4.446	6,54%	4.313	5,91%
18	4.068	7,25%	4.354	7,23%	18	4.928	7,25%	5.275	7,23%
19	3.803	6,77%	4.464	7,41%	19	4.607	6,77%	5.407	7,41%
20	3.510	6,25%	3.635	6,04%	20	4.252	6,25%	4.403	6,04%
21	3.503	6,24%	3.057	5,08%	21	4.244	6,24%	3.704	5,08%
22	2.668	4,75%	2.330	3,87%	22	3.232	4,75%	2.822	3,87%
23	1.927	3,43%	1.483	2,46%	23	2.334	3,43%	1.797	2,46%
24	1.000	1,78%	608	1,01%	24	1.212	1,78%	736	1,01%
1	445	0,79%	254	0,42%	1	539	0,79%	308	0,42%
2	199	0,36%	144	0,24%	2	242	0,36%	175	0,24%
3	109	0,19%	90	0,15%	3	132	0,19%	109	0,15%
4	71	0,13%	100	0,17%	4	86	0,13%	121	0,17%
5	94	0,17%	182	0,30%	5	113	0,17%	220	0,30%
6	346	0,62%	694	1,15%	6	420	0,62%	841	1,15%
	56.151	100,00%	60.208	100,00%		68.018	100,00%	72.932	100,00%

Tabla 9: Estimación del Tráfico horario por sentidos en las estaciones 84A y 83ª - Año 2049

Fuente: Elaboración propia

En el siguiente gráfico se representa la variación horaria.

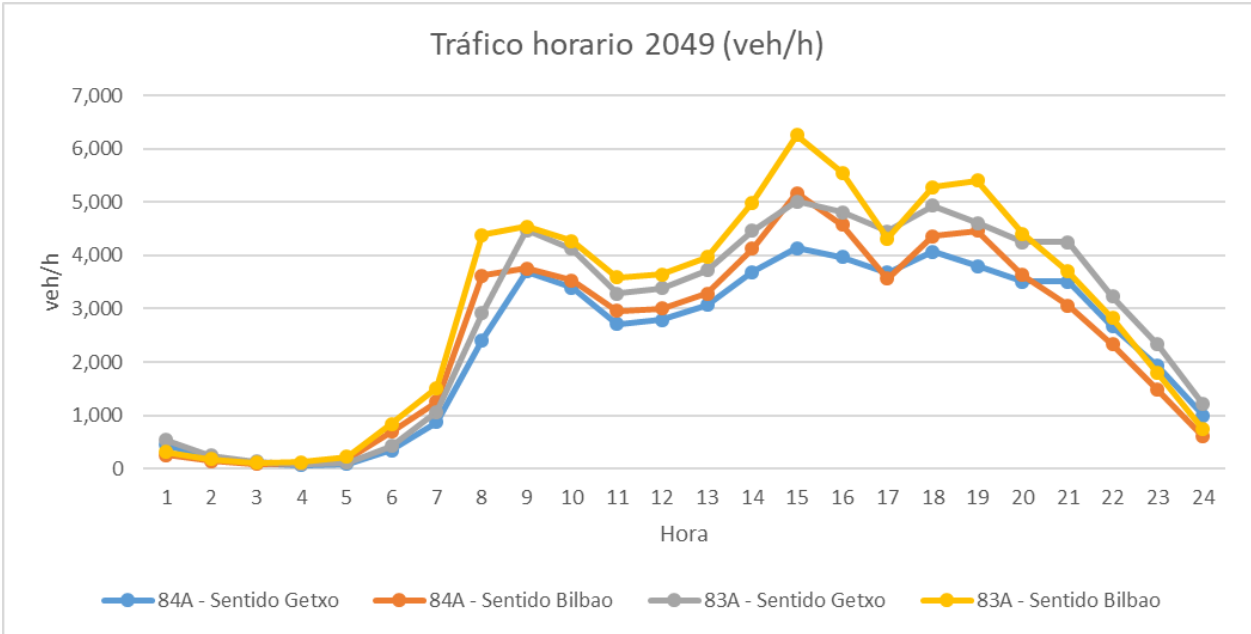


Figura 9: Tráfico horario estimado en las estaciones de aforo de la Avanzada - Año 2049

Fuente: Elaboración propia

5 ANÁLISIS DE RIESGO POR EL MÉTODO GENERAL

Se desarrolla el análisis de riesgo por el Método General considerando el equipamiento e infraestructura que el túnel de 824,00 metros y clasificado como Tipo I en aplicación del Decreto Foral 135/2006 sobre seguridad de túneles en carreteras, exceptuando las medidas e infraestructura consideradas de coste desproporcionado. Las medidas y sistemas requeridos para un túnel Tipo I que no se han considerado para el túnel proyectado, por suponer coste desproporcionado y una compleja ejecución son:

- Modificación de la sección transversal del túnel: Disposición de aceras, aumento de gálibo y / o arcones.
- Construcción de explanadas en bocas.
- Ejecución de una red de drenaje de líquidos tóxicos con arquetas sifónicas.
- Disposición de señalización variable en el interior.

En el apartado 5.3.1 de este informe se incluye un listado detallado de las características, infraestructura e instalaciones consideradas en el túnel proyectado.

Con relación a las galerías de emergencia, se ha considera el número y posición de las consideradas o incluidas en el pliego del contrato:

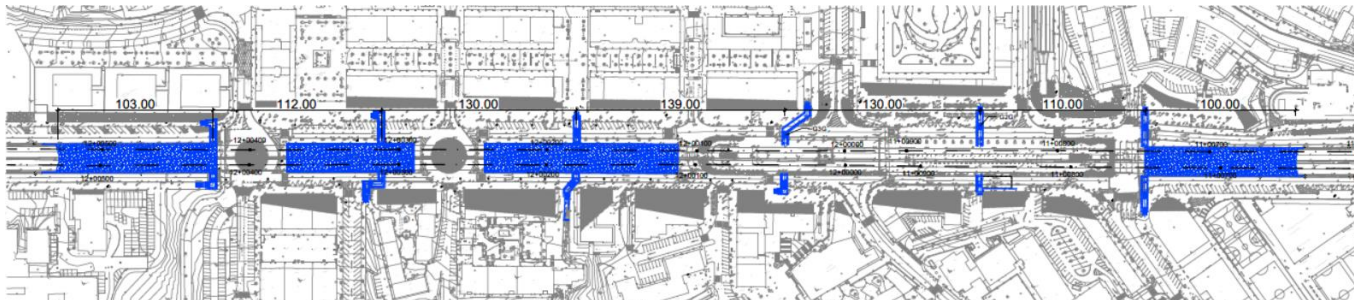


Figura 10: Planta del túnel y salidas de emergencia

A lo largo del documento, se realizan los cálculos necesarios para la obtención del índice de riesgo y calificación del túnel proyecto. Para ello, el capítulo 2 detalla los datos de entrada considerados, el análisis del túnel real y del virtual se desarrollan en los capítulos 5.3 y 5.4 respectivamente.

El capítulo 5.5 se calcula el índice de riesgo del túnel y su calificación y en el último apartado de se incluyen las principales conclusiones, así como un análisis de la influencia de posibles medidas de mejora a aplicar.

5.1 Metodología

El Método General de la MARTBI adoptado para el desarrollo del presente Análisis de Riesgos se basa en la comparación del túnel objeto de estudio (túnel real) con un túnel de referencia dotado con todo el equipamiento obligatorio que prescribe el Decreto Foral 135/2006, de 23 de agosto, sobre seguridad de túneles de carreteras de Bizkaia, así como los VIII Borradores de las Instrucciones Técnicas de Seguridad y Explotación de carreteras de Bizkaia.

La IT VIII de MARTBI, establece una serie de escenarios de incendio predeterminados, ya que son las situaciones que entrañan un mayor riesgo para los usuarios. En el análisis se realizan cálculos paralelos comparando los efectos que se producirían sobre los usuarios tanto en el túnel real como en el túnel virtual, estableciendo sus coeficientes de seguridad individuales, y de cuya comparación se obtiene el índice de riesgo del túnel.

El Método General se basa a su vez en la integración de tres modelos, cada uno de los cuales trata de reproducir un determinado aspecto del riesgo del túnel para cuantificar el riesgo del túnel analizado, como se observa en la siguiente tabla:

Modelos del Método General		Ventilación forzada
1. RIESGO DEL TÚNEL		Si / No
2. VENTILACIÓN	TABULADO	No
	UNIDIMENSIONAL	Si
3. EVACUACIÓN DE USUARIOS		Si / No

Tabla 10. Modelos a aplicar para cada túnel dentro del Método General de análisis de riesgo

5.1.1 Modelo de riesgo del túnel

Este modelo trata de reproducir el riesgo del túnel a través de una serie de escenarios de incendio representativos de diferentes accidentes que impliquen el incendio de vehículos en el interior de un túnel. Para cada escenario se determinará la posición del incendio en el túnel a analizar, de manera que se pongan de manifiesto las diferentes medidas de seguridad con las que está dotado un túnel para poder favorecer la evacuación de los usuarios y mitigar los efectos del incendio sobre ellos.

Para poder determinar el nivel de riesgo del túnel, conforme a los escenarios estudiados en la elaboración del análisis de riesgo, se deberán seguir los pasos que se describen de forma resumida a continuación:

Determinación del Índice de Riesgo del túnel (IR)

Se define como índice de riesgo asociado al túnel el cociente entre el Coeficiente de Riesgo del túnel real y el Coeficiente de Riesgo del túnel virtual:

$$IR = \frac{CR_{TR}}{CR_{TV}}$$

Se fijan como criterios para calificar el túnel como seguro los siguientes:

- **Túneles seguros:** serán aquellos que presenten un valor del índice de riesgo muy próximo a la unidad. Se considerarán aceptables todos los túneles que presenten un valor del índice de riesgo inferior a 1,15.
- **Túneles con posibles restricciones:** serán aquellos que presenten un valor del índice de riesgo comprendido entre 1,15 y 1,50. Este caso se corresponde con túneles en los que el riesgo es compatible con mantenerlos en servicio durante un cierto periodo de tiempo, a determinar individualmente por la Autoridad Administrativa. Será necesario estudiar las medidas complementarias aplicables para incrementar la seguridad en el túnel o en sus inmediaciones, que se pueden aplicar a medio plazo. En cada caso, será la Autoridad Administrativa la que deba aprobar las medidas a adoptar.

Anejo 12. Análisis de Riesgos

- **Túneles con peligrosidad elevada:** serán aquellos que presenten un valor del índice de riesgo superior a 1,50 y no se considerarán seguros.

Para obtener el **Coefficiente de Riesgo del túnel virtual** se define un “túnel modelo de referencia”, de la misma longitud, número de carriles y tipo de circulación de tráfico (unidireccional o bidireccional) que el túnel objeto de análisis (túnel real), equipado con todas la infraestructura e instalaciones para túneles de su tipología.

$$CR_{TV} = F_{TV} \times \sum (N^{\circ} \text{ afectados} \times \text{prob. porcentual del escenario } Ei)$$

Siguiendo la misma sistemática que para el túnel virtual se obtendrá el **Coefficiente de Riesgo del túnel real**, es decir, considerando la geometría, equipamiento y condiciones de explotación reales del túnel analizado.

$$CR_{TR} = F_{TR} \times \sum (N^{\circ} \text{ afectados} \times \text{prob. porcentual del escenario } Ei)$$

Para considerar en el análisis elementos de la geometría, el equipamiento y la explotación del túnel, se introduce un factor corrector producto de una serie de factores de ponderación que tienen en cuenta estos elementos.

Factor corrector del túnel real (F_{TR}):

$$F_{TR} = F_g \times F_{eq} \times F_{ex}$$

Factor corrector del túnel virtual (F_{TV}):

$$F_{TV} = F_g \times F_{eq} \times F_{ex}$$

Siendo:

$F_g \equiv$ Factor de ponderación por criterios de diseño geométricos del túnel

$$F_g = F_{g_{CAR}} \times F_{g_{ARC}} \times F_{g_{APA}} \times F_{g_{ACE}} \times F_{g_{PAV}} \times F_{g_{PTE}} \times F_{g_{REV}}$$

$F_{eq} \equiv$ Factor de ponderación por criterios del equipamiento del túnel

$$F_{eq} = F_{eq_{SSEE}} \times F_{eq_{CC}} \times F_{eq_{OTR}}$$

$F_{ex} \equiv$ Factor de ponderación por criterios de la explotación del túnel

$$F_{ex} = F_{ex_{AVP}} \cdot F_{ex_{RAD}} \cdot F_{ex_{VLM}}$$

Estos factores se deben calcular tanto para el túnel real como para el virtual.

Respecto a los escenarios a analizar, estos están compuestos de una sucesión de acontecimientos. Comienza por un acontecimiento desencadenante y continúa con la sucesión temporal de sucesos ordenada cronológicamente hasta que los usuarios se encuentran a salvo o, hasta la llegada de los servicios de emergencia, si es que esto ocurre posteriormente.

Los cinco escenarios para tener en cuenta tienen las siguientes características:

Escenario 1 (E1): Corresponde a la hipótesis de incendio de uno o dos vehículos ligeros. Se considera como potencia máxima de fuego representativa de este escenario 8 MW.

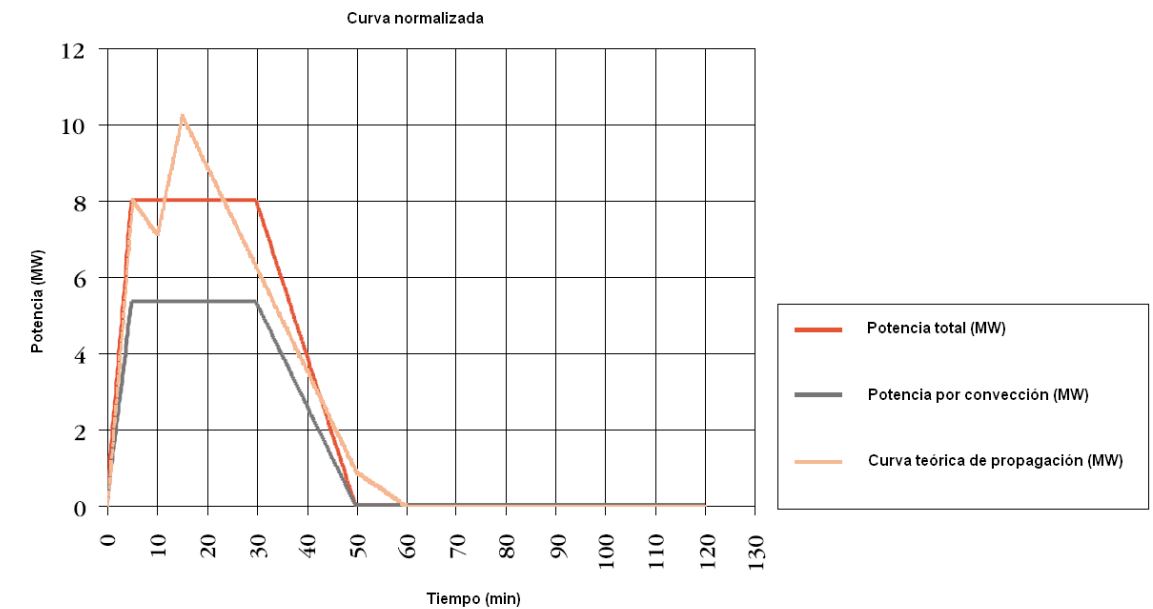


Figura 11: Escenario 1

Escenario 2 (E2): Corresponde a la hipótesis de incendio de un vehículo pesado y otro vehículo ligero. Se considera como potencia máxima de fuego representativa de este escenario 30 MW.

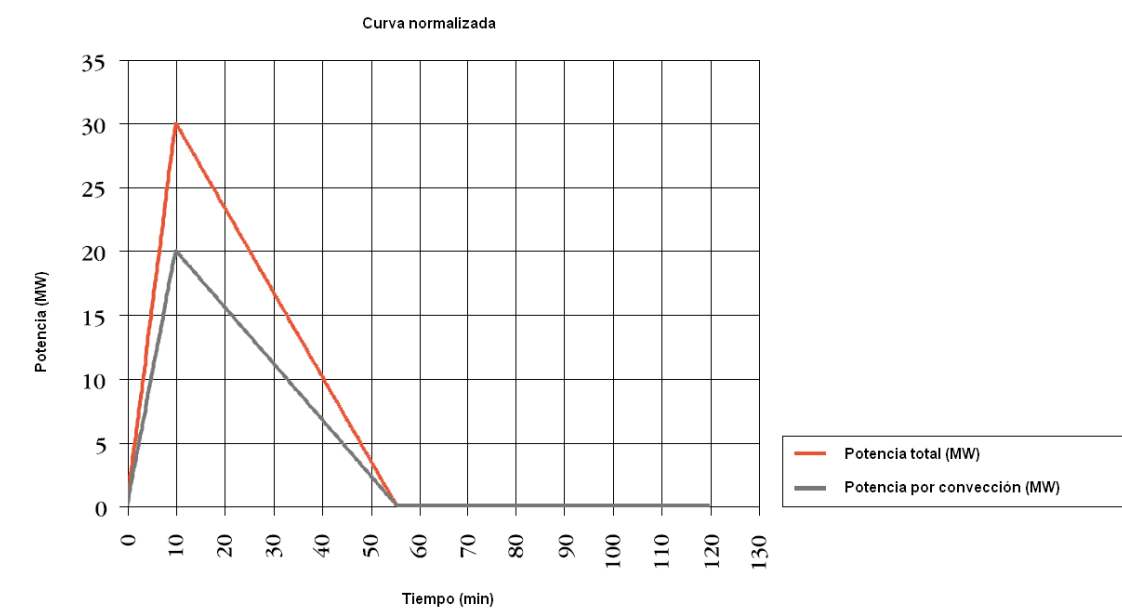


Figura 12: Escenario 2

Anejo 12. Análisis de Riesgos

Escenario 3 (E3): Corresponde a la hipótesis de incendio de un vehículo ligero y un autocar. En este caso se considera como potencia máxima de fuego del incendio 15 MW.



Figura 13: Escenario 3

Escenario 4 (E4): Corresponde a la hipótesis de incendio de un vehículo pesado y un autocar. Se considera como potencia máxima de fuego representativa de este escenario 30 MW.

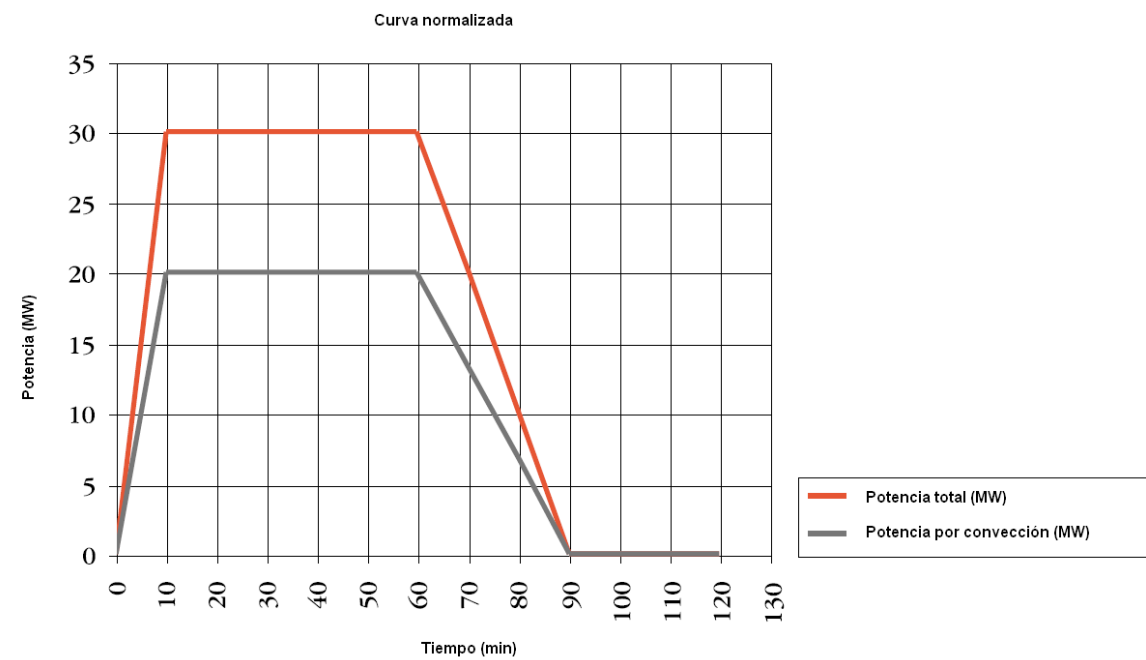


Figura 14: Escenario 4

Escenario 5 (E5): Incendio de un vehículo capaz de provocar un incendio de gran magnitud y otro vehículo, con una potencia de incendio de referencia de hasta 100 MW.

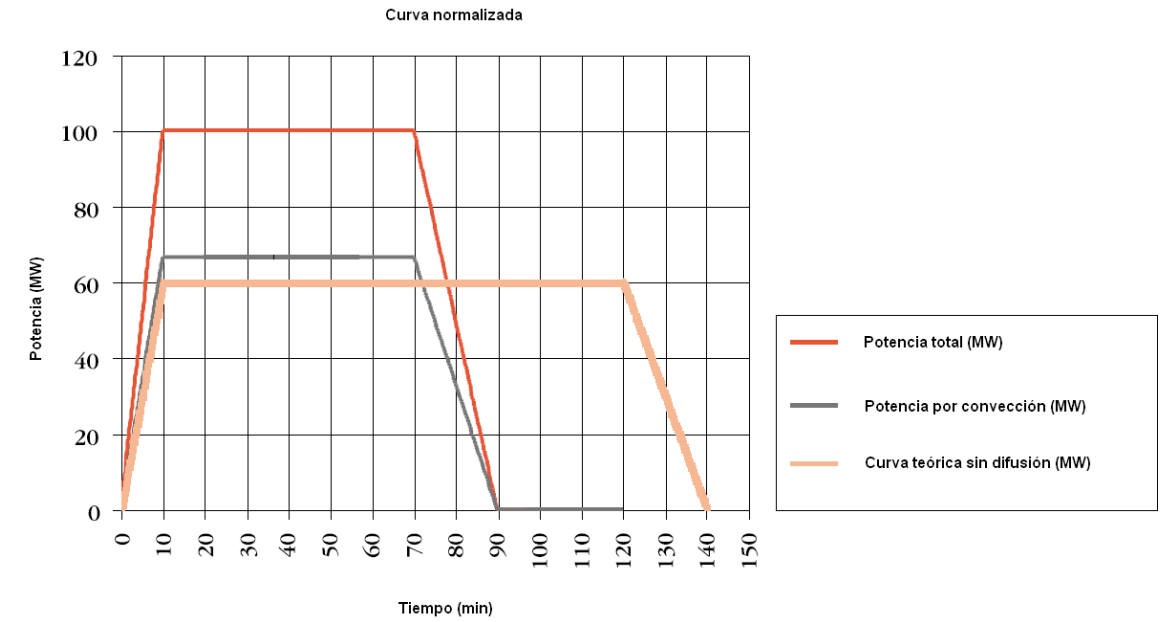


Figura 15: Escenario 5

La posición o posiciones representativas de la localización del accidente en el interior del túnel se establecen en función de las características que presente el túnel objeto de estudio. Para cada análisis, el criterio de posicionamiento del incendio debe ser el mismo en el túnel real y en el virtual.

Túneles unidireccionales

Sin salidas de emergencia ni en el túnel real ni en el virtual. Se considerará que el incendio se localiza en las proximidades de la boca de salida, a una distancia del 80% de la longitud medida desde la boca de entrada, tanto para túnel real como para el túnel virtual.

Sin salida/s de emergencia en el túnel real pero sí en el virtual.

Túnel Real. El incendio se posicionará en la proximidad de la boca de salida, a una distancia del 80% de su longitud medida desde la boca de entrada.

Túnel Virtual. El incendio se posicionará siguiendo el mismo criterio, a una distancia del 80% de su longitud, pero en el análisis solo se estudiará el mayor tramo de túnel entre salidas consecutivas (considerando como salidas tanto las bocas como las salidas de emergencia).

Con salida/s de emergencia en el túnel real y en el virtual. El incendio se posicionará coincidiendo con una salida de emergencia, tanto para el caso del túnel real como para el caso del túnel virtual, realizándose el análisis del mayor tramo de túnel entre dos salidas que tengan una tercera entre ellas (en la que se produce el incendio).

Túneles bidireccionales

Sin salidas de emergencia ni en el túnel real ni en el virtual. Se deberán analizar dos posiciones del incendio:

- La definida para los túneles unidireccionales: al 80% de la longitud del túnel medida desde la boca de entrada.
- El incendio ubicado en el centro del túnel, considerando en este caso el humo dividido en dos frentes que avanzan uno hacia cada boca del túnel.

Anejo 12. Análisis de Riesgos

Sin salida/s de emergencia en el túnel real pero sí en el virtual. Se deberán analizar las mismas dos posiciones que en el caso anterior, pero teniendo en cuenta que:

- Túnel real. Se analiza el túnel con su longitud total.
- Túnel virtual. Será de la misma longitud que el túnel real, pero en el análisis sólo se estudiará el mayor tramo de túnel comprendido entre salidas consecutivas (considerando como salidas tanto las bocas como las salidas de emergencia).

Con salida/s de emergencia en el túnel real y en el virtual. Se seguirá el mismo criterio que para túneles unidireccionales, tanto para el túnel real como para el virtual. El incendio se posicionará en una salida de emergencia, realizándose el análisis del mayor tramo de túnel entre dos salidas que tengan una tercera entre ellas (en la que se produce el incendio).

Una vez definido los casos a estudiar, la probabilidad porcentual de ocurrencia de cada uno de los cinco escenarios se adecúa en base a los valores recogidos en la tabla 1 de la MARTBI:

% de vehículos pesados	5%	10%	15%	20%	30%	40%
Escenario	Probabilidades de ocurrencia (en tanto por uno)					
E1	0,85	0,76	0,67	0,58	0,45	0,36
E2	0,11	0,18	0,25	0,31	0,42	0,48
E3	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
E4	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04
E5	0,01	0,03	0,05	0,07	0,08	0,10

Tabla 11. Probabilidades de ocurrencia.

Estas probabilidades se ven afectadas por la intensidad de tráfico. Para tener en cuenta esto, se aplica un factor corrector de la IMD a cada uno de los escenarios (F_{IMD}) según la siguiente expresión:

$$F_{IMD} = \left(\frac{IMD_c}{2.000} \right)^a$$

Dónde:

- Carreteras convencionales: $a = 0'7277$
- Autopistas y Autovías: $a = 0'9291$

5.1.2 Modelo de ventilación

Para modelizar el comportamiento de los humos producidos por un incendio en el interior de un túnel, la metodología define dos modelos de ventilación:

- Modelo tabulado de ventilación: Para túneles sin ventilación artificial.
- Modelo unidimensional de ventilación: Para túneles con ventilación artificial.

5.1.2.1 Modelo tabulado

Este modelo, será aplicable a los túneles en los que no se exija la instalación de un sistema de ventilación forzada en el túnel.

Con objeto de evaluar de manera simplificada la producción de humo de cada uno de los escenarios objeto de estudio, la MARTBI propone adoptar las cifras propuestas por la PIARC de acuerdo a los distintos tipos de vehículos implicados en el accidente. Los valores se resumen en la tabla que se inserta a continuación:

Escenario / vehículos implicados	Caudal de humo producido
E1: Incendio de vehículo ligero de hasta 8 MW de potencia	20 -30 m3 /s
E2: Incendio de un vehículo pesado de 30 MW	60-90 m3 /s
E3: Incendio de un vehículo ligero y un autocar de 15 MW	50 m3 /s
E4: Incendio de un vehículo pesado y un autocar de 30 MW	90 m3 /s
E5: Incendio de un vehículo pesado de hasta 100	150 m3 /s

Tabla 12. Caudal de humo producido mediante método tabulado

A efectos del cálculo de velocidades de desplazamiento de humo, la metodología parte de una sección tipo de 70 m² en dos situaciones: Toda la columna de humo fluye en una dirección o el caso de dos frentes de similares características avanzando en dos direcciones:

Escenario / vehículos implicados	Velocidad humo (m/s), sentido único	Velocidad humo (m/s), dos frentes
E1: Incendio de vehículo ligero de hasta 8 MW de potencia	0,76 - 1,71	0,48 - 1,07
E2: Incendio de un vehículo pesado de 30 MW	1,79 - 3,06	1,07 - 1,84
E3: Incendio de un vehículo ligero y un autocar de 15 MW	1,90 - 2,86	1,19 - 1,79
E4: Incendio de un vehículo pesado y un autocar de 30 MW	2,68 - 3,06	1,61 - 1,84
E5: Incendio de un vehículo pesado de hasta 100 MW	2,86 - 4,5	1,43 - 2,14

Tabla 13. Velocidad del humo en una sección tipo unidireccional y bidireccional

Los tiempos que transcurren desde el inicio de la desestratificación hasta que ésta es completa (tiempo adicional), que marca el límite hasta el que los usuarios evacuan el túnel en condiciones de ambiente degradadas (situación en velocidad de autoevacuación), son predeterminados. Más allá de este tiempo adicional, los usuarios aún presentes en el túnel se considerarán víctimas.

Escenario: vehículos implicados y potencia	Tiempo desestratificación	Tiempo adicional
E1: Incendio de un vehículo ligero. 8 MW de potencia	300 s	60 s
E2: Incendio de un vehículo pesado. 30 MW	247 s	60 s
E3: Incendio de un vehículo ligero y un autocar. 15	260 s	60 s
E4: Incendio de un vehículo pesado y un autocar. 30	247 s	60 s
E5: Incendio de un vehículo de pesado. 100 MW	77 s	45 s

Tabla 14. Tiempo de desestratificación y tiempo adicional.

5.1.2.2 Modelo unidimensional

En el caso de que las Instrucciones Técnicas vigentes exijan la disposición de un sistema de ventilación forzada y de los correspondientes protocolos de funcionamiento de dicha ventilación en el túnel analizado, la modelización de la ventilación mediante el modelo tabulado de ventilación, que emplea tablas de velocidad de desplazamiento del humo por el túnel y de valoración de tiempos de mantenimiento de su estratificación, no resulta aplicable. Se debe de recurrir entonces a emplear un modelo unidimensional de ventilación, que

Anejo 12. Análisis de Riesgos

refleje la evolución de la masa de humo y de los parámetros que la definen a lo largo del túnel, en función del tiempo.

Se debe remarcar que el modelo unidimensional de ventilación también es posible aplicarlo a túneles sin ventilación forzada,

En general, los modelos unidimensionales de cálculo permiten delimitar las zonas de riesgo para los usuarios a lo largo del túnel, en función del tiempo transcurrido desde el comienzo del incendio hasta la resolución de la situación de cada escenario.

No obstante, siempre que el autor del análisis de riesgo lo estime conveniente, se podrá complementar el análisis realizado con un modelo unidimensional de ventilación mediante el empleo de modelos de ventilación más complejos, como pueden ser los modelos tridimensionales.

5.1.3 Modelo de comportamiento de los usuarios

Permite determinar el número de vehículos afectados en cada escenario y reproduce el comportamiento de los usuarios para evacuar el túnel, una vez que se ha producido un accidente que da lugar a un incendio.

El número de personas afectadas será la suma de las que se encuentran en el túnel en el momento de producirse el accidente más las que acceden al mismo una vez se ha producido este, por desconocer lo ocurrido.

Para determinar el número de vehículos afectados será necesario en primer lugar obtener el número de vehículos presentes en el túnel, para lo que se contemplan dos fases:

5.1.3.1 Régimen de circulación libre

$$N = \frac{L * I}{V}$$

Siendo:

N ≡ Número de vehículos presentes en túnel por carril (veh/carril).

L ≡ Longitud del túnel (m).

I ≡ Intensidad por carril de la circulación (veh/s/carril).

V ≡ Velocidad de circulación (m/s).

5.1.3.2 Congestión

Cuando se produce un incendio, se supone que la circulación de los vehículos se detiene completamente desde el instante t=0, en el punto donde se ha producido el incendio, formándose una cola de vehículos parados. La velocidad con la que crece hacia aguas arriba del incendio la cola de los vehículos parados a partir de este punto, denominada velocidad de crecimiento de la cola de vehículos (V_c), responde a la siguiente expresión:

$$V_c = \frac{I}{\frac{1}{d_0} - \frac{I}{V}}$$

Dónde:

V_c ≡ Velocidad de crecimiento o remonte de la cola de vehículos parados (m/s).

d₀ ≡ Interdistancia entre vehículos detenidos (m). Se adoptará, a falta de datos más precisos, la longitud del vehículo promedio (8 metros) más dos metros.

I ≡ Intensidad por carril de la circulación (veh/s/carril).

V ≡ Velocidad de circulación (m/s).

El recuento de usuarios atrapados está dado por las siguientes tasas de ocupación:

Para n=0: En los vehículos implicados en el incidente la ocupación P es:

TIPO DE VEHÍCULO	TASA DE OCUPACION P (personas/vehículo)
Vehículo ligero	1,5
Vehículo pesado	1
Autocar/autobús	30

Tabla 15. Tasa de ocupación de vehículos

Para n≥1: En los vehículos no implicados en el incidente la ocupación P es:

$$P = veh_{total} \times \left(1 - \frac{\%VP}{100}\right) \times Tasa_{VL} + veh_{total} \times Tasa_{VP}$$

A partir de aquí, el proceso de modelización de la evacuación de los usuarios emplea las siguientes fórmulas:

Trayectorias de evacuación de usuarios implicados en el incidente (n=0):

PUNTO	TIEMPO (s)	ESPACIO (m)
1	T ₀ ¹ = 0	S ₀ ¹ = L _i
2	T ₀ ¹ = t _{0r}	S ₀ ² = L _i
3	$T_0^2 = \text{Mínimo} \left(t_d : T_0^2 + \frac{S_0^2}{V_e^2} \right)$	$S_0^3 = S_0^2 - V_{e1} \times (T_0^3 - T_0^2)$
4	$T_0^4 = T_0^3 + \frac{S_0^3}{V_{e2}}$	S ₀ ⁴ = 0

Tabla 16. Trayectorias de evacuación de usuarios implicados en el incidente

- Trayectorias de evacuación para usuarios de los vehículos no implicados en el incidente (n≥1):

Punto 1:

$$T_n^1 = \frac{n}{I_s} - \frac{n}{D_{max} \times V}$$

- Si T_n¹ ≤ T_{n-1}² → S_{n-1}¹ - $\frac{1}{D_{max}}$
- Si T_{n-1}² < T_n¹ ≤ t_d → S_n¹ = S_{n-1}¹ - V_{e1} × (T_n¹ - T_{n-1}²) - $\frac{1}{D_{max}}$
- Si T_n¹ > t_d → S_{n-1}¹ - V_{e1} × máximo[0; (t_d - T_{n-1}²)] - V_{e2} × (T_n¹ - t_d) - $\frac{1}{D_{max}}$

Punto 2:

$$S_n^2 = S_n^1$$
$$T_n^2 = T_n^1 + t_r$$

Punto 3:

$$\text{Si } T_n^2 < t_d \rightarrow S_n^3 = S_n^2 - V_{e1} \times (t_d - T_n^2)$$

$$T_n^3 = T_n^2$$

Punto 4:

$$S_n^4=0$$

$$T_n^4 = T_n^3 + \frac{S_n^3}{V_{e2}}$$

Anejo 12. Análisis de Riesgos

Dónde:

$T_n^i \equiv$ Tiempo del punto i del usuario n (s).

$S_n^i \equiv$ Espacio del punto i del usuario n (s).

Con:

i $\equiv$ Número de punto de la trayectoria de evacuación ($1 \leq i \leq 4$).

n $\equiv$ Número de vehículo (n=0 $\rightarrow$ vehículos implicados en el accidente).

$L_i \equiv$ Distancia desde la salida (de emergencia o boca) tomada por los usuarios hasta el foco del incendio (m).

$t_{0r} \equiv$ Tiempo de reacción del usuario 0 (s). Es el tiempo que transcurre desde que el usuario tiene conocimiento de que se ha producido el accidente hasta que el usuario comienza la autoevacuación del túnel.

$t_d \equiv$ Tiempo de inicio de la desestratificación del humo (s).

$V_{e1} \equiv$ Velocidad de autoevacuación de los usuarios con visibilidad clara, es decir, humo estratificado (m/s).

$V_{e2} \equiv$ Velocidad de autoevacuación de los usuarios con visibilidad reducida, es decir, humo desestratificado (m/s).

Los valores del tiempo de reacción de los usuarios, así como la velocidad de desestratificación del humo se ven condicionados por el equipamiento del túnel (tanto para el túnel real como para el virtual).

5.1.3.3 Proceso de evacuación de los usuarios

Para la modelización del desplazamiento de los usuarios que abandonan sus vehículos y se dirigen a pie a las salidas de emergencia o las bocas del túnel, se realizan las siguientes hipótesis:

- Tiempo de reacción de los usuarios del vehículo accidentado o averiado, en el que se produce el incendio, hasta empezar a evacuar: 90 s para los usuarios de vehículos ligeros y pesados. En caso de autobuses, 90s para el primer ocupante que logra evacuarlo y 300 s para el último ocupante que lo evacúa (el resto de los usuarios se interpolan entre ambos valores).
- Tiempo de reacción de los usuarios de los restantes vehículos: 15 s.
- Velocidad de autoevacuación de cada usuario:
 - Con visibilidad clara (humo estratificado):
 - $V_{e1} = 1,0$ m/s para pendiente entre 0 y 3%.
 - $V_{e2} = 0,90$ m/s para pendiente entre 3 y 5%.
 - $V_{e3} = 0,80$ m/s para pendiente superior al 5% (en rampa). Este valor podrá incrementarse a 0,9 o 1 m/s según el equipamiento disponible
 - Con visibilidad reducida (humo desestratificado): V_{e3} entre 0,3 y 0,6 m/s según equipamiento disponible. En este caso no afecta la pendiente puesto que tiene mucha más influencia en la velocidad el hecho de que el humo ya está desestratificado y por tanto se reduce de forma importante la visibilidad.

En el modelo de comportamiento de los usuarios se considera en primer lugar que, como se ha comentado, los usuarios de los vehículos implicados en el accidente tardan 90 segundos en reaccionar y empezar a evacuar el túnel. A continuación, los siguientes vehículos entran en el túnel se detendrán cuando lleguen a la cola de vehículos detenidos o cuando se crucen con un usuario del vehículo precedente evacuando el túnel, lo que ocurra primero. Cada vehículo se detendrá a distancia del precedente (usuario o vehículo) del largo medio de un vehículo (8 m) más 2 metros de separación, 10 metros en total. Finalmente, los usuarios del vehículo tardarán un máximo de 15 segundos en iniciar la evacuación del túnel.

Los túneles que dispongan de un sistema de ventilación forzada se entienden que éste permite mantener la estratificación del humo durante la evacuación de los usuarios o bien puede empujar el humo en el sentido en que no hay usuarios afectados (en túneles unidireccionales). Por ello, con carácter general y siempre que se

pueda garantizar el adecuado funcionamiento de la ventilación forzada, se considerará en estos casos que se mantiene la velocidad de autoevacuación de los usuarios en el valor correspondiente a humo estratificado.

5.1.3.4 Determinación del número inicial de usuarios afectados

Para determinar el número de vehículos afectados, que posteriormente se utilizará junto con las tasas de ocupación de los vehículos para obtener el número de usuarios afectados, se pueden dar dos situaciones:

1. En el túnel se da un régimen de **circulación libre** hasta que se produce el incidente que ocasiona el incendio, momento a partir del cual se inicia la formación de una cola de vehículos, que dará lugar a una congestión que irá creciendo hacia la entrada del túnel. En este caso el criterio por el cual los vehículos van entrando en el túnel se basa en cuatro hechos:
 - a) La formación de la cola de vehículos hacia la entrada del túnel, de forma que dejarán de entrar más vehículos en su interior a partir del momento en que esta cola rebasa la boca de entrada.
 - b) El desplazamiento del humo por el interior del túnel, de forma que dejarán de entrar más vehículos a partir del momento en que el humo comience a salir por la boca de entrada.
 - c) La existencia de semáforos y/o barreras en el acceso al túnel. Obviamente estos equipamientos pueden limitar o impedir la entrada de vehículos al túnel.
 - d) La llegada de un usuario hasta la boca de entrada, de forma que dejarán de entrar más vehículos al interior del túnel a partir del momento en que un usuario alcance en su huida hacia el exterior la boca de entrada.

2. En aquellos túneles urbanos donde se produzcan **congestiones recurrentes** (y aquellos interurbanos donde también se dé el caso), se puede plantear una situación en la que el incendio se produce en un flujo congestionado. Es decir, en el momento de producirse el incendio (no debido a un accidente, sino a una avería propia de un vehículo, por ejemplo), el túnel se encuentra congestionado, con todos los vehículos parados, en toda la longitud desde su punto de ocurrencia hasta la boca de entrada.

De esta forma, se produce la evacuación de las personas del primer vehículo no implicado en el incendio y más próximo a él, buscando la salida de emergencia o boca del túnel más próxima, según los recorridos de evacuación debidamente señalizados.

La salida de los usuarios de sus vehículos y el comienzo de su proceso de evacuación puede deberse a uno de estos dos posibles motivos:

- a) La llegada hasta el vehículo de los usuarios de vehículos precedentes, en su huida hacia la boca de entrada
- b) El alcance, por parte del humo, del vehículo

Según el DFST «se considerará que el túnel está congestionado cuando la media de las velocidades instantáneas de los vehículos sea inferior a 30 km/h». En base a esta normativa, una variante de esta situación es considerar que se produce congestión cuando se detecta una velocidad de la circulación en el interior del túnel inferior a un determinado umbral bajo. Con esta consideración, se puede realizar el cálculo del número de vehículos atrapados de la misma forma que se hace en la situación 1, en régimen de circulación libre con esta velocidad umbral, y la posterior formación de la cola de vehículos.

5.2 Información y datos empleados

5.2.1 Sección transversal

La distribución de la plataforma de circulación en el interior del túnel se modifica respecto a la existente en la actualidad. Se gana algo de anchura global eliminando los muros de bloques de hormigón en la zona interior del túnel, siendo ésta, la zona más restrictiva transversalmente de toda la longitud total del túnel, todo ello desde el punto de vista de la seguridad vial.

Se han definido dos anchuras de carril diferentes en cada sentido, priorizando disponer un carril lento de 3,50 metros de anchura y arceños de la mayor anchura posible con un carril rápido de ancho mínimo 3,30 metros, de forma que se proyecta la siguiente sección:

Anejo 12. Análisis de Riesgos

Arcén exterior de 0,50 m + Carril lento de 3,50 m + Carril rápido de 3,30 + Arcén interior de 0,50 m

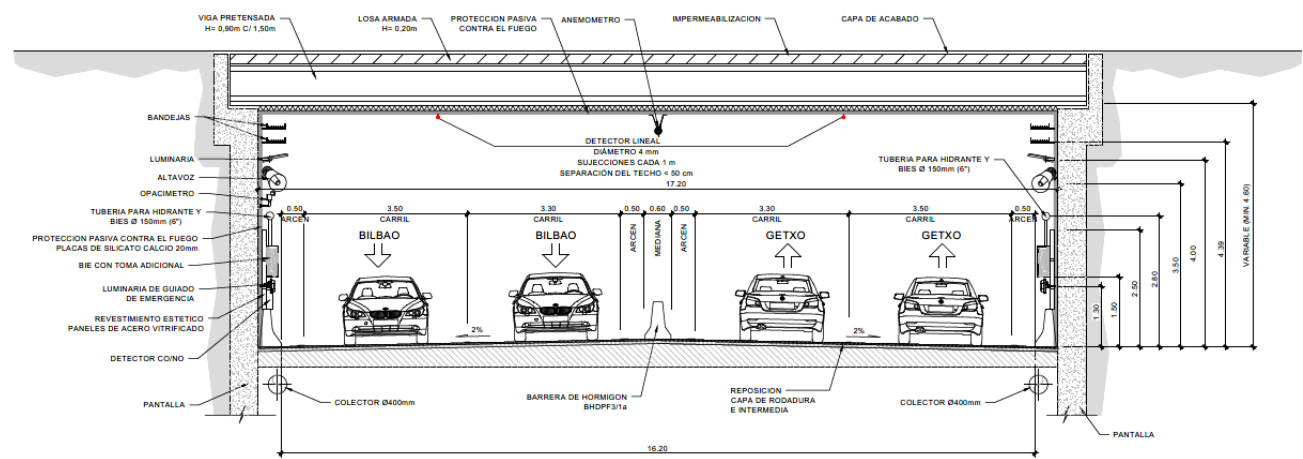


Figura 16: Sección tipo propuesta

Durante el desarrollo del AARR se emplea el valor medio de los carriles proyectados, 3,40 metros, y arcenes de 0,50 metros en ambos lados.

5.2.2 Datos del tráfico

Los últimos datos de aforos en la BI-637 completos publicados por la DFB con relación al tráfico que circula por el túnel corresponden al año 2019 y son:

DATOS DE TRÁFICO: AÑO 2019	DÍA MEDIO	DÍA LABORABLE
Intensidad media	92.895 veh/día	100.237 veh/día
Calzada sentido Getxo	48,48%	48,26%
Calzada sentido Bilbao	51,52%	51,74%
Intensidad media - Sentido Getxo	45.039 veh/día	48.371 veh/día
Intensidad media - Sentido Bilbao	47.856 veh/día	51.865 veh/día
% Pesados diarios	3,00%	3,50%

% Hora punta - Hora 15	7,93%	7,99%
Calzada sentido Getxo	45,56%	44,45%
Calzada sentido Bilbao	54,44%	55,55%
Intensidad hora punta - Sentido Getxo	3.356 Veh. /hora	3.561 Veh. /hora
Intensidad hora punta - Sentido Bilbao	4.010 Veh. /hora	4.450 Veh. /hora
Nivel de Servicio: Sentido Getxo	E	E
Nivel de Servicio: Sentido Bilbao	F	F

Tabla 17. Datos de tráfico año 2019

Con relación al tráfico a emplear durante la redacción de un análisis de riesgo por el método general, la MARTBI indica:

- “En el caso de un nuevo túnel, se realizará el análisis de riesgo para un nivel de tráfico de referencia correspondiente al año horizonte de diseño (20 años después de la entrada en servicio)”.
- “En caso de que las intensidades de tráfico previstas o existentes supongan un "nivel de servicio de referencia" del túnel superior al nivel C, se adoptará la intensidad de tráfico correspondiente al nivel de servicio C para el cálculo del Coeficiente de Riesgo del túnel virtual”.

De acuerdo con las condiciones en que se desarrolla la circulación en tramos de flujo continuo del Manual de Capacidad del HCM2000 Basic Freeway Segments, Chapter 13; clasifica el nivel de servicio en 6 niveles: A, B, C, D, E y F.

En este caso, la adecuación del túnel se corresponde a la construcción de un nuevo túnel nuevo por lo que se aplican las proyecciones de tráfico a veinte años. Estando la apertura prevista en el año 2029 las proyecciones son:

DATOS DE TRÁFICO: AÑO 2049	DÍA MEDIO	DÍA LABORABLE
Intensidad media	106.629 veh/día	116.359 veh/día
Calzada sentido Getxo	48,48%	48,26%
Calzada sentido Bilbao	51,52%	51,74%
Intensidad media - Sentido Getxo	51.697 veh/día	56.151 veh/día
Intensidad media - Sentido Bilbao	54.932 veh/día	60.208 veh/día
% Pesados diarios	3,00%	3,50%

% Hora punta - Hora 15	7,93%	7,99%
Calzada sentido Getxo	45,56%	44,45%
Calzada sentido Bilbao	54,44%	55,55%
Intensidad hora punta - Sentido Getxo	3.852 Veh. /hora	4.134 Veh. /hora
Intensidad hora punta - Sentido Bilbao	4.603 Veh. /hora	5.166 Veh. /hora
Nivel de Servicio: Sentido Getxo	F	F
Nivel de Servicio: Sentido Bilbao	F	F

Tabla 18. Datos de tráfico empleados, año horizonte 2049

Para el cálculo y determinación de usuarios afectados en cada escenario, se desarrolla el análisis de riesgo considerando la hora punta del día laborable del año 2019, 4.134 vehículos hora sentido Getxo y 5.166 vehículos hora sentido Bilbao a las 15 horas. Siendo en ambos casos el nivel de servicio F, para el túnel virtual se adopta la intensidad de tráfico máxima correspondiente al nivel de servicio C de 2.860 vehículos hora y sentido. Mantenido tanto el factor de hora punta, la distribución por sentidos y la proporción de vehículos pesados, se obtiene una IMD del túnel virtual de 72.131 vehículos día límite.

Para el cálculo de probabilidad de ocurrencia y el factor corrector de la IMD de los cinco escenarios, se emplea por lo tanto el valor de IMD del túnel real de 106.629 vehículos día y del túnel virtual de 72.131 vehículos día.

5.2.2.1 Determinación del número de usuarios presentes en el túnel

Al tratarse el túnel La Avanzada de un túnel donde se producen congestiones recurrentes, se plantea el caso del túnel real en sentido Bilbao congestionado en el momento de producirse el incendio el túnel (no debido a un accidente, sino por ejemplo a una avería propia de un vehículo), con todos los vehículos parados en toda la longitud desde su punto de ocurrencia hasta la boca de entrada.

La evacuación comienza con las personas del primer vehículo no implicado en el incendio y más próximo a él, buscando la salida de emergencia más próxima según los recorridos de evacuación. La salida de los usuarios de sus vehículos y el comienzo de su proceso de evacuación se debe a uno de estos dos posibles motivos:

- La llegada hasta el vehículo de los usuarios de vehículos precedentes, en su huida hacia la boca de entrada.
- El alcance, por parte del humo, del vehículo.

Anejo 12. Análisis de Riesgos

5.2.3 Servicios de emergencia

En la siguiente tabla se muestran los valores del Factor de servicios de emergencia ($F_{eq_{SSEE}}$) de la MARTBI:

Tiempo de llegada de los servicios de emergencia tras un incidente	Factor de servicios de emergencia $F_{eq_{SSEE}}$
$T_{SSEE} \leq 5$ minutos	0,85
$5 < T_{SSEE} \leq 10$ minutos	1,00
$10 < T_{SSEE} \leq 15$ minutos	1,15
$T_{SSEE} > 15$ minutos	1,25

Tabla 19. Factor de proximidad de los servicios de emergencia de la MARTBI

Con relación a la aplicación de este factor, la metodología MARTBI indica que el “*tiempo de respuesta de los servicios de emergencia ante un aviso, medido desde el inicio de la incidencia. Este tiempo es conveniente que sea determinado a partir de tiempos de respuesta a situaciones reales o ante simulacros de emergencia*”. En este sentido, el OITB ha transmitido al consultor que “*habitualmente estos tiempos de detección, aviso y reacción no suelen ser inferiores a 3-5 minutos*”, por lo que en este análisis se aplicará la suma del tiempo de recorrido de los servicios de emergencia hasta el túnel más el tiempo medio de detección, aviso y reacción de 4 minutos.

El Servicio de Emergencia más próximo al túnel La Avanzada es el Parque de Bomberos Artaza, cuya dirección es Avenida Basarte nº22, Leioa. Para el cálculo de las distancias y tiempos de llegada a las bocas del túnel se ha tenido en consideración la reordenación de los accesos y salidas en el entorno del túnel, el cual afecta al recorrido a la boca Bilbao con relación al estado actual) y una situación de tráfico fluido para un turismo el cual cumple las limitaciones de velocidad y restricciones:

- Boca Getxo: 800 metros y tiempo de llegada inferior a 1 minuto.
- Boca Bilbao: 2,7 km y 5 minutos.

El tiempo total para la aplicación del factor de servicios de emergencias del túnel real es por lo tanto de 9 minutos.

En el caso del túnel virtual, la MARTBI establece “*un tiempo de respuesta de los servicios de emergencia ante un incidente de en torno a 15 minutos*” y establece una penalización de la gestión de la explotación en función de la no realización de simulacros: “*Para túneles Tipo I en fase de servicio, en caso de que en el túnel no se haya realizado ningún simulacro a escala natural, se aumentará los tiempos de llegada de servicios de emergencia en 2 minutos al tiempo estimado en el apartado de factor de proximidad de servicios de emergencia*”. El tiempo total para la aplicación del factor de servicios de emergencias del túnel virtual es por lo tanto de 19 minutos.

En el desarrollo de este AARR, para el cálculo de los criterios de equipamiento se ha considerado:

- Túnel real: tiempo de llegada de 9 minutos (sin penalización por simulacro, si considera que se realizará antes de la puesta en servicio) y un valor de $F_{eq_{SSEE}} = 1,00$.
- Túnel virtual: tiempo de 19 minutos y simulacros realizados. $F_{eq_{SSEE}} = 1,25$.

5.2.4 Escenarios

Se analizan todos los escenarios indicados en la MARTBI:

- Escenario 1, E1:** Incendio de un vehículo ligero de hasta 8MW de potencia.
- Escenario 2, E2:** Incendio de un vehículo ligero y un vehículo pesado de 30 MW de potencia.
- Escenario 3, E3:** Incendio de un vehículo ligero y un autobús de 15 MW de potencia.
- Escenario 4, E4:** Incendio de un vehículo pesado y un autobús de 30 MW de potencia.
- Escenario 5, E5:** Incendio de un vehículo pesado y otro ligero, de 100 MW de potencia.

Con relación a los dos vehículos que provocan cada uno de los incendios, se considera que sus ocupantes resultan fallecidos, salvo en el caso de los pasajeros del bus, sobre los cuales se estudia la autoevacuación de todos sus ocupantes.

5.2.5 Probabilidad de ocurrencia de cada escenario

Como el porcentaje de vehículos pesados del día medio en el túnel es de 3,00% y para el cálculo de la intensidad por carril se ha dividido la IMD por los cuatro carriles existentes.

La probabilidad de ocurrencia de cada escenario influenciada por la IMD se obtiene multiplicando por un factor corrector denominado F_{IMD} , que se calcula a través de la siguiente formula:

$$F_{IMD} = \frac{ACV_{TUBO}}{ACV_{IMDc=2.000}} = \frac{b \times (N^{\circ}carriles \times IMD_c)^a}{b \times (N^{\circ}carriles \times 2.000)^a} = \left(\frac{IMD_c}{2.000}\right)^a$$

Respecto a la accidentalidad relacionada con la velocidad de diseño de la vía en la que se encuentra el túnel o con respecto al exigido por normativa, en la descripción del factor de velocidad en los accesos o en el interior del túnel, la MARTBI indica que “*se considera la influencia que tiene la reducción o aumento de la velocidad de circulación en la accidentalidad, suponiendo que una reducción en el límite de velocidad ocasionará una disminución de la velocidad en los vehículos, y viceversa. Existen diferentes modelos matemáticos para cuantificar la influencia que tiene la velocidad en el riesgo de accidentes (...). De forma conservadora se adopta un aumento/reducción de la accidentalidad en un 1%*”.

En el caso del túnel La Avanzada, la velocidad de circulación homogénea del entorno metropolitano de Bilbao de 80 km/hora como la velocidad de diseño, y se emplea el parámetro de Autopistas y Autovías. Tal y como se ha descrito en el apartado correspondiente, los volúmenes diarios considerados en el AARR son:

- IMD túnel real = 106.629 vehículos día.
- IMD túnel virtual = 72.131 vehículos día.

Siendo por lo tanto los valores empleados para el cálculo del F_{IMD} los siguientes:

- ACV = Accidentes con víctimas.
- a = 0,7277 en Carreteras Convencionales y 0,9291 en Autopistas y Autovías.
- b = 0,0005.
- IMD_c túnel real = 25.059 vehículos / carril día.
- IMD_c túnel virtual = 18.033 vehículos / carril día.

El factor corrector de IMD del túnel real es:

$$F_{IMD} = \left(\frac{IMD_c}{2000}\right)^a = \left(\frac{26.657}{2.000}\right)^{0,9291} = 11,09272$$

En el caso del túnel virtual:

$$F_{IMD} = \left(\frac{IMD_c}{2000}\right)^a = \left(\frac{18.033}{2.000}\right)^{0,9291} = 7,71474$$

Realizando una interpolación lineal a partir del porcentaje de vehículos pesados y aplicando el factor corrector de la intensidad de tráfico diaria, se obtiene el peso de cada escenario:

	Probabilidad de ocurrencia	Probabilidad de ocurrencia corregida, Túnel Real	Probabilidad de ocurrencia corregida, Túnel Virtual
E1	85,00%	942,88%	655,75%
E2	11,00%	122,02%	84,86%
E3	2,00%	22,19%	15,43%
E4	1,00%	11,09%	7,71%
E5	1,00%	11,09%	7,71%

Tabla 20. Probabilidad de ocurrencia de cada escenario y cada túnel

Anejo 12. Análisis de Riesgos

5.2.6 Posicionamiento del incendio en el túnel

La MARTBI determina el posicionamiento del incendio en el túnel basado en la circulación en el túnel, unidireccional o bidireccional y la disposición de salidas de emergencia.

En el caso del túnel proyectado con longitud total de 824,00 metros, tanto el túnel real como el virtual disponen de salidas de emergencia. Con relación a la direccionalidad, aunque a efectos de circulación el túnel La Avanzada es unidireccional, a efecto de ventilación se trata de un túnel bidireccional.

En este sentido, para túneles de circulación unidireccional *con salida/s de emergencia en el túnel real y en el virtual*, la MARTBI indica:

- *El incendio se posicionará coincidiendo con una salida de emergencia, tanto para el caso del túnel real como para el caso del túnel virtual, realizándose el análisis del mayor tramo de túnel entre dos salidas que tengan una tercera entre ellas (en la que se produce el incendio). Así pues, el tramo de estudio quedará definido por las salidas inmediatamente anterior y posterior a aquella que ha quedado inhabilitada por el incendio.*

En el caso de túneles bidireccional *con salida/s de emergencia en el túnel real y en el virtual*, la MARTBI indica:

- *Se seguirá el mismo criterio que para túneles unidireccionales, tanto para el túnel real como para el virtual.*

La MARTBI por lo tanto no diferencia el posicionamiento del incendio entre túneles unidireccionales y bidireccionales, por lo tanto, la posición del incendio a emplear es:

En una salida de emergencia, tanto para el caso del túnel real como para el caso del túnel virtual, realizándose el análisis del mayor tramo de túnel entre dos salidas que tengan una tercera entre ellas.

Para la elección del sentido a estudiar, se ha procedido a analizar las características tanto geométricas como de tráfico que representan mayor riesgo para los usuarios:

- Volumen de tráfico por calzada:** En la hora punta del día laborable medio anual, el reparto es 55,55% sentido Bilbao y 44,45% sentido Getxo. El sentido a analizar se encuentra cogestionado.
- Pendiente Longitudinal y velocidad de autoevacuación:** Con relación con la influencia en la velocidad de autoevacuación, el interior del túnel La Avanzada presenta una pendiente ascendente en sentido Getxo, valor ponderado del 2,75% y máxima del 5,38% entre las galerías G3 y G4. Por lo tanto, la velocidad de autoevacuación de los usuarios que circulan en sentido Bilbao se reduce por ser de valores superiores al 3,00%.
- Pendiente Longitudinal y avance de humos:** En el interior de un túnel unidireccional, el sentido de circulación de mayor riesgo es el de pendiente descendente en sentido del tráfico que favorezcan el flujo del humo en sentido contrario al de circulación, porque el humo avanzará hacia donde los vehículos están detenidos.

En consideración del criterio de posicionamiento establecido por la MARTBI y los parámetros anteriormente descritos que penalizan el sentido Bilbao, el sentido seleccionado para posicionar el incendio es el sentido Bilbao. En el caso del túnel real, el incendio se sitúa a la altura de la Galería 3:

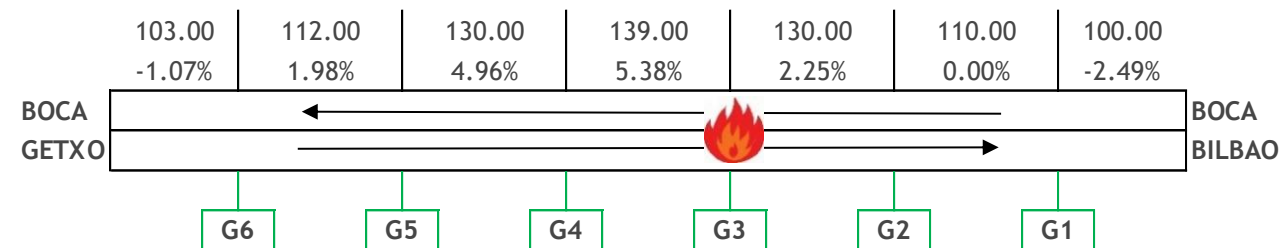


Figura 17: Posicionamiento del incendio en el túnel real

Para definir el posicionamiento del incendio en el túnel virtual, se ha aplicado la interdistancia máxima entre salidas de emergencia establece la MARTBI "cada 375 m" para un túnel de 824,00 metros de longitud, es decir, el túnel dispone de dos salidas de emergencia a 247,67 metros de distancia. En el caso del túnel virtual, la

pendiente longitudinal del túnel es del 3,00% por lo que el posicionamiento en la Galería 1 o 2 es indistinto. El incendio se sitúa en la Galería 1.

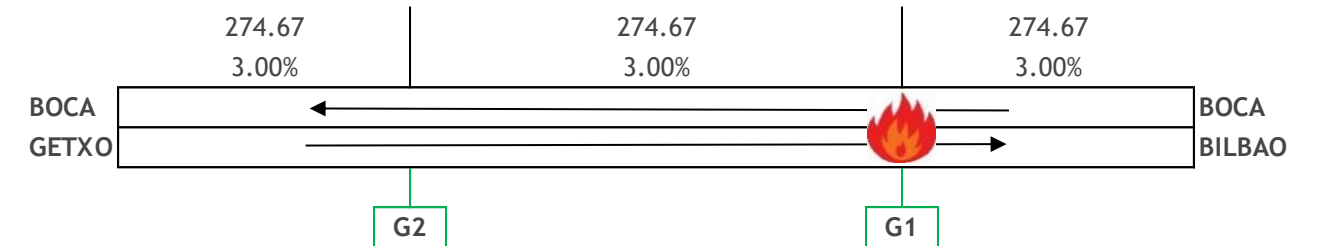


Figura 18: Posicionamiento del incendio en el túnel virtual

5.2.7 Modelo de ventilación

En relación con la disposición o no de una ventilación forzada en un túnel de la red de carreteras de Bizkaia, el Borrador de la IT IV Ventilación exige que "para túneles integrados, en fase de proyecto, es necesario evaluar las necesidades de ventilación a través de un Estudio de Ventilación mediante el cual se justificará la capacidad del túnel para alcanzar los requerimientos de seguridad (...).

Para la realización del Estudio de Ventilación se utilizarán herramientas avanzadas de cálculo (Dinámica de Fluidos Computacional) que permitan considerar dichas variables de una forma realista. (...) En el ámbito de aplicación de la presente norma, y prescindiendo de las ventajas y desventajas de otros tipos de ventilación, se utilizará Ventilación de Tipo Longitudinal, salvo que por las especiales características del túnel a estudio, el Estudio de Ventilación justifique la necesidad de ser utilizado cualquier otro tipo, pudiéndose utilizar otros sistemas de ventilación como longitudinal con extracción intermedia, transversal, semitransversal, mixto..."

Dado que el túnel estará integrado y debido a la longitud del túnel de La Avanzada, se considera la instalación de un sistema de ventilación forzada. Este análisis de riesgo se desarrolla mediante la implementación de una ventilación longitudinal automatizada en el túnel y por lo tanto mediante el Método Unidimensional de Ventilación.

La simulación unidimensional del túnel que analiza el movimiento del humo en cada uno de los escenarios y posiciones de los incendios se ha realizado mediante el software comercial IDA-TUNNEL, el cual permite la completa simulación del túnel a lo largo del tiempo y analizar las situaciones transitorias iniciales de interrupción de la circulación normal por el accidente que desemboca en incendio.

El IDA-Tunnel es un software que permite desarrollar un modelo de ventilación unidimensional (1-D) para el cálculo de la ventilación en redes de túneles. El modelo se construye a partir de las características de la red subterránea, pudiendo considerar las dimensiones geométricas de la red, la climatología del lugar y propiedades del terreno, la información sobre los elementos de ventilación, circulación y tipo de vehículos, cargas térmicas asociadas a equipamiento u ocupación de personas, entre otros aspectos. El modelo generado permite estudiar el comportamiento térmico de la red de túneles en su modo habitual de funcionamiento, modelar los efectos del calor y del humo generados en un incendio o analizar el comportamiento del sistema en situaciones de emergencia.

Los resultados que se obtienen son la presión, la temperatura, la humedad y la velocidad del aire en todos los puntos de la red. Se evalúa la propagación del humo en el túnel a lo largo del tiempo y delimita las posibles zonas de riesgo para los usuarios durante el proceso de evacuación. En este análisis de riesgos, se considera el coeficiente de extinción (k) de 0,4 m⁻¹ como valor de opacidad en el aire a partir del cual la visibilidad en la sección del túnel se verá ampliamente comprometida, no obstante, la falta de visibilidad durante un corto periodo de tiempo no significa que una persona fallezca. Dependiendo del escenario, se añade un tiempo adicional de evacuación a partir del cual una persona se considera víctima de los humos desestratificado.

Los parámetros principales y criterios de diseño para el modelo de ventilación en el túnel real son los siguientes:

- Dimensionamiento del Sistema de Ventilación: Incendio de 100 MW de potencia.
- N° de ventiladores: 4 ventiladores a 60 metros de la entrada de la boca de Getxo y otros 4 ventiladores a 60 metros de la entrada de la boca de Bilbao.
- Ventilador de 1,4 m de diámetro y 32,3 m/s de velocidad de chorro.
- Diferencia de presión en bocas de 15,73 Pa en dirección Bilbao-Getxo.

Anejo 12. Análisis de Riesgos

- Condiciones ambientales: Temperatura exterior y de pared de 20°C a presión atmosférica 101 kPa (presión atmosférica correspondiente a una altitud de 50 metros).
- Condiciones del tráfico: Vehículos detenidos en sentido Bilbao y circulación densa en sentido Getxo, con intensidad horaria de 3.621 vehículos.
- Paredes: Se han considerado las paredes como hormigón con una rugosidad igual a 0,025.

En el caso del túnel virtual son:

- Dimensionamiento de la Sistema de Ventilación: Incendio de 30 MW de potencia.
- Nº de ventiladores: 2 ventiladores a 60 metros de la entrada de la boca de Getxo y otros 2 ventiladores a 60 metros de la entrada de la boca de Bilbao, posición de rendimiento máximo de los ventiladores.
- Ventilador de 1,4 m de diámetro y 32,3 m/s de velocidad de chorro.
- Diferencia de presión en bocas de 15,73 Pa en dirección Bilbao-Getxo.
- Condiciones ambientales: Temperatura exterior y de pared de 20°C a presión atmosférica 101 kPa (presión atmosférica correspondiente a una altitud de 50 metros).
- Condiciones del tráfico: Tráfico fluido en ambos sentidos e intensidad por sentido de 2.860 vehículos.
- Paredes: Se han considerado las paredes como hormigón con una rugosidad igual a 0,025.

5.3 Análisis del Túnel Real

5.3.1 Características del túnel

LA AVANZADA	TÚNEL REAL
Longitud	824,00 m
Tipo de vía a la que pertenece	Autovía o Autopista
IMD, día laborable	116.359 veh/día
% Pesados diarios, en hora punta	3,50%
Intensidad hora punta - Sentido Bilbao	5,166 veh/hora
Intensidad hora punta - Sentido Getxo	4,134 veh/hora
Nivel de Servicio - Sentido Getxo	F
Nivel de Servicio - Sentido Bilbao	F
Carácter del túnel	Urbano
Direccionalidad de circulación	Unidireccional
Vehículos / carril / día	25.060 veh/carril/día
Carriles por sentido	2 carriles
Anchura de carril	3,40 m
Anchura arcén derecho	0,50 m
Anchura arcén izquierdo	0,50 m
Apartaderos	No requiere
Anchura de aceras	No dispone
Sección transversal	87,00 m ²
Tipo de pavimento	No drenante
Gálibo de circulación	4,50 m
Salidas de emergencia interiores	Si
Nº de salidas de emergencia	6
Señalización de salidas de emergencia y vías de evacuación	Si
Distancia máxima entre salidas de emergencia	139,00 m
Pendiente longitudinal máxima y considerada en el AARR	5,38%
Pendiente longitudinal Ponderada del túnel	2,75%

LA AVANZADA	TÚNEL REAL
Velocidad Límite	80,00 km/h
Velocidad Diseño	80,00 km/h
Sistema de ventilación automatizado	Si
Carácter del túnel a efectos de ventilación	Bidireccional
Sistema de detección de incendios	Si
Revestimiento hormigón en el túnel	Revestido y con barreras
Explanadas en bocas	No
Centro de Control permanente y vigilado con control de accesos	Si (24h/7días)
Gestionado con dos o más operadores de sala	Si
Protocolos automatizados de incidentes de incendio	Si
Permitido el adelantamiento a los vehículos pesados	Si
Control de radar con posibilidad de sanción	Si, en las aproximaciones
Señal activa de radar en bocas	Si
Drenaje de líquidos tóxicos o inflamables	No
Iluminación de seguridad y evacuación garantizada (SAI + G.E.)	Si
Postes SOS con extintores	Si
Megafonía	En el interior, salidas, vías de evacuación y bocas
Señalización vial obligatoria	Si
Señalización dinámica: PMVs, semáforos, CLVs y AFs	En los accesos
Sistema de cierre de túnel	Semáforos, barreras y AFs bocas con C.Control y DAI
Sistema de detección, clasificación y conteo de vehículos	Si
Conexiones transversales interiores adaptadas para los SSEE	No requiere
Cruce de mediana en las bocas	Si
Doble suministro eléctrico	Si
Mediana en túnel	No requiere
CCTV con DAI	Si
Cámaras térmicas en el interior	Si
Sistema de extinción (BIEs e hidrantes, red propia y extintores)	Si
Semáforos interiores	No requiere
Sistema de radiocomunicaciones para los SSEE	Si
Mensajería de emergencia por canales de radio	Si
Simulacro a escala natural realizado	Si
Tiempo de llegada de los Servicios de Emergencias	9 minutos

Tabla 21. Características del túnel real

Anejo 12. Análisis de Riesgos

5.3.2 Determinación del factor corrector del coeficiente de riesgo

5.3.2.1 Factor de ponderación real por criterios de diseño geométrico del túnel, Fg

Este factor de ponderación depende a su vez de una serie de factores geométricos del túnel de acuerdo con la siguiente expresión:

$$F_g = F_{g\text{CAR}} \cdot F_{g\text{ARC}} \cdot F_{g\text{APA}} \cdot F_{g\text{ACE}} \cdot F_{g\text{PAV}} \cdot F_{g\text{PTE}} \cdot F_{g\text{RIG}}$$

Factor de anchura de carriles, Fg car		
	Anchura de carril (m)	Factor de ponderación
	>3,6	1.03
	3,4 - 3,6	1.00
	3.2	1.03
	3	1.08
	< 3	1.15

Anchura de carriles	3.40 m
Fg car	1.000

Factor de anchura de arcenes, Fg arc		
	Anchura de arcén derecho (m)	Factor de ponderación
	≥2,5	0.90
	1	1.00
	<1	1.05

Anchura de arcén derecho	0.50 m
Fg arc	1.050

Factor de existencia de apartaderos en túnel, Fg apa		
	Existencia de apartaderos	Factor de ponderación
	Si	1.00
	No requiere	1.05
	No	1.05

Existencia de apartaderos necesarios	No requiere
Fg apa	1.050

Factor de aceras para evacuación, Fg ace		
	Anchura de aceras(m)	Factor de ponderación
	≥0,75	1.00
	<0,75	1.05
	No dispone	1.10

Anchura de la acera	No dispone
Fg ace	1.100

Factor de tipo de pavimento, Fg pav		
	Tipo de pavimento	Factor de ponderación
	No drenante	1.00
	Drenante	1.05

Tipo de firme	No drenante
Fg pav	1.000

Factor de pendiente longitudinal, Fg pte		
	Pendiente del túnel	Factor de ponderación
	0%	0.955
	<3%	0,955+(0,015*pendiente(%))
	3%	1
	>3%	1+(0,02*(pendiente(%)-3%))

Pendiente máxima entre 2 salidas o media ponderada	5.38%
Fg pte	1.0476

Factor de existencia de un revestimiento rígido y barreras en el túnel, Fg rig		
	Tipo de revestimiento	Factor de ponderación
	Sin revestimiento rígido, sin instrumentación y sin barreras	1.06
	Sin revestimiento rígido, instrumentado y sin barreras	1.04
	Sin revestimiento rígido, instrumentado y con barreras	1.02
	Revestido y con barreras	1.00

Tipo de revestimiento y barreras	Revestido y con barreras
Fg rig	1.000

FACTORES POR CRITERIOS DE DISEÑO GEOMÉTRICO	VALORES
Factor de anchura de carriles, Fg car	1.0000
Factor de anchura de arcenes, Fg arc	1.0500
Factor de existencia de apartaderos en túnel, Fg apa	1.0500
Factor de aceras para evacuación, Fg ace	1.1000
Factor de tipo de pavimento, Fg pav	1.0000
Factor de pendiente longitudinal, Fg pte	1.0476
Factor de existencia de un revestimiento rígido y barreras en el túnel, Fg rig	1.0000
Factor de ponderación por criterios de diseño geométrico del Túnel Real, Fg	1.27048

Anejo 12. Análisis de Riesgos

5.3.2.2 Factor de ponderación real por criterios de equipamiento del túnel, F_{eq}

$$F_{eq} = F_{eq_{SSEE}} \times F_{eq_{CC}} \times F_{eq_{OTR}}$$

Factor de proximidad de los servicios de emergencia, Feq ssee		
	Tiempo de llegada de los SSEE	Factor de ponderación
	t ≤ 5 min	0.85
	5 < t ≤ 10 min	1.00
	10 < t ≤ 15 min	1.15
	t > 15 min	1.25
	Aumento de 2 minutos para túneles Tipo I sin simulacro a escala natural	
Tiempo de llegada de los SSEE (real)		9 min
Aumento por no disponer de simulacro a escala natural		0 min
Feq ssee		1.000

Factor de existencia de C. Control permanente con control de acceso, Feq cc		
	Existencia de Centro de Control	Factor de ponderación
	SI (24h/7días)	0.90
	Si	0.95
	No	1.02
Existencia de Centro de Control		Si (24h/7días)
Feq cc		0.900

Factor de otras mejoras sobre dotaciones de seguridad mínimas, Feq otr		
	Equipamiento adicional	Factor
Otras mejoras	Conexiones transversales interiores adaptadas para los SSEE	No requiere
	Cruce de mediana en las bocas	Si
	Doble suministro eléctrico	Si
	Mediana en el interior	No requiere
	Sistema de extinción (BIEs e hidrantes, red propia y extintores)	Si
	Semáforos interiores	No requiere
	Señal activa de radar en bocas	Si
	Cámaras térmicas en el interior	Si
	Sistema de radiocomunicaciones para los SSEE	Si
Feq otr		0.900

FACTORES POR CRITERIOS DE EQUIPAMIENTO		VALORES
Factor de proximidad de los servicios de emergencia, Feq ssee		1.0000
Factor de existencia de C. Control permanente con control de acceso, Feq cc		0.9000
Factor de otras mejoras sobre dotaciones de seguridad mínimas, Feq otr		0.9000
Factor de ponderación por criterios de equipamiento del Túnel Real, Feq		0.81000

5.3.2.3 Factor de ponderación real por criterios de explotación del túnel, F_{ex}

Este factor de ponderación por criterios de explotación del túnel dependerá de dos factores, según la siguiente expresión:

$$F_{ex} = F_{ex_{AVP}} \cdot F_{ex_{RAD}} \cdot F_{ex_{VLIM}}$$

Factor de permisividad de adelantamiento de veh. pesados, Fex avp		
Restricción adelantamiento a VP	% VP	Factor de ponderación
Sin restricción	Cualquiera	1.00
Con restricción	5.00%	0.97
Con restricción	10.00%	0.93
Con restricción	15.00%	0.90
Con restricción	20% o mas	0.87
Adelantamiento permitido Si		
Porcentaje VP		3.00%
Recta		Sin restricción
Fex acp		1.0000

Factor de existencia de sistemas de control de velocidad en los accesos e interior, Fex rad		
	Existencia de radar en accesos o interior	Factor de ponderación
	No	1
	Si, en las aproximaciones	0.96
	Si	0.92
Existencia de control radar con posibilidad de sanción Si, en las aproximaciones		
Fex rad		0.960

Factor de velocidad en los accesos o en el interior, Fex Vlim		
	Velocidad de Diseño (km/hora)	Velocidad Límite (km/hora)
	80	80
	$F_{exVlim} = 1 - 0.4 \frac{V_{DISEÑO} - V_{LIMITE}}{V_{DISEÑO}}$	
Velocidad en los accesos o en el interior, Fex Vlim		
Fex Vlim		1.000

FACTORES POR CRITERIOS DE EXPLOTACIÓN	VALORES
Factor de permisividad de adelantamiento de veh. pesados, Fex avp	1.0000
Factor de existencia de sistemas de control de velocidad en los accesos e interior, Fex rad	0.9600
Factor de velocidad en los accesos o en el interior, Fex Vlim	1.0000
Factor de ponderación por criterios de explotación del Túnel Real, Fex	0.96000

Anejo 12. Análisis de Riesgos

5.3.3 Determinación de usuarios afectados

El incendio se sitúa en la Galería 3 sentido Bilbao, a una distancia de 484,00 metros desde la Boca Getxo y 340,00 metros a la Boca Bilbao. El incendio bloquea el paso e impide la circulación en sentido Getxo.

Al estudiarse el túnel real en sentido Bilbao totalmente congestionado, no es necesario calcular el régimen de circulación libre en este sentido, tampoco por lo tanto la velocidad de congestión ni considerar los criterios de cierre del túnel.

No obstante, en el sentido Getxo se considera la circulación libre en hora punta de 3.621 vehículos /hora. Para determinar el número de vehículos afectados en este sentido se calcula el número de vehículos presentes en el túnel, para lo que se contemplan dos fases: Régimen de circulación libre a 80 km/hora y Congestión.

Régimen de circulación libre: Número de vehículos presentes en el túnel por carril

Longitud de túnel a analizar, Lt sentido Getxo	340,00	m
I, sentido Getxo	0,574	veh./seg./carril
N, sentido Getxo	8.785	veh/carril
	9	veh/carril

Congestión: Velocidad de crecimiento de la cola de vehículos

Vc, sentido Getxo	7,742	m/s
Longitud de cola máxima de vehículos parados desde el foco a la entrada		
Lsalidas, sentido Getxo	340,00	m
Tiempo de remonte de cola; Velocidad de Crecimiento Vc > 1		
t, sentido 1	43,92	s

Para una distancia de 340,00 metros desde el foco del incendio en el sentido Bilbao hasta la boca de entrada sentido Getxo, el tiempo en el que la calzada sentido Getxo se satura de vehículos y la cola llega a la boca de entrada es de 3,92 segundos.

Considerando una distancia de 10 metros entre vehículos precedentes, el número de vehículos presentes en el túnel por carril en el momento del incendio es:

- Sentido Bilbao: 49 vehículos, incluidos los dos que provocan el incendio (directamente implicados) aguas arriba del incendio y 34 vehículos aguas abajo.
- Sentido Getxo: 34 vehículos.

5.3.4 Criterios modificadores adicionales

La MARTBI establece un tiempo de reacción fijo para los usuarios directamente implicados según el tipo de vehículo en el que se encuentre: 90 segundos para ligeros y pesados, excepto autobuses que serán 300 segundos hasta salir el último ocupante. Para calcular la evacuación de los ocupantes del autobús, desde el primero que sale a los 90 segundos hasta el último que sale a los 300 segundos, el intervalo lineal de salida empleado es de 7,24 segundos.

En el caso de los usuarios indirectamente implicados establece un tiempo genérico de 15 segundos, el cual puede sufrir una serie de reducciones en función de los sistemas de seguridad disponibles. A continuación, se muestran los tiempos que se reducen al tiempo preestablecido en disposición de cada sistema:

Megafonía	En salidas de emergencia y vías de evacuación								
Centro de Control y CCTV con DAI Si (24h/7días)									
	<table><tr><th>Sistemas auxiliares y zonas con megafonía</th><th>Reducción del tiempo de reacción</th></tr><tr><td>No</td><td>0</td></tr><tr><td>Únicamente en el interior</td><td>3</td></tr><tr><td>En el interior, salidas, vías de evacuación y bocas</td><td>5</td></tr></table>	Sistemas auxiliares y zonas con megafonía	Reducción del tiempo de reacción	No	0	Únicamente en el interior	3	En el interior, salidas, vías de evacuación y bocas	5
Sistemas auxiliares y zonas con megafonía	Reducción del tiempo de reacción								
No	0								
Únicamente en el interior	3								
En el interior, salidas, vías de evacuación y bocas	5								
Segundos a reducir en el tiempo de reacción	5 segundos								
Señalización dinámica	En los accesos								
Centro de Control y CCTV con DAI Si (24h/7días)									
	<table><tr><th>Localización</th><th>Reducción del tiempo de reacción</th></tr><tr><td>PMVs, ASF y CLVs en los accesos y en el interior</td><td>8</td></tr><tr><td>PMVs, ASF y CLVs solo en los accesos o interior</td><td>4</td></tr></table>	Localización	Reducción del tiempo de reacción	PMVs, ASF y CLVs en los accesos y en el interior	8	PMVs, ASF y CLVs solo en los accesos o interior	4		
Localización	Reducción del tiempo de reacción								
PMVs, ASF y CLVs en los accesos y en el interior	8								
PMVs, ASF y CLVs solo en los accesos o interior	4								
Segundos a reducir en el tiempo de reacción	4 segundos								
Mensajería de emergencia por canales de radio	Si								
Centro de Control y CCTV con DAI Si (24h/7días)									
Los segundos a reducir en el tiempo de reacción	5 segundos								

El tiempo de aplicación es el de mayor valor entre los considerados, resultando un tiempo de reacción de:

$$t_{reacción} = 10 s$$

Para conocer la velocidad de autoevacuación de los usuarios la MARTBI establece dos situaciones; la primera, con visibilidad clara y la segunda, con visibilidad reducida.

Con visibilidad clara, la MARTBI establece tres velocidades, por rangos en función de la pendiente longitudinal pendientes, y el túnel La Avanzada presenta tramos entre galerías con distintas pendientes. Con relación a la velocidad de autoevacuación con visibilidad reducida (por presencia de humo), el túnel real dispone de Iluminación de seguridad y evacuación y la señalización de salidas de emergencia con alimentación garantizada que aumentan la velocidad mínima de 0,30 m/s.

Las velocidades de evacuación en el túnel real son, por lo tanto:

TRAMO	Pendiente	Vel. Vis.Clara (m/s)	Vel. Vis.Reducida (m/s)
Boca de entrada - Galería 6	-1.07%	1,00	0,60
Galería 6 - Galería 5	1.98%	1,00	0,60
Galería 5 - Galería 4	4.96%	0,90	0,60
Galería 4 - Galería 3	5.38%	0,80	0,60
Galería 3 - Galería 2	2.25%	1,00	0,60
Galería 2 - Galería 1	0.00%	1,00	0,60
Galería 1 - Boca de Salida	-2.49%	1,00	0,60

Tabla 22. Velocidades de autoevacuación en el túnel real

Por último, disponer de un sistema de drenaje de líquidos tóxicos y/o postes SOS con extintores, permiten reducir porcentualmente el número de personas afectadas en los escenarios definidos. En este caso, el túnel no dispone de drenaje con arquetas sifónicas y si de postes SOS, por lo que las reducciones de usuarios fallecidos a aplicar son:

Iluminación de seguridad y evacuación	Si	0.5 m/s
Velocidad de autoevacuación con humo desestratificado		
Drenaje de líquidos tóxicos	No	Ninguna
Reducción en el número de personas afectadas		

Anejo 12. Análisis de Riesgos

5.3.5 Proceso de evacuación de usuarios

A continuación, se muestran gráficamente la evacuación y suma de los usuarios fallecidos en cada uno de los cinco escenarios y agrupados por sentidos de circulación. A continuación, se muestran de forma gráfica las evacuaciones separadas por sentidos de circulación, debido a que en el momento del incendio el sentido Bilbao se encuentra congestionado en toda su longitud y en el sentido Getxo en circulación libre, la cual se detiene en el punto donde se produce el incendio.

5.3.5.1 Sentido Bilbao

ESCENARIO 1: Incendio de 8 MW

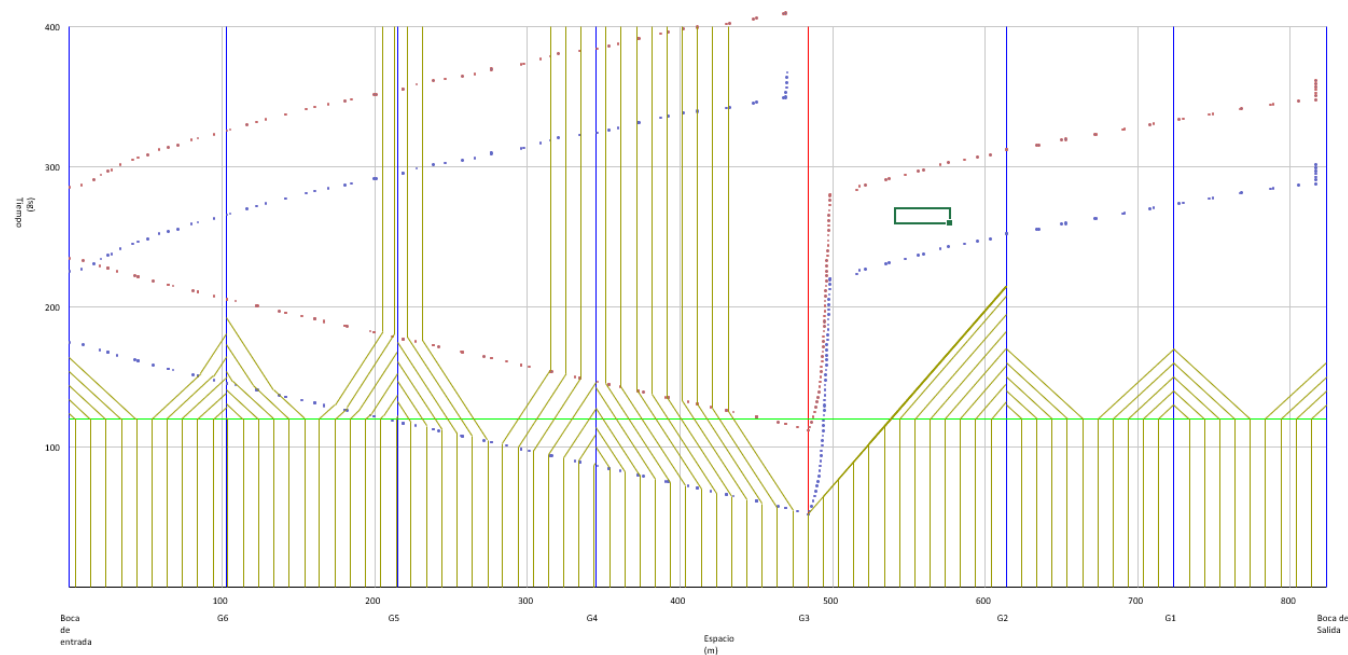


Figura 19: Gráfica de autoevacuación túnel real sentido Bilbao, Escenario 1

Usuarios fallecidos: $1,5 + 1,5 + (16 \text{ veh/carril} * 2 \text{ carriles} * 1,5 \text{ usuarios}) = 51$.
Se reduce a 50,5 usuarios al considerar la parte proporcional de vehículos pesados.

	Usuarios directamente implicados		Usuarios indirectamente implicados (veh./carril)
	Veh. 1	Veh. 2	
Sentido Bilbao	Ligero = 1,5	Ligero = 1,5	47,5
Sentido Getxo	-	-	0

Tabla 23. Víctimas túnel real, Escenario 1

ESCENARIO 2: Incendio de 30 MW

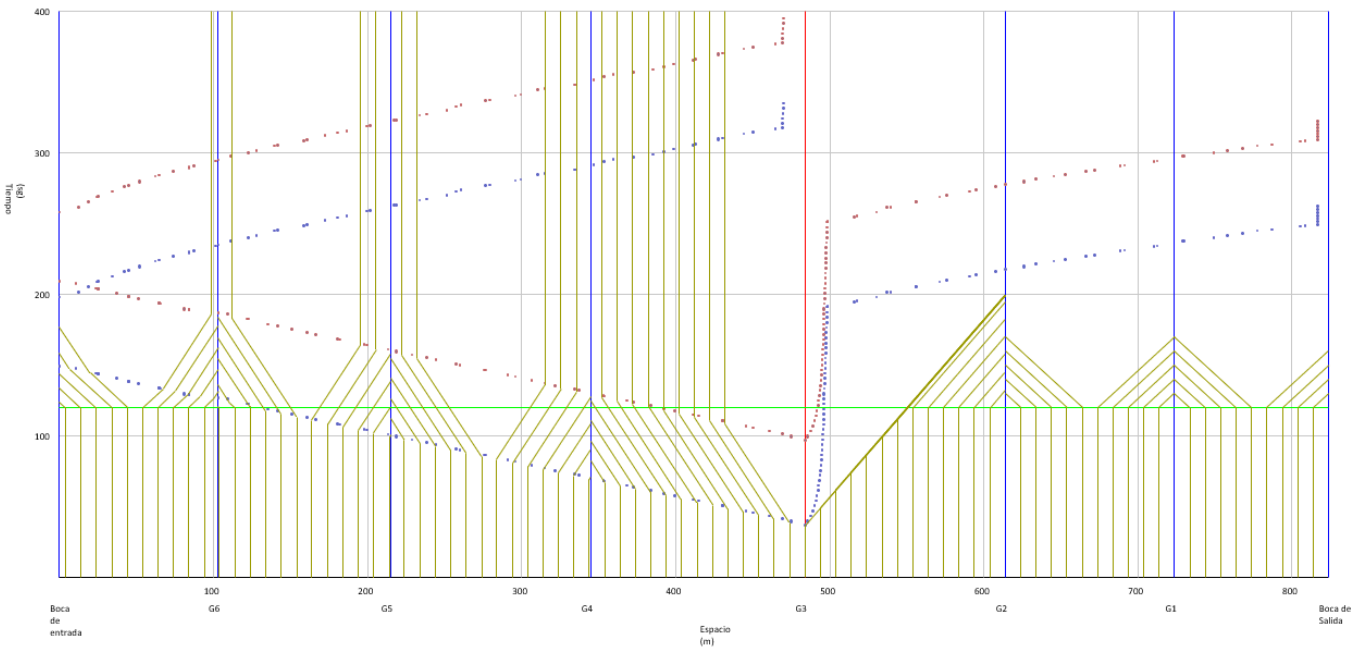


Figura 20: Gráfica de autoevacuación túnel real sentido Bilbao, Escenario 2

Usuarios fallecidos: $1,5 + 1 + (18 \text{ veh/carril} * 2 \text{ carriles} * 1,5 \text{ usuarios}) = 56,5$.

	Usuarios directamente implicados		Usuarios indirectamente implicados (veh./carril)
	Veh. 1	Veh. 2	
Sentido Bilbao	Ligero = 1,5	Pesado = 1	54
Sentido Getxo	-	-	0

Tabla 24. Víctimas túnel real, Escenario 2

Anejo 12. Análisis de Riesgos

ESCENARIO 3: Incendio de 15 MW

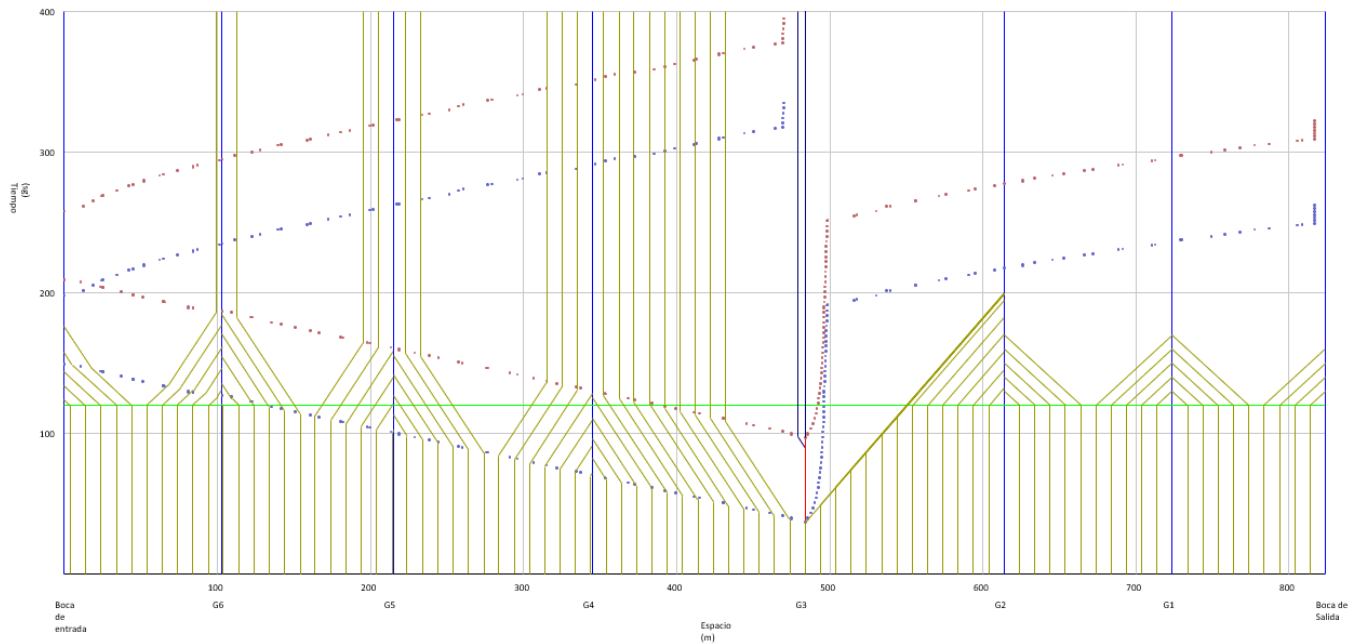


Figura 21: Gráfica de autoevacuación túnel real sentido Bilbao, Escenario 3

Indicar que la autoevacuación de los usuarios del bus no se representa de forma gráfica porque al comienzo de su autoevacuación pasados 90 segundos del incendio, el humo desestratificado (curva punteada superior) ya se sitúa en su posición y todos sus pasajeros fallecen.

Usuarios fallecidos: $1,5 + 30 \text{ (bus)} + (18 \text{ veh/carril} * 2 \text{ carriles} * 1,5 \text{ usuarios}) = 85,5$.

Se reduce a 85 usuarios al considerar la parte proporcional de vehículos pesados.

	Usuarios directamente implicados		Usuarios indirectamente implicados (veh./carril)
	Veh. 1	Veh. 2	
Sentido Bilbao	Ligero = 1,5	Bus = 30	53,5
Sentido Getxo	-	-	0

Tabla 25. Víctimas túnel real, Escenario 3

ESCENARIO 4: Incendio de 30 MW

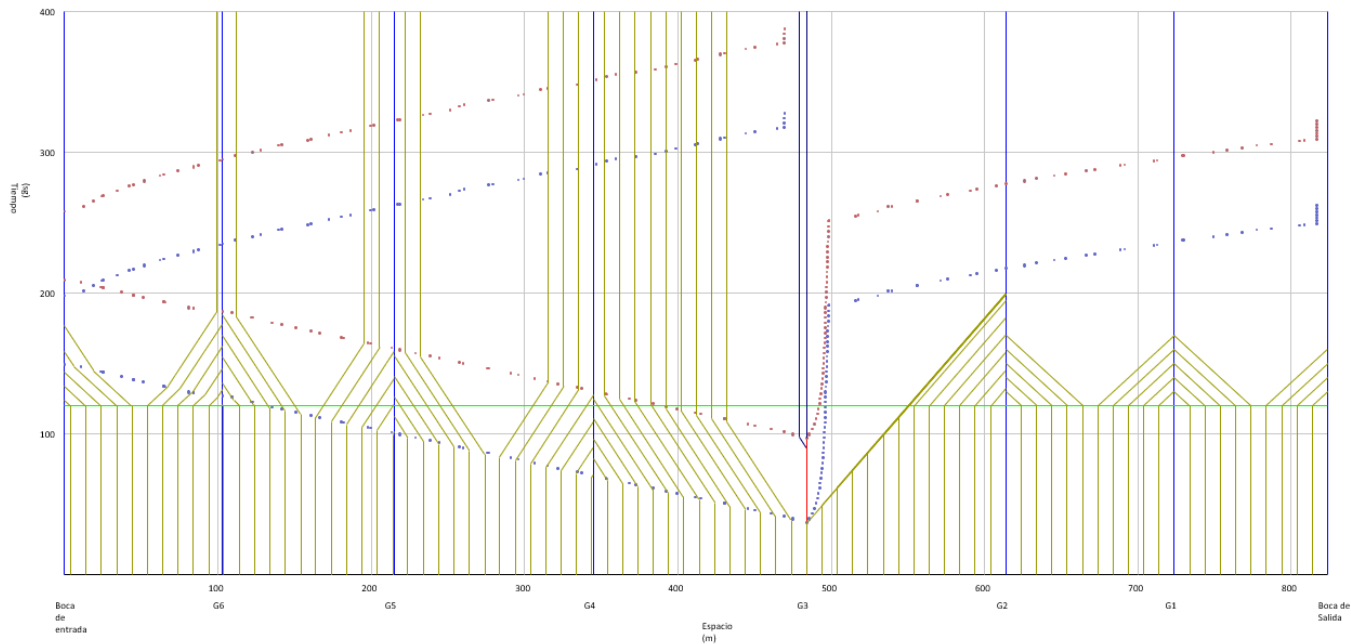


Imagen 1. Gráfica de autoevacuación túnel real sentido Bilbao, Escenario 4

Al igual que en el Escenario 3, pasados 90 segundos del incendio el humo desestratificado (curva punteada superior) ya se sitúa en la posición del bus y todos los usuarios fallecen.

Usuarios fallecidos: $1 + 30 \text{ (bus)} + (18 \text{ veh/carril} * 2 \text{ carriles} * 1,5 \text{ usuarios}) = 85$.

	Usuarios directamente implicados		Usuarios indirectamente implicados (veh./carril)
	Veh. 1	Veh. 2	
Sentido Bilbao	Pesado = 1	Bus = 30	54
Sentido Getxo	-	-	0

Tabla 26. Víctimas túnel real, Escenario 4

Anejo 12. Análisis de Riesgos

ESCENARIO 5: Incendio de 100 MW

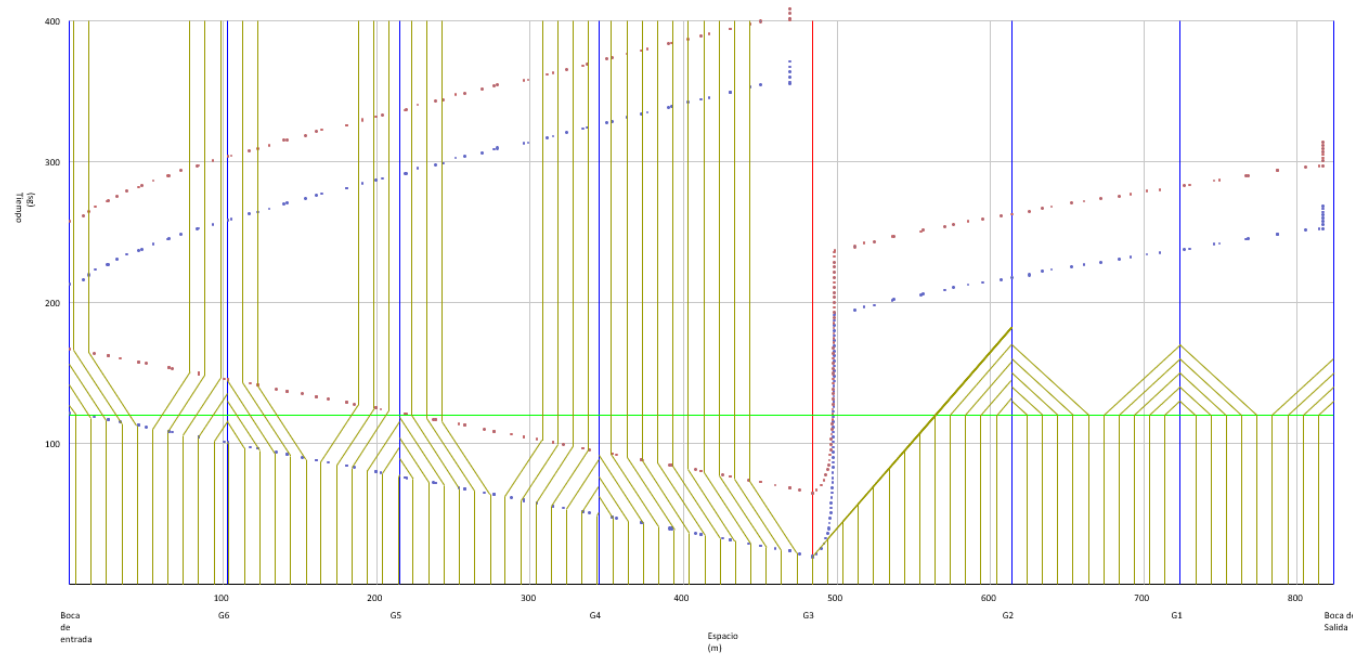


Figura 22: Gráfica de autoevacuación túnel real sentido Bilbao, Escenario 5

Usuarios fallecidos: $1,5 + 1 + (27 \text{ veh/carril} * 2 \text{ carriles} * 1,5 \text{ usuarios}) = 83,5$.

Se reduce a 83 usuarios al considerar la parte proporcional de vehículos pesados.

	Usuarios directamente implicados		Usuarios indirectamente implicados (veh./carril)
	Veh. 1	Veh. 2	
Sentido Bilbao	Ligero = 1,5	Pesado = 1	80,5
Sentido Getxo	-	-	0

Tabla 27. Víctimas túnel real, Escenario 5

5.3.5.2 Sentido Getxo

ESCENARIO 1: Incendio de 8 MW

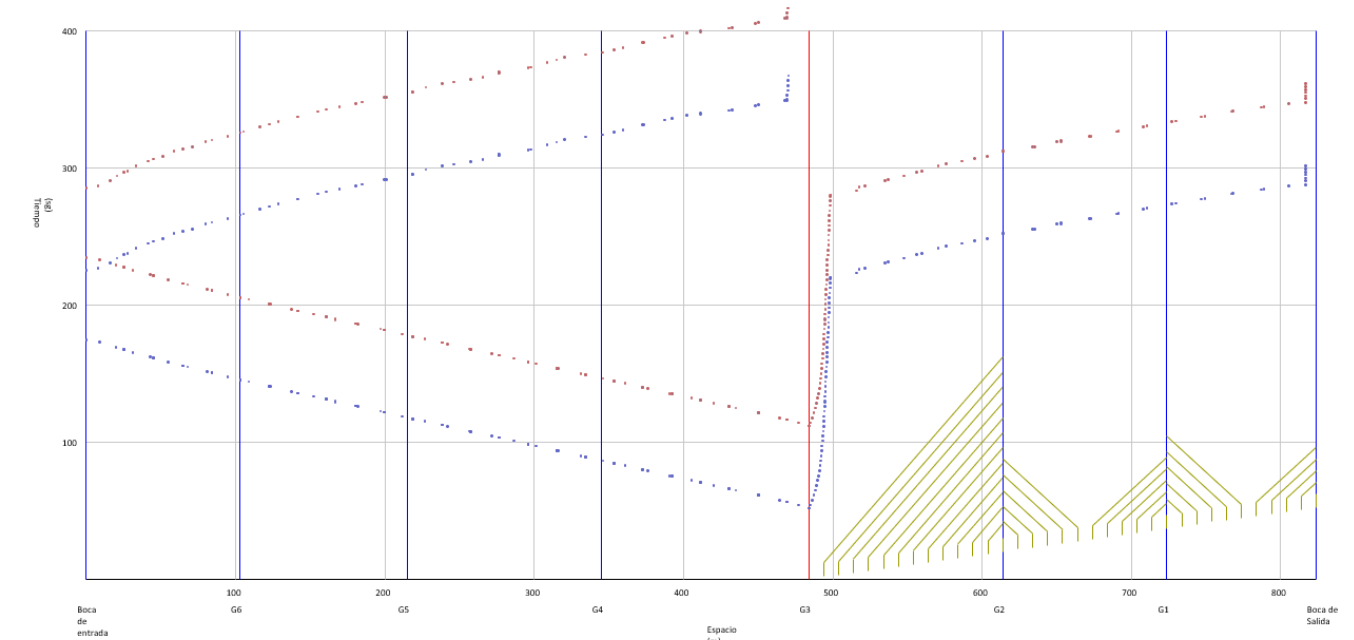


Figura 23: Gráfica de autoevacuación túnel real sentido Getxo, Escenario 1

Ningún usuario fallece en el sentido Getxo.

ESCENARIO 2: Incendio de 30 MW

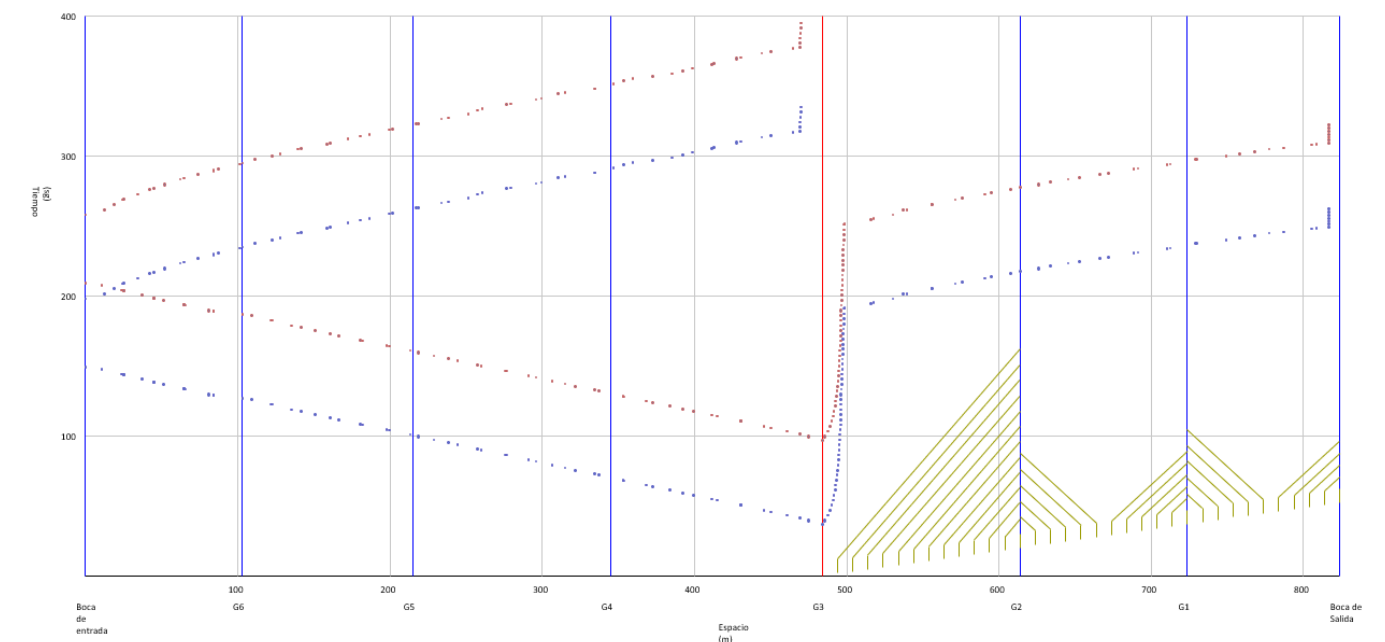


Figura 24: Gráfica de autoevacuación túnel real sentido Getxo, Escenario 2

Ningún usuario fallece en el sentido Getxo.

Anejo 12. Análisis de Riesgos

ESCENARIO 3: Incendio de 15 MW

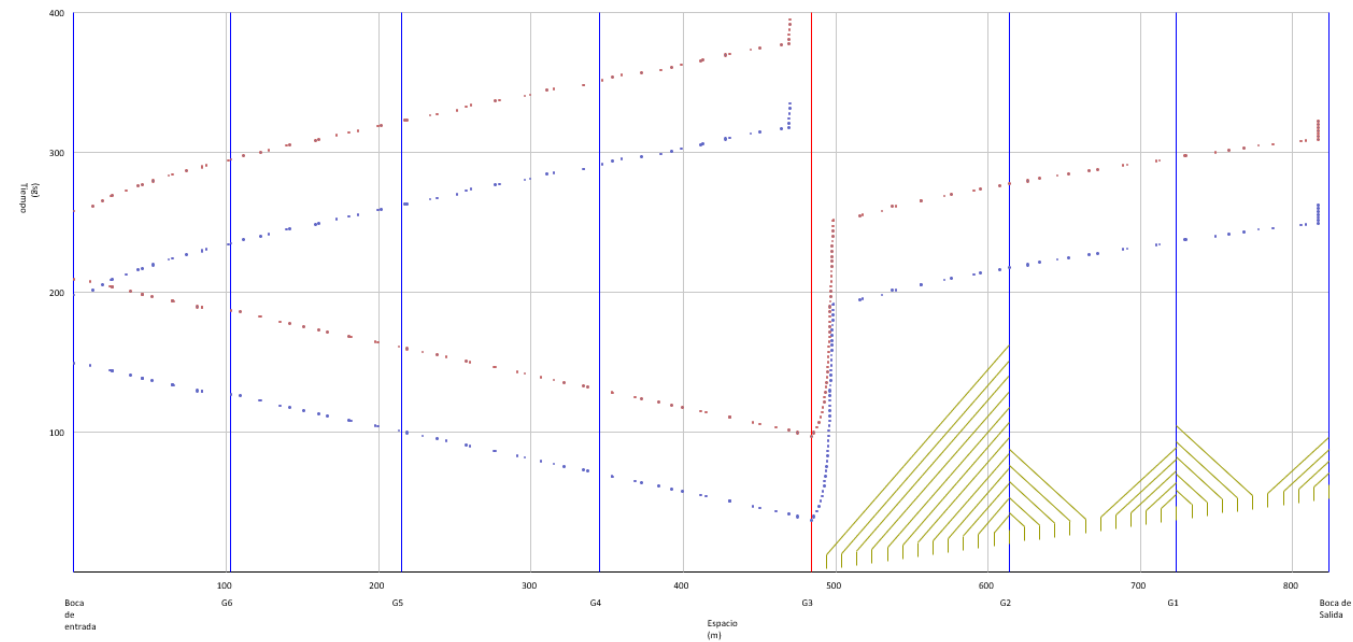


Figura 25: Gráfica de autoevacuación túnel real sentido Getxo, Escenario 3

Ningún usuario fallece en el sentido Getxo.

ESCENARIO 4: Incendio de 30 MW

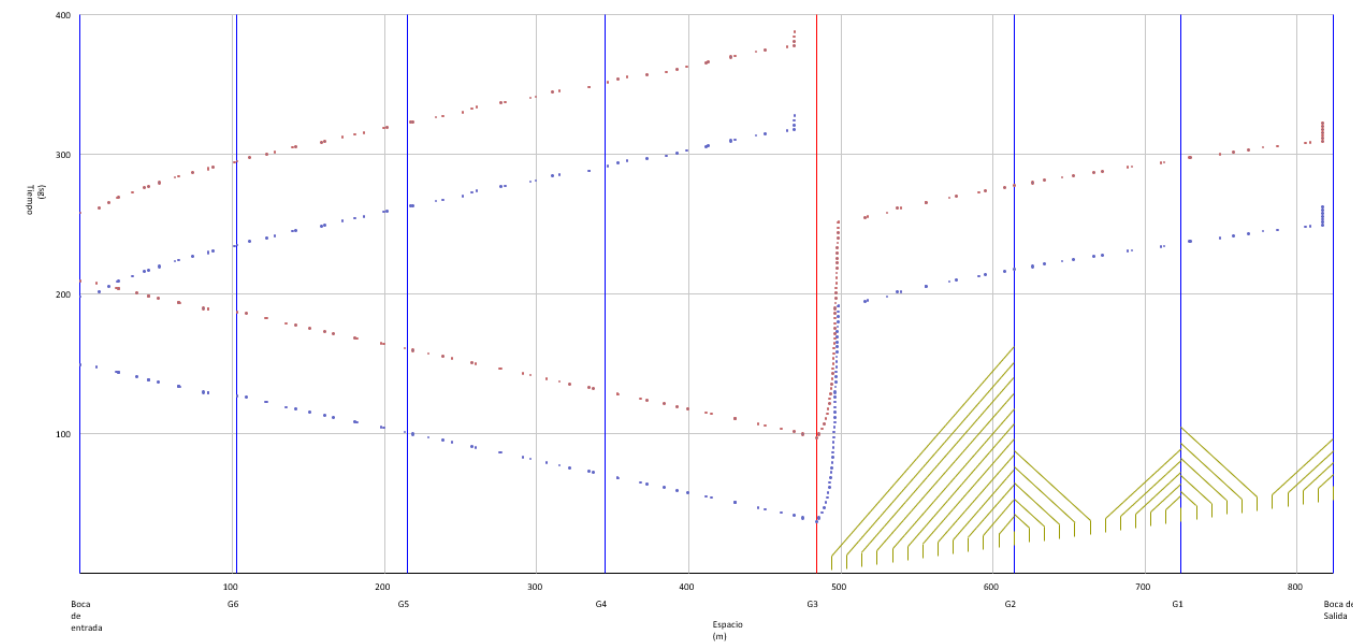


Figura 26: Gráfica de autoevacuación túnel real sentido Getxo, Escenario 4

Ningún usuario fallece en el sentido Getxo.

ESCENARIO 5: Incendio de 100 MW

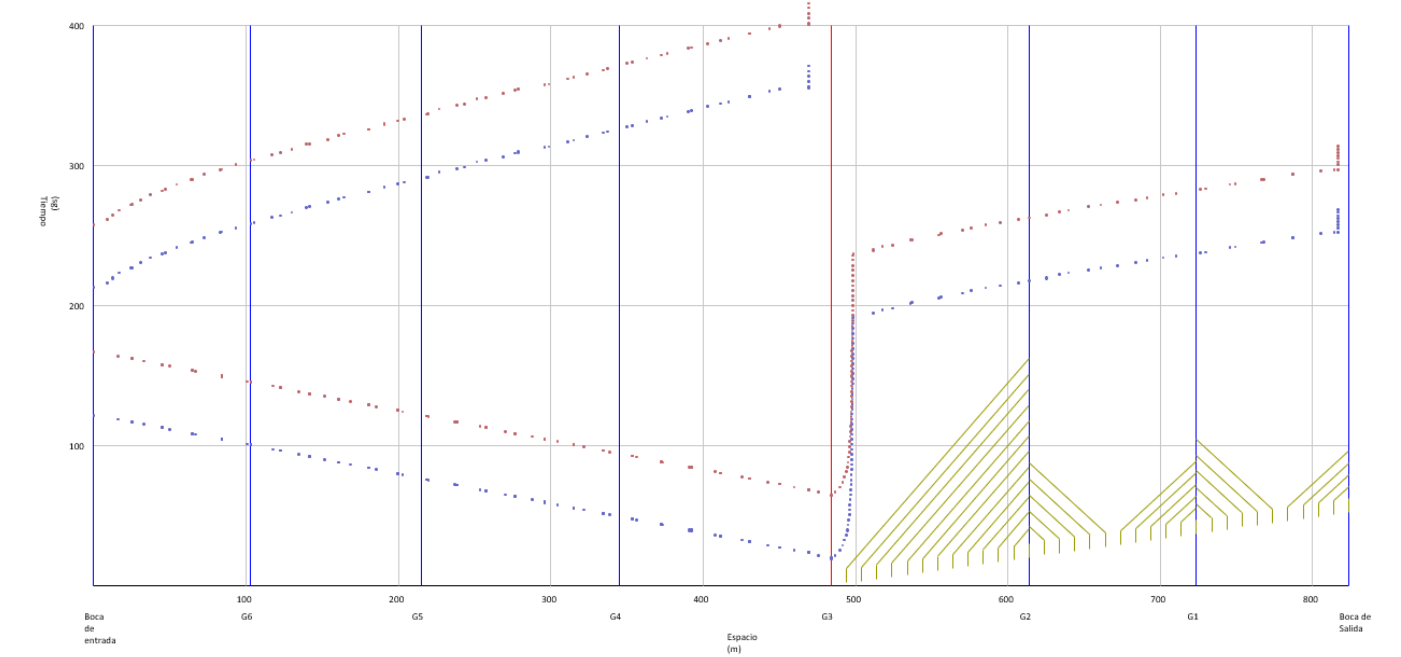


Figura 27: Gráfica de autoevacuación túnel real sentido Getxo, Escenario 5

Ningún usuario fallece en el sentido Getxo.

Anejo 12. Análisis de Riesgos

5.3.6 Cálculo del coeficiente de riesgo del túnel real, CR_{TR}

Tal y como se ha indicado anteriormente, ese valor será el denominado Coeficiente de Riesgo del Túnel Real, CR_{TR} y se calcula mediante la siguiente expresión:

$$CR_{TR} = F_{TR} \times \sum (N^{\circ} \text{ afectados} \times \text{prob. porcentual del escenario } Ei)$$

	Nº DE USUARIOS AFECTADOS			
	Directamente Implicados	Bus	Indirectamente implicados	TOTALES
Escenario 1	3.00	0.00	47.50	50.50
Escenario 2	2.50	0.00	54.00	56.50
Escenario 3	1.50	30.00	53.50	85.00
Escenario 4	1.00	30.00	54.00	85.00
Escenario 5	2.50	0.00	80.50	83.00
				360.00

Reducciones

	REDUCCIÓN DE AFECTADOS POR EQUIPAMIENTO	
	DRENAJE DE TÓXICOS	POSTES SOS
Escenario 1	0%	10%
Escenario 2	0%	0%
Escenario 3	0%	5%
Escenario 4	0%	0%
Escenario 5	0%	0%

	Nº DE AFECTADOS, CON REDUCCIÓN		
	Direct. implicados	Indirect. implicados	TOTALES
Escenario 1	3.00	42.75	45.75
Escenario 2	2.50	54.00	56.50
Escenario 3	1.50	79.33	80.83
Escenario 4	1.00	84.00	85.00
Escenario 5	2.50	80.50	83.00
			351.08

Nº afectados X probabilidad porcentual de ocurrencia

	Nº AFECTADOS x PROBABILIDAD OCURRENCIA
Escenario 1	431.36817
Escenario 2	68.94126
Escenario 3	17.93138
Escenario 4	9.42881
Escenario 5	9.20696
TOTAL	536.87658

Determinación del factor corrector del coeficiente de riesgo

Factor de ponderación por criterios de diseño geométricos, F_g	1.27048
Factor de ponderación por criterios de equipamiento del túnel, F_{eq}	0.81000
Factor de ponderación por criterios de explotación, F_{ex}	0.96000
Factor corrector del coeficiente de riesgo Túnel Real, F_{TR}	0.98792

Coeficiente de riesgo del túnel real

CR_{tr}	530.39263
-----------	-----------

5.4 Análisis del Túnel Virtual

5.4.1 Características del túnel en aplicación de la Normativa Foral

LA AVANZADA	TÚNEL VIRTUAL
Longitud	824.00 m
Tipo de vía a la que pertenece	Autovía o Autopista
IMD, día laborable	72,131 veh/día
% Pesados diarios, en hora punta	3.50%
Intensidad hora punta - Sentido Getxo	2,860 veh/hora
Intensidad hora punta - Sentido Bilbao	2,860 veh/hora
Nivel de Servicio - Sentido Getxo	C
Nivel de Servicio - Sentido Bilbao	C
Carácter del túnel	Urbano
Direccionalidad de circulación	Unidireccional
Vehículos / carril / día	15,230 veh/carril/día
Carriles por sentido	2 carriles
Anchura de carril	3.25 m
Anchura arcén derecho	1.00 m
Anchura arcén izquierdo	1.00 m
Apartaderos	No requiere
Anchura de aceras	≥0,75 m2
Sección transversal	87.00 m2
Tipo de pavimento	No drenante
Gálibo de circulación	5.00 m
Salidas de emergencia interiores	Si
nº de salidas de emergencia	2
Señalización de salidas de emergencia y vías de evacuación	Si
Distancia máxima entre salidas de emergencia	375.00 m
Pendiente longitudinal máxima en el interior del túnel	3.00%
Pendiente longitudinal Ponderada del túnel	3.00%
Velocidad Límite	80.00 km/h
Velocidad Diseño	80.00 km/h
Sistema de ventilación automatizado	Si
Carácter del túnel a efectos de ventilación	Bidireccional
Sistema de detección de incendios	Si
Revestimiento hormigón en el túnel	Revestido y con barreras
Explanadas en bocas	Si
Centro de Control permanente y vigilado con control de accesos	Si (24h/7días)
Gestionado con dos o más operadores de sala	No requiere
Protocolos automatizados de incidentes de incendio	Si
Permitido el adelantamiento a los vehículos pesados	Si
Control de radar con posibilidad de sanción	No
Señal activa de radar en bocas	No requiere
Drenaje de líquidos tóxicos o inflamables	Si

Anejo 12. Análisis de Riesgos

LA AVANZADA	TÚNEL VIRTUAL
Iluminación de seguridad y evacuación garantizada (SAI + G.E.)	Si
Postes SOS con extintores	Si
Megafonía	En el interior, salidas, vías de evacuación y bocas
Señalización vial obligatoria	Si
Señalización dinámica: PMVs, semáforos, CLVs y AFs	En los accesos y en el interior
Sistema de cierre de túnel	Semáforos, barreras y AFs bocas con C.Control y DAI
Sistema de detección, clasificación y conteo de vehículos	Si
Conexiones transversales interiores adaptadas para los SSEE	No requiere
Cruce de mediana en las bocas	Si
Doble suministro eléctrico	Si
Mediana en túnel	No requiere
CCTV con DAI	Si
Cámaras térmicas en el interior	No requiere
Sistema de extinción (BIEs e hidrantes, red propia y extintores)	Si
Semáforos interiores	No requiere
Sistema de radiocomunicaciones para los SSEE	Si
Mensajería de emergencia por canales de radio	Si
Simulacro a escala natural realizado	Si
Tiempo de llegada de los Servicios de Emergencias	19 minutos

Tabla 28. Características del túnel virtual

5.4.1.1 Criterios Adicionales

En el análisis de riesgo se debe considerar que el túnel virtual está dotado de todo el equipamiento que le corresponde a un túnel Tipo I en aplicación del DF y los Borradores de las ITs, sin ninguna excepcionalidad.

No obstante, se matizan a continuación algunos aspectos respecto al equipamiento del túnel virtual a tener en cuenta al realizar el análisis de riesgo:

- **Anchura de carriles:** El Borrador de la IT I de Infraestructura establece que los carriles tendrán en general una anchura de 3,50 m y añade que excepcionalmente, se admitirán reducciones a 3,25 m en túneles urbanos, como es el caso del túnel La Avanzada.
- **Anchura de arcén derecho:** Según se establece en la Norma 3-1 I.C. Trazado, de aplicación de acuerdo con el Borrador IT I de Infraestructura, en túneles calzadas separadas, con dos carriles y sin previsión de ampliación se dispondrá de arcén de 2,50 m. No obstante, en caso tratarse de un túnel con velocidad limitada o controlada mediante señalización variable, con tráfico poco intenso o terrenos geológicamente desfavorables, se puede justificar una reducción de arcén derecho de 1,00 m. En este caso, el túnel virtual dispone de señalización variable por lo que se adopta un ancho de arcén de 1,00 m.
- **Pendiente longitudinal:** Se establece una pendiente longitudinal de referencia de un 3,00%, que será la asignada al túnel virtual, con objeto de ponderar la variación en la peligrosidad del túnel en función de la inclinación de su rasante.
- **Aceras:** El túnel virtual dispondrá de la anchura mínima de 0,75 m requerida por el Borrador de la IT I de Infraestructura.
- **Tiempo de respuesta de los servicios de emergencia:** Se considera un tiempo de respuesta de los servicios de emergencia ante un incidente de en torno a 15 minutos y de 4 minutos de detección, aviso y reacción, con los simulacros a escala natural realizados. El tiempo de aplicación es por lo tanto de 19 minutos.
- **Prohibición de adelantamiento de vehículos pesados:** Se considera permitido que los vehículos pesados efectúen adelantamientos en el interior del túnel.

- **Velocidad de diseño:** Para túneles unidireccionales y de tipo I como La Avanzada, el Borrador de la IT I de Infraestructura establece que se limitará la velocidad máxima a 100 km/h, salvo que su geometría u otras características obliguen a mayores limitaciones. En este caso, la BI-637 donde se sitúa el túnel forma parte del entorno metropolitano de Bilbao donde la velocidad de circulación es homogénea de 80 km/hora.

5.4.2 Determinación del factor corrector del coeficiente de riesgo

5.4.2.1 Factor de ponderación real por criterios de diseño geométrico del túnel, Fg

$$F_g = F_{gCAR} \cdot F_{gARC} \cdot F_{gAPA} \cdot F_{gACE} \cdot F_{gPAV} \cdot F_{gPTE} \cdot F_{gRIG}$$

Factor de anchura de carriles, Fg car		
	Anchura de carril (m)	Factor de ponderación
	>3,6	1.03
	3,4 - 3,6	1.00
	3.2	1.03
	3	1.08
	< 3	1.15

Anchura de carriles	3.25 m
Fg car	1.023

Factor de anchura de arcenes, Fg arc		
	Anchura de arcén derecho (m)	Factor de ponderación
	≥2,5	0.90
	1	1.00
	<1	1.05

Anchura de arcén derecho	1.00 m
Fg arc	1.000

Factor de existencia de apartaderos en túnel, Fg apa		
	Existencia de apartaderos	Factor de ponderación
	Si	1.00
	No requiere	1.05
	No	1.05

Existencia de apartaderos necesarios	No requiere
Fg apa	1.050

Factor de aceras para evacuación, Fg ace		
	Anchura de aceras(m)	Factor de ponderación
	≥0,75	1.00
	<0,75	1.05
	No dispone	1.10

Anchura de la acera	≥0,75
Fg ace	1.000

Factor de tipo de pavimento, Fg pav		
	Tipo de pavimento	Factor de ponderación
	No drenante	1.00
	Drenante	1.05

Tipo de firme	No drenante
Fg pav	1.000

Anejo 12. Análisis de Riesgos

Factor de pendiente longitudinal, Fg pte		
	Pendiente del túnel	Factor de ponderación
	0%	0.955
	<3%	0,955+(0,015*pendiente(%))
	3%	1
	>3%	1+(0,02*(pendiente(%)-3%))

Pendiente máxima entre 2 salidas o media ponderada	3.00%
Fg pte	1.0000

Factor de existencia de un revestimiento rígido y barreras en el túnel, Fg rig		
	Tipo de revestimiento	Factor de ponderación
	Sin revestimiento rígido, sin instrumentación y sin barreras	1.06
	Sin revestimiento rígido, instrumentado y sin barreras	1.04
	Sin revestimiento rígido, instrumentado y con barreras	1.02
	Revestido y con barreras	1.00

Tipo de revestimiento y barreras	Revestido y con barreras
Fg rig	1.000

FACTORES POR CRITERIOS DE DISEÑO GEOMÉTRICO	VALORES
Factor de anchura de carriles, Fg car	1.0225
Factor de anchura de arcones, Fg arc	1.0000
Factor de existencia de apartaderos en túnel, Fg apa	1.0500
Factor de aceras para evacuación, Fg ace	1.0000
Factor de tipo de pavimento, Fg pav	1.0000
Factor de pendiente longitudinal, Fg pte	1.0000
Factor de existencia de un revestimiento rígido y barreras en el túnel, Fg rig	1.0000
Factor de ponderación por criterios de diseño geométrico del Túnel Real, Fg	1.07363

5.4.2.2 Factor de ponderación real por criterios de equipamiento del túnel, Feq

$$Feq = Feq_{SSEE} \times Feq_{CC} \times Feq_{OTR}$$

Factor de proximidad de los servicios de emergencia, Feq ssee		
	Tiempo de llegada de los SSEE	Factor de ponderación
	t ≤ 5 min	0.85
	5 < t ≤ 10 min	1.00
	10 < t ≤ 15 min	1.15
	t > 15 min	1.25
	Aumento de 2 minutos para túneles Tipo I sin simulacro a escala natural	

Tiempo de llegada de los SSEE (real)	19 min
Aumento por no disponer de simulacro a escala natural	0 min
Feq ssee	1.250

Factor de existencia de C. Control permanente con control de acceso, Feq cc		
	Existencia de Centro de Control	Factor de ponderación
	SI (24h/7días)	0.90
	Si	0.95
	No requiere	1.02

Existencia de Centro de Control	Si (24h/7días)
Feq cc	0.900

Factor de otras mejoras sobre dotaciones de seguridad mínimas, Feq otr		
	Equipamiento adicional	Factor
Otras mejoras	Conexiones transversales interiores adaptadas para los SSEE	No requiere
	Cruce de mediana en las bocas	Si
	Doble suministro eléctrico	Si
	Mediana en el interior	No requiere
	Sistema de extinción (BIEs e hidrantes, red propia y extintores)	Si
	Semáforos interiores	No requiere
	Señal activa de radar en bocas	No requiere
	Cámaras térmicas en el interior	No requiere
	Sistema de radiocomunicaciones para los SSEE	Si

Feq otr	0.920
---------	-------

FACTORES POR CRITERIOS DE EQUIPAMIENTO	VALORES
Factor de proximidad de los servicios de emergencia, Feq ssee	1.2500
Factor de existencia de C. Control permanente con control de acceso, Feq cc	0.9000
Factor de otras mejoras sobre dotaciones de seguridad mínimas, Feq otr	0.9200
Factor de ponderación por criterios de equipamiento del Túnel Real, Feq	1.03500

5.4.2.3 Factor de ponderación real por criterios de explotación del túnel, Fex

$$F_{ex} = F_{exAVP} \cdot F_{exRAD} \cdot F_{exVLIM}$$

Factor de permisividad de adelantamiento de veh. pesados, Fex avp		
Restricción adelantamiento a VP	% VP	Factor de ponderación
Sin restricción	Cualquiera	1.00
Con restricción	5.00%	0.97
Con restricción	10.00%	0.93
Con restricción	15.00%	0.90
Con restricción	20% o mas	0.87

Adelantamiento permitido	Si
Porcentaje VP	3.00%
Fex acp	1.0000

Factor de existencia de sistemas de control de velocidad en los accesos e interior, Fex rad		
	Existencia de radar en accesos o interior	Factor de ponderación
	No	1
	Si, en las aproximaciones	0.96
	Si	0.92

Existencia de control radar con posibilidad de sanción	No
Fex rad	1.000

Factor de velocidad en los accesos o en el interior, Fex Vlim		
	Velocidad de Diseño (km/hora)	Velocidad Limite (km/hora)
	80	80
	$F_{exVLIM} = 1 - 0.4 \frac{V_{DISEÑO} - V_{LIMITE}}{V_{DISEÑO}}$	

Velocidad en los accesos o en el interior, Fex Vlim	
Fex Vlim	1.000

FACTORES POR CRITERIOS DE EXPLOTACIÓN	VALORES
Factor de permisividad de adelantamiento de veh. pesados, Fex avp	1.0000
Factor de existencia de sistemas de control de velocidad en los accesos e interior, Fex rad	1.0000
Factor de velocidad en los accesos o en el interior, Fex Vlim	1.0000
Factor de ponderación por criterios de explotación del Túnel Real, Fex	1.00000

5.4.3 Determinación de usuarios afectados

El incendio se sitúa en la Galería 1 sentido Bilbao, a una distancia de 549,33 metros desde la Boca Getxo. El incendio impedirá la circulación en cualquiera de los dos sentidos, por lo que se estudia la evacuación de los usuarios que circulan sentido Bilbao (sentido 1 en los siguientes cálculos) y en sentido Getxo (sentido 2) desde su correspondiente Boca de Entrada hasta el incendio.

5.4.3.1 Régimen de circulación libre y Congestión

Para determinar el número de vehículos afectados será necesario en primer lugar obtener el número de vehículos presentes en el túnel, para lo que se contemplan dos fases: Régimen de circulación libre a 80 km/hora y Congestión.

Anejo 12. Análisis de Riesgos

Régimen de circulación libre - Vehículos en el interior en el momento del accidente

Número de vehículos presentes en el túnel por carril				
Longitud de túnel a analizar, Lt sentido 1		549.33 m	Lt sentido 2	274.67 m
I, sentido 1		0.397 veh./seg./carril	I, sentido 2	0.397 veh./seg./carril
N, sentido 1		9.819 veh/carril	N, sentido 2	4.910 veh/carril
		10 veh/carril		5 veh/carril

Congestión

Velocidad de crecimiento de la cola de vehículos				
Vc, sentido 1		4.837 m/s	Vc, sentido 2	4.837 m/s
Longitud de cola máxima de vehículos parados desde el foco a la entrada				
Lsalidas, sentido 1		549.33 m	L, sentido 2	274.67 m
Tiempo de remonte de cola; Velocidad de Crecimiento Vc > 1				
t, sentido 1		113.57 s	t, sentido 2	56.79 s

5.4.3.2 Criterio de cierre del acceso al interior

Para determinar en qué situación los vehículos dejan de acceder al interior del túnel, la MARTBI establecen cuatro posibles situaciones, siendo la de menor tiempo la que aplica:

- Tiempo en el que el túnel estará saturado de vehículos.
- Tiempo necesario para que el humo producido en el interior salga por la boca del túnel en cada posible escenario, según el tipo de incendio.
- Tiempo en el que se activan las barreras que limiten el acceso, en caso de que disponga.
- Tiempo de llegada de un usuario a la boca de entrada

Una vez realizada esta comparación, se observa que la situación más restrictiva es el tiempo en el que el túnel se satura de vehículos y la cola alcanza la boca de entrada.

1. Túnel saturado de vehículos y la cola rebasa la boca de entrada

Sentido 1	113.57 s
Sentido 2	56.79 s

2. El humo del incendio sale por la boca

Escenario	Tiempo (s)	
	Sentido 1	Sentido 2
Escenario 1	219.18	No aplica
Escenario 2	184.12	No aplica
Escenario 3	184.12	No aplica
Escenario 4	184.12	No aplica
Escenario 5	151.20	No aplica

3. Existen semáforos o barreras que limiten el acceso

Tiempo	150.00 s
--------	----------

4. Tiempo de llegada de un usuario a la boca de entrada (sin humos ni reducción por pendiente)

Sentido 1	546.33 s
Sentido 2	281.67 s

Los vehículos que entran en el túnel se detendrán cuando lleguen a la cola de vehículos detenidos o cuando se crucen con un usuario del vehículo precedente evacuando el túnel, lo que ocurra en primer lugar.

Conocidos los tiempos que limitan los posibles escenarios, se establece la longitud de cola para cada uno de ellos aplicando una interdistancia de 10,00 metros entre vehículos:

Escenario	Tiempo (s)		Longitud de cola (m)		Vehículos (veh./carril)	
	Sentido 1	Sentido 2	Sentido 1	Sentido 2	Sentido 1	Sentido 2
Escenario 1	113.57	56.79	549.33	274.67	54	27
Escenario 2	113.57	56.79	549.33	274.67	54	27
Escenario 3	113.57	56.79	549.33	274.67	54	27
Escenario 4	113.57	56.79	549.33	274.67	54	27
Escenario 5	113.57	56.79	549.33	274.67	54	27

5.4.4 Criterios modificadores adicionales

El túnel virtual Tipo I, de acuerdo con los Borradores de las ITs, dispondrá de los siguientes sistemas que reducen el tiempo de reacción: Señalización dinámica en los accesos al túnel y las bocas, sistema de megafonía y sistema de radiocomunicaciones. Siendo por lo tanto el tiempo de reacción de usuarios no implicados de:

$$t_{reacción} = 7 s$$

Asimismo, es necesario tener en consideración que la salida de los usuarios de sus vehículos y el comienzo de su autoevacuación puede deberse a uno de estos dos posibles motivos:

- a) La llegada hasta el vehículo de los usuarios de vehículos precedentes, en su huida hacia la boca de entrada.
- b) El alcance, por parte del humo, del vehículo.

En relación con las velocidades de autoevacuación, los sistemas y características del túnel virtual que deben considerarse son: Pendiente longitudinal del 3%, iluminación de seguridad y evacuación garantizada en todo momento, y señalización de salidas de emergencia. Por lo tanto, las velocidades de evacuación en el túnel con visibilidad clara son:

$$Velocidad\ con\ visibilidad\ clara = 1,00\ m/s$$

$$Velocidad\ reducida = 0,60\ m/s$$

El túnel virtual dispone de un sistema de drenaje de líquidos tóxicos y sistema de postes SOS con extintores, los cuales reducen porcentualmente el número de personas afectadas en los escenarios definidos.

Drenaje de líquidos tóxicos	Si
Reducción en el número de personas afectadas	
5% en los escenarios E2, E4 y E5	

Postes SOS con extintores	Si
Reducción en el número de personas afectadas	
10% en el escenario E1 y 5% E3	

Por último, aplicando los requisitos de explotación y sistemas requeridos para un túnel Tipo I, el tiempo de cierre del túnel es de 2,5 minutos:

Equipos de cierre en el túnel	Semáforos, barreras y AFs bocas con C.Control y DAI
Reducción por C.C.gestiando con dos o más operadores	
Reducción por C.C. con protocolos automatizados	
0 min	
-0.5 min	

Localización	Tiempo cierre de túnel
Semáforos y barreras	999
Semáforos, barreras y AFs bocas con C.Control	4
Semáforos, barreras y AFs bocas con C.Control y DAI	3
Reducción de 30 seg. para túneles con C.C. gestiando con dos o más operadores de sala	
Reducción de 30 seg. para túneles con C.C. con protocolos automatizados de incidentes de incendio	

(*) Tiempo de semáforos y barreras es equivalente a no dispone

Tiempo de cierre de túnel (corregido)	150 segundos
---------------------------------------	--------------

5.4.5 Proceso de evacuación de usuarios

A continuación, se muestran gráficamente la evacuación y afección de los usuarios en los 5 escenarios. En este caso en ambos sentidos se circula en régimen de circulación libre, por lo que en una sola figura se muestran las evacuaciones en ambos sentidos.

Anejo 12. Análisis de Riesgos

ESCENARIO 1: Incendio de 8 MW

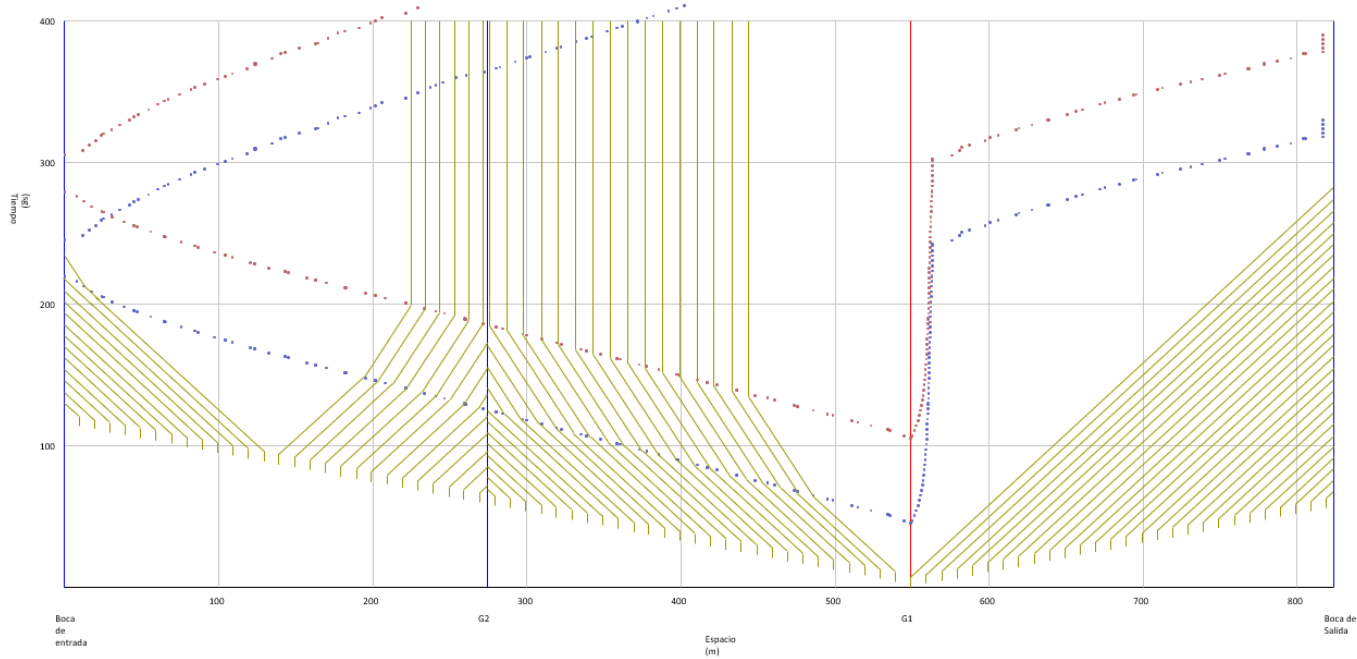


Figura 28: Gráfica de autoevacuación túnel virtual Escenario 1, ambos sentidos

Usuarios fallecidos: $1,5 + 1,5 + (22 \text{ veh/carril} * 2 \text{ carriles} * 1,5 \text{ usuarios}) = 69$.

Se reduce a 68 usuarios al considerar la parte proporcional de vehículos pesados.

	Usuarios directamente implicados		Usuarios indirectamente implicados (veh./carril)
	Veh. 1	Veh. 2	
Sentido Bilbao	Ligero = 1,5	Ligero = 1,5	65
Sentido Getxo	-	-	0

Tabla 29. Víctimas túnel virtual, Escenario 1

ESCENARIO 2: Incendio de 30 MW

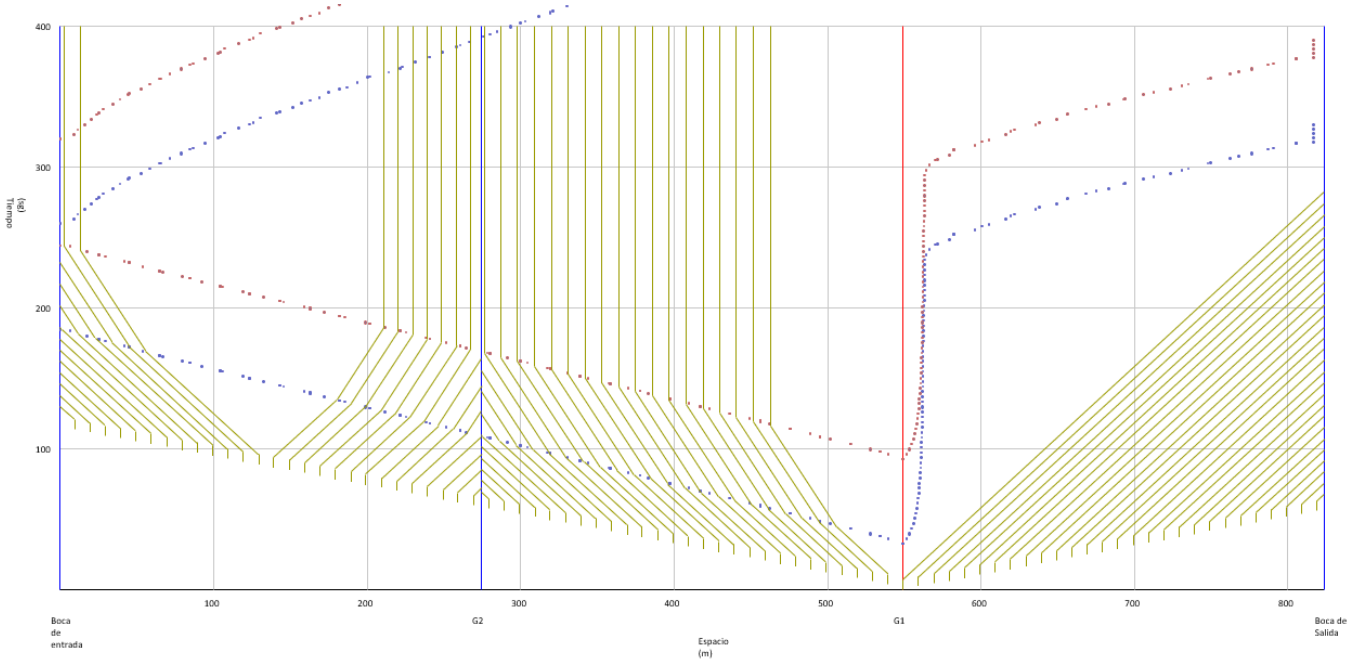


Figura 29: Gráfica de autoevacuación túnel virtual Escenario 2, ambos sentidos

Usuarios fallecidos: $1,5 + 1 + (27 \text{ veh/carril} * 2 \text{ carriles} * 1,5 \text{ usuarios}) = 83,5$.

	Usuarios directamente implicados		Usuarios indirectamente implicados (veh./carril)
	Veh. 1	Veh. 2	
Sentido Bilbao	Ligero = 1,5	Pesado = 1	81
Sentido Getxo	-	-	0

Tabla 30. Víctimas túnel virtual, Escenario 2

Anejo 12. Análisis de Riesgos

ESCENARIO 3: Incendio de 15 MW

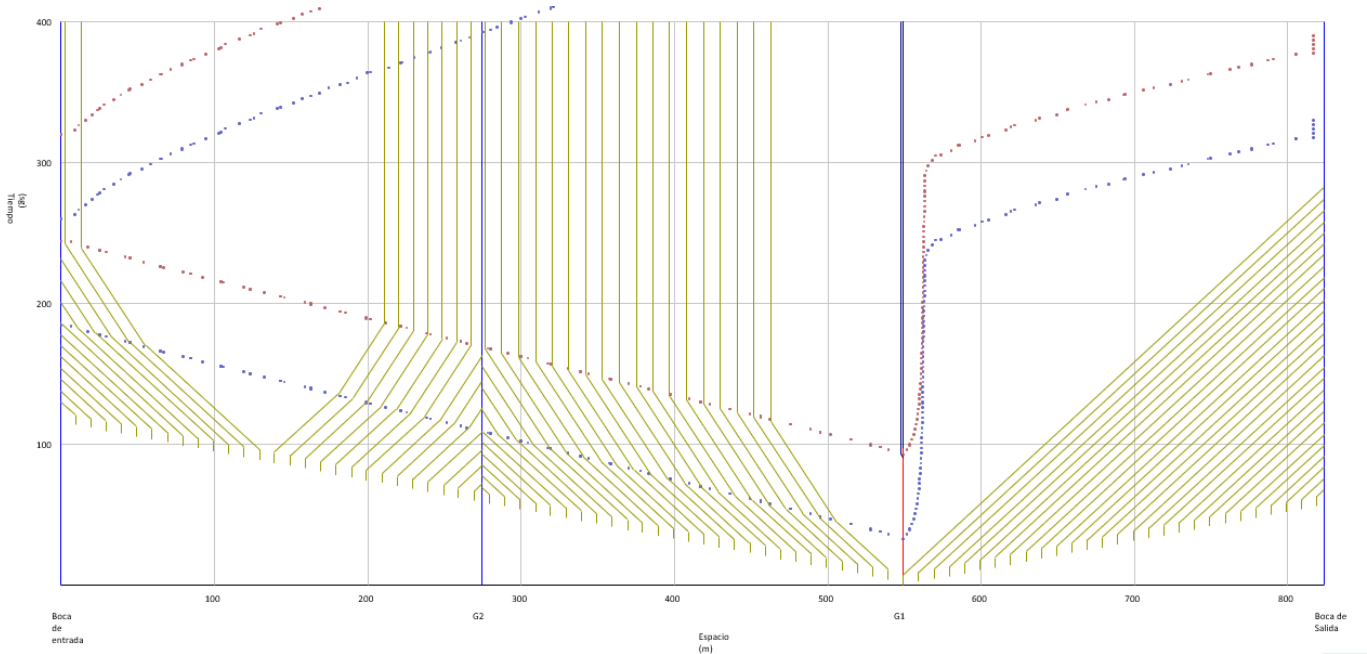


Figura 30: Gráfica de autoevacuación túnel virtual Escenario 3, ambos sentidos

La autoevacuación de los usuarios del bus solamente se representa el primer pasajero (color azul) porque al comienzo de la autoevacuación del segundo el humo desestratificado ha avanzado hasta su posición. Todos los pasajeros del bus fallecen.

Usuarios fallecidos: $1,5 + 30 \text{ (bus)} + (27 \text{ veh/carril} * 2 \text{ carriles} * 1,5 \text{ usuarios}) = 112,5$.

Se reduce a 111,5 usuarios al considerar la parte proporcional de vehículos pesados.

	Usuarios directamente implicados		Usuarios indirectamente implicados (veh./carril)
	Veh. 1	Veh. 2	
Sentido Bilbao	Ligero = 1,5	Bus = 30	80
Sentido Getxo	-	-	0

Tabla 31. Víctimas túnel virtual, Escenario 3

ESCENARIO 4: Incendio de 30 MW

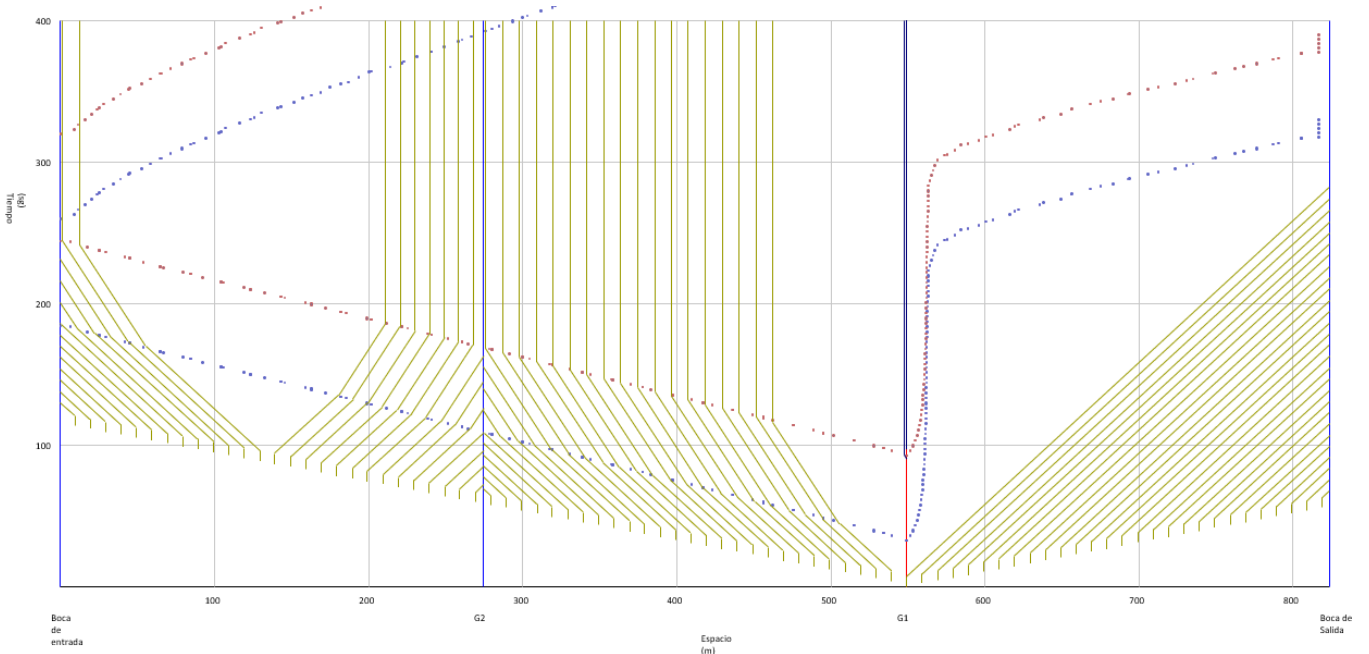


Figura 31: Gráfica de autoevacuación túnel virtual Escenario 4, ambos sentidos

Al igual que en el Escenario 3, todos los pasajeros del bus fallecen.

Usuarios fallecidos: $1 + 30 \text{ (bus)} + (27 \text{ veh/carril} * 2 \text{ carriles} * 1,5 \text{ usuarios}) = 112$.

Se reduce a 111,5 usuarios al considerar la parte proporcional de vehículos pesados.

	Usuarios directamente implicados		Usuarios indirectamente implicados (veh./carril)
	Veh. 1	Veh. 2	
Sentido Bilbao	Pesado = 1	Bus = 30	80,5
Sentido Getxo	-	-	0

Tabla 32. Víctimas túnel virtual, Escenario 4

Anejo 12. Análisis de Riesgos

ESCENARIO 5: Incendio de 100 MW

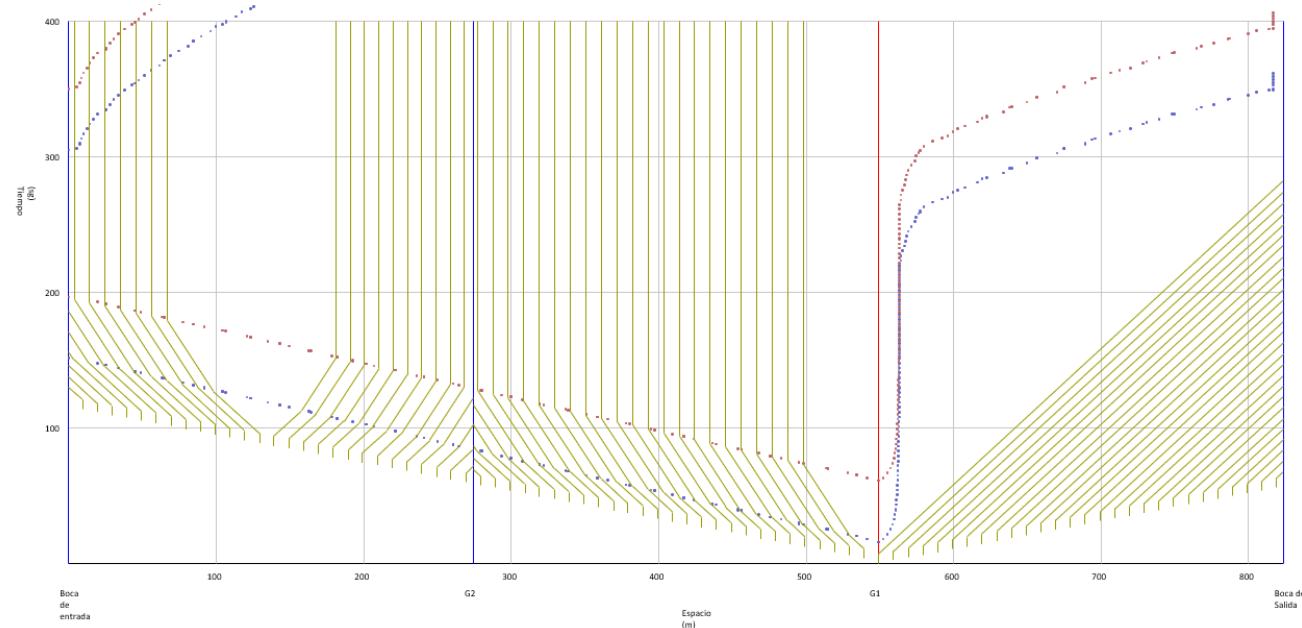


Figura 32: Gráfica de autoevacuación túnel virtual Escenario 5, ambos sentidos

Usuarios fallecidos: $1,5 + 1 + (39 \text{ veh./carril} * 2 \text{ carriles} * 1,5 \text{ usuarios}) = 119,5$.

Se reduce a 118,5 usuarios al considerar la parte proporcional de vehículos pesados.

	Usuarios directamente implicados		Usuarios indirectamente implicados (veh./carril)
	Veh. 1	Veh. 2	
Sentido Bilbao	Ligero = 1,5	Pesado = 1	116
Sentido Getxo	-	-	0

Tabla 33. Víctimas túnel virtual, Escenario 5

5.4.6 Cálculo del coeficiente de riesgo del túnel virtual, CR_{TV}

Para el cálculo del Coeficiente de Riesgo del Túnel Virtual, CT_{TV} y se resumen inicialmente el nº total de afectados y las reducciones de estos:

$$CR_{TV} = F_{TV} \times \sum (N^{\circ} \text{ afectados} \times \text{prob. porcentual del escenario } E_i)$$

	Nº DE USUARIOS AFECTADOS			
	Directamente Implicados	Bus	Indirectamente implicados	TOTALES
Escenario 1	3.00	0.00	65.00	68.00
Escenario 2	2.50	0.00	81.00	83.50
Escenario 3	1.50	30.00	80.00	111.50
Escenario 4	1.00	30.00	80.50	111.50
Escenario 5	2.50	0.00	116.00	118.50
				493.00

Reducciones

	REDUCCIÓN DE AFECTADOS POR EQUIPAMIENTO	
	DRENAJE DE TÓXICOS	POSTES SOS
Escenario 1	0%	10%
Escenario 2	5%	0%
Escenario 3	0%	5%
Escenario 4	5%	0%
Escenario 5	5%	0%

	Nº DE AFECTADOS, CON REDUCCIÓN		
	Direct. implicados	Indirect. implicados	TOTALES
Escenario 1	3.00	58.50	61.50
Escenario 2	2.50	76.95	79.45
Escenario 3	1.50	104.50	106.00
Escenario 4	1.00	104.98	105.98
Escenario 5	2.50	110.20	112.70
			465.63

Nº afectados X probabilidad porcentual de ocurrencia

	Nº AFECTADOS x PROBABILIDAD OCURRENCIA
Escenario 1	403.28778
Escenario 2	67.42293
Escenario 3	16.35524
Escenario 4	8.17569
Escenario 5	8.69451
TOTAL	503.93615

Determinación del factor corrector del coeficiente de riesgo

Factor de ponderación por criterios de diseño geométricos, F_g	1.07363
Factor de ponderación por criterios de equipamiento del túnel, F_{eq}	1.03500
Factor de ponderación por criterios de explotación, F_{ex}	1.00000
Factor corrector del coeficiente de riesgo Túnel Virtual, FTV	1.11120

Coeficiente de riesgo del túnel virtual

CR_{tv}	559.97479
-----------	-----------

5.5 Índice de riesgo y calificación del túnel

Se define como índice de riesgo asociado al túnel el cociente entre las magnitudes anteriormente calculadas, es decir, el resultado de la comparación directa entre el Coeficiente de Riesgo del túnel real y el Coeficiente de Riesgo del túnel virtual:

$$IR = \frac{CR_{TR}}{CR_{TV}}$$

Aplicando los valores obtenidos en el Túnel Virtual y el Túnel real en cada posición de incendio:

I.R. LA AVANZADA	
<i>CR_{tr}</i>	530,39263
<i>CR_{tv}</i>	559,97479
ÍNDICE DE RIESGO (I.R.)	0,9472

Tabla 34. Índice de Riesgo del túnel

En aplicación de los criterios descritos a lo largo del desarrollo del Análisis de Riesgo, se obtiene un Índice de Riesgo de 0,9472; inferior a la unidad y por lo tanto una calificación de túnel seguro en aplicación de la MARTBI.

6 ANÁLISIS DE RIESGO POR EL MÉTODO DE MERCANCÍAS PELIGROSAS

El objeto del presente anejo es la presentación de la metodología y resultados derivados de la realización del Análisis de Riesgo asociado al paso de Mercancías Peligrosas a través del túnel de la Avanzada (túnel bidireccional de 824 metros de longitud).

El Análisis está basado en el empleo del software DG QRAM (“Dangerous Goods Quantitative Risk Assessment Model” - Modelo Cuantitativo de Evaluación del Riesgo de Mercancías Peligrosas), desarrollado por la OECD/OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico) y la PIARC/AIPCR (Asociación Mundial de la Carretera). Esta herramienta sirve, por un lado, para evaluar el nivel de riesgo de los túneles de la carretera, y por otro, para cuantificar los riesgos derivados del transporte de mercancías peligrosas (MMPP) en determinadas rutas del sistema de carreteras, permitiendo así la comparación entre rutas alternativas, con o sin túneles.

Para realizar el desarrollo del Análisis mediante el empleo del DG QRAM, se emplean las pautas, proceso y valores descritos en el Borrador de la Metodología de Análisis de Riesgo en Túneles de la Red de Carreteras de Bizkaia (MARTBI) Instrucción Técnica de Seguridad y Explotación en túneles VIII. Indicar que este Borrador MARTBI, en relación a la Metodología de Mercancías Peligrosas tiene los mismos criterios y es coincidente con la Metodología de Análisis de Riesgo en Túneles de la Red de Carreteras del Estado (MARTE).

Inicialmente se describe la documentación y normativa de referencia necesaria para este estudio.

6.1 Documentación y normativa de referencia

Con relación a la metodología, a diferencia del resto de análisis de riesgos donde cada país miembro desarrolla sus propias normas o procedimientos, en el estudio del transporte de mercancías peligrosas existe un mayor acuerdo internacional.

En 1995 la Asociación Mundial de la Carretera (PIARC) en colaboración con la Organización para el Desarrollo Económico (OCDE) pusieron en marcha el desarrollo de un modelo de análisis que se denominó Quantitative Risk Assesment Model (QRAM), que actualmente se ha convertido en una referencia internacional para el desarrollo de análisis de riesgos relativos al tránsito de mercancías peligrosas por carretera y ha sido incluido en diferentes legislaciones y recomendaciones tanto nacionales como internacionales.

De esta manera, las normativas técnicas en vigor de diversos países utilizan, como base principal, el modelo QRAM para la elaboración de los análisis de riesgos relativos al transporte de mercancías peligrosas.

A continuación, se expone la Metodología de análisis de riesgo en túneles de la Red de Carreteras de Bizkaia (MARTBI), así como las categorías de túneles que define el ADR.

6.1.1 Metodología de análisis de riesgo en túneles de la Red de Carreteras de Bizkaia

El Borrador de la Instrucción Técnica VIII de Seguridad y Explotación en túneles de carretera, describe la Metodología de Análisis de Riesgo en Túneles de la Red de Carreteras de Bizkaia (MARTBI).

En lo referente a análisis de riesgo de Mercancías Peligrosas, la MARTBI expone en el apartado 5 el Método de Mercancías Peligrosas, e indica que este es parte de la Metodología de Análisis de Riesgo en Túneles de la RCE, coincidiendo por lo tanto con el Método de Mercancías Peligrosas desarrollado en la MARTE.

6.1.2 Metodología de análisis de riesgo en túneles de la Red de Carreteras del Estado

La Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento aprobó en mayo de 2012 un marco metodológico para la elaboración de Análisis de Riesgos aplicable a la Red de Carreteras del Estado, con objeto de cumplir lo dispuesto en el Real Decreto 635/2006 sobre requisitos mínimos de seguridad en los túneles de la Red de Carreteras del Estado (trasposición de la Directiva Europea 2004/54/CE al Derecho estatal).

Este documento define, entre otras cosas, el marco metodológico para la realización de Análisis de Riesgos específicos al paso de mercancías peligrosas por túneles, con objeto de cumplir los requisitos del citado Real Decreto 635/2006 y por ende la Directiva Europea 2004/54/CE.

No obstante, esta metodología no hace referencia al cumplimiento de la normativa ADR en cuanto a la clasificación de túneles, y por ello se deberá considerar conjuntamente esta metodología junto con la normativa ADR con el objetivo de clasificar el túnel en función de las categorías contempladas en ésta, que permiten o restringen el paso de mercancías peligrosas a través de túneles.

Anejo 12. Análisis de Riesgos

Esta metodología se basa en los siguientes principios:

- Utilización de la herramienta QRAM para la realización de los análisis de riesgos.
- Utilización de datos específicos de la red estatal de carreteras; el marco recomienda el uso de datos estadísticos reales del túnel a estudiar. No obstante, en caso de no existir, proporciona datos estadísticos generales de la Red de Carreteras del Estado.
- Criterios de aceptación en base a la curva F-N: una vez computado el modelo, la curva F-N se analiza y se definen unas zonas de riesgo Aceptable, ALARP (As Low As Rational Possible) y No Aceptable en base a rectas en la gráfica logarítmica. La toma de decisiones se realiza en base a dichas zonas.

6.1.3 ADR

El ADR o Acuerdo Europeo sobre el transporte internacional de cargas peligrosas por vía terrestre indica las disposiciones referentes a la construcción, el equipamiento y la explotación de los vehículos autorizados para el transporte de las mercancías peligrosas:

- disposiciones relativas a los equipos, al equipamiento y a la explotación de los vehículos y a la documentación;
- disposiciones relativas a la construcción y a la aprobación de los vehículos

Además, el ADR indica en el apartado 1.9.5 “Restricciones en túneles” cómo la autoridad competente puede restringir el paso de mercancías peligrosas a través de túneles.

Cuando se apliquen las restricciones de paso de vehículos que transporten mercancías peligrosas en los túneles, la autoridad competente debe asignar al túnel de carretera una de las categorías definidas en el apartado 1.9.5.2.2 de dicha normativa. Las características del túnel, la evaluación de los riesgos teniendo en cuenta la disponibilidad y conveniencia de itinerarios y de modos de transporte alternativos, la gestión del tráfico deberá ser tomada en consideración. Un mismo túnel podrá ser afectado a más de una categoría de túnel diferente, por ejemplo, según el momento de la jornada o del día de la semana, etc.

Las cinco categorías de túneles que define el ADR son las siguientes:

- Categoría de túnel A:
 - Ninguna restricción al transporte de mercancías peligrosas;
- Categoría de túnel B:
 - Restricciones al transporte de mercancías peligrosas susceptibles de provocar una explosión muy importante;
- Categoría de túnel C:
 - Restricciones al transporte de mercancías peligrosas susceptibles de provocar una explosión muy importante, una explosión importante o una fuga importante de materias tóxicas;
- Categoría de túnel D:
 - Restricciones al transporte de mercancías peligrosas susceptibles de provocar una explosión muy importante, una explosión importante o una fuga importante de materias tóxicas o un incendio importante;
- Categoría de túnel E:
 - Restricciones al transporte de todas las mercancías peligrosas salvo aquellas que disponen de la mención “(-)” en la columna (15) de la tabla A del capítulo 3.2. Y al transporte de todas las mercancías peligrosas conforme a las disposiciones del capítulo 3.4 en cantidades de más de 8 toneladas de masa bruta total por unidad de transporte.

6.2 Cálculo del riesgo social de paso de mercancía peligrosas a través del túnel de La Avanzada

6.2.1 Introducción

El objetivo de este apartado es calcular de forma cuantitativa el riesgo social que supone el tránsito de MMPP a través del túnel de la Avanzada (824 metros.), el cual se mide a través de la denominada curva F/N. La curva

ilustra la relación entre la frecuencia de ocurrencia del accidente contemplado en el escenario (F) y la gravedad de este, medida por el número de víctimas del accidente (N).

Una vez obtenidas las curvas F/N representativas del túnel, se compararán los resultados obtenidos con los criterios de aceptabilidad del riesgo establecidos en la MARTBI.

El itinerario considerado en el análisis de riesgo de mercancías peligrosas comprende desde el enlace de Erandio (P.K. 9+800) hasta la rotonda de Artaza (P.K. 13+400) de la BI-637. Se muestra en la siguiente imagen:

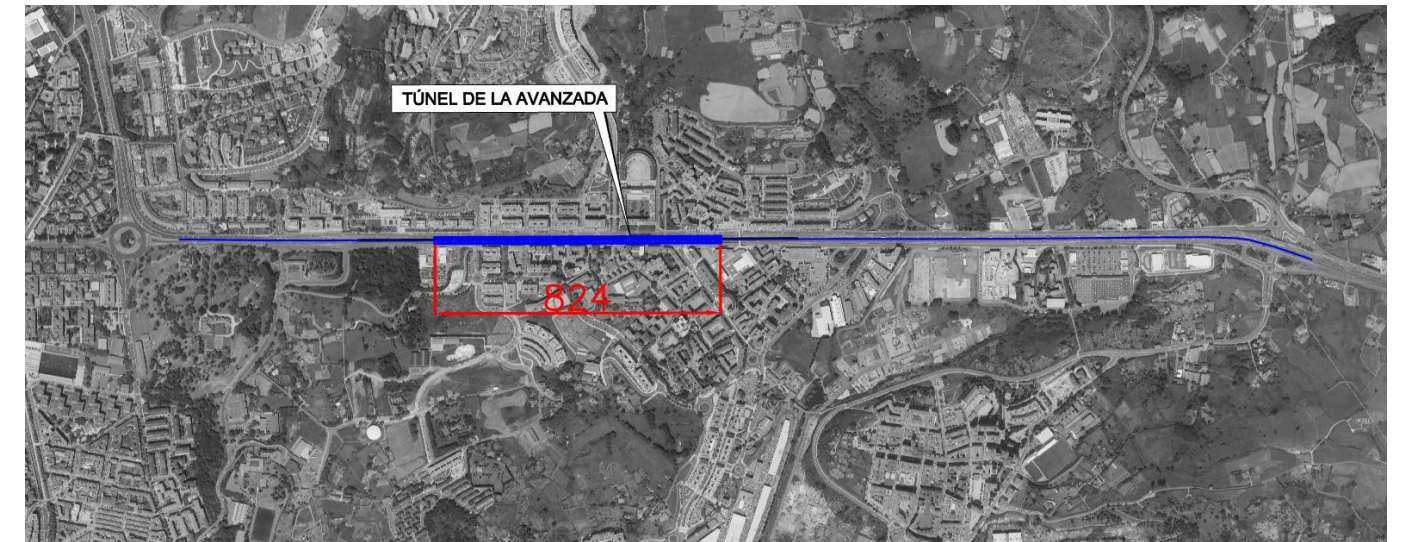


Figura 33: Itinerario para el Análisis de Riesgo de Mercancías Peligrosas

Fuente: Elaboración propia

Las entradas del modelo QRAM contienen una descripción de las variables de estado que definen el diseño y explotación del túnel. Estas entradas son datos procedentes de los siguientes factores:

- Características de los itinerarios (carreteras).
- Características de los túneles.
- Características del entorno en el que se ubican las vías. En particular población sujeta a riesgo en el entorno de la carretera.
- Características del tráfico.
- Estadísticas de accidentes.
- Transportes de mercancías peligrosas.
- Medidas de seguridad.

Se ha dividido cada uno de los sentidos del Itinerario considerado en la BI-637 en tramos o secciones. Un túnel supone una sección en sí misma, mientras que las áreas abiertas pueden dividirse en secciones “homogéneas”. La homogeneidad viene dada por los factores anteriormente mencionados, como el tráfico, siniestralidad, características de la carretera, etc.

6.2.2 Datos de tráfico

6.2.2.1 Tráfico empleado en el QRAM

En el software QRAM es posible introducir tres periodos:

- Periodo punta
- Periodo normal
- Periodo valle

Al tratarse de un túnel bidireccional a efectos de la ventilación, para el estudio y distribución horario del tráfico, se considerado los volúmenes conjuntos en ambos sentidos. El escenario Base se ha realizado empleando los tres periodos horarios. El método empleado para establecer los tres periodos ha consistido en

Anejo 12. Análisis de Riesgos

identificar en la estación 84A, cuyo tráfico corresponde al túnel de la Avanzada, las horas punta como aquellas en las que hay una IML mayor que 6.000 veh/h y las horas valle como aquellas en las que la IML es menor que 2.000 veh/h. Aplicando esto se tiene lo siguiente:

- Periodo punta (7 horas, entre las 14:00 y las 20:00)
 - Horas con IML > 6.000 veh/h. El % de tráfico total de este periodo en la estación 84A es del 48,74%.
- Periodo normal (9 horas, entre las 8:00 y las 13:00 y entre las 21:00 y las 23:00)
 - Horas con IML entre 2.000 y 6.000 veh/h. El % de tráfico total de este periodo será del 45,70%.
- Periodo valle (8 horas, entre las 00:00 y las 7:00)
 - Horas con %IMD < 2.000 veh/h. El % de tráfico total de este periodo será del 5,56%.

Se ha realizado el análisis de riesgo para un nivel de tráfico de referencia correspondiente al año horizonte 2049 (20 años después de la entrada en servicio).

Teniendo en cuenta las tablas con tráficos horarios presentadas anteriormente y los periodos horarios indicados (periodo punta, normal y valle), se obtienen los siguientes tráficos en el año 2049 para las estaciones 84A y 83A para cada periodo y sentido de circulación. Por lo tanto, los datos a introducir en el análisis de riesgos QRAM son los siguientes:

		Horas	Periodo	Tráfico Sentido Getxo (veh/h)	Tráfico Sentido Bilbao (veh/h)
ESTACIÓN 84A	PERIODO VALLE	8	0,333	393	415
	PERIODO NORMAL	9	0,375	2.908	3.001
	PERIODO PUNTA	7	0,292	3.834	4.268
ESTACIÓN 83A	PERIODO VALLE	8	0,333	476	503
	PERIODO NORMAL	9	0,375	3.522	3.636
	PERIODO PUNTA	7	0,292	4.644	5.170

Tabla 35: Tráfico horario estimado por sentidos y periodos para el QRAM - Año 2049

Fuente: Elaboración propia

No obstante, se ha ejecutado un escenario de QRAM más desfavorable, considerando únicamente un periodo con la hora punta. Los datos de tráfico para la hora punta (15:00) en el año horizonte 2049 son los siguientes:

		Tráfico Sentido Getxo (veh/h)	Tráfico Sentido Bilbao (veh/h)
ESTACIÓN 84A	PERIODO PUNTA	4.134	5.166
ESTACIÓN 83A	PERIODO PUNTA	5.008	6.258

Tabla 36: Tráfico horario estimado por sentidos para el Escenario QRAM en hora punta - Año 2049

Fuente: Elaboración propia

6.2.2.2 Hipótesis de vehículos pesados y de MMPP

El porcentaje de vehículos pesados se ha obtenido del Libro de Aforos del año 2019, siendo éste del 3,50% para la estación 84A y del 3,80% para la estación 83A en día laborable.

En lo referente a las mercancías peligrosas, el volumen de vehículos de mercancías peligrosas que actualmente circulan por la BI-637 se ha obtenido a partir del estudio denominado “Mapa de flujos del Transporte de Mercancías Peligrosas por carretera y ferrocarril en Euskadi”, realizado en el año 2013 por IHOBE, Sociedad Pública Medioambiental del Gobierno Vasco.

En dicho informe se indica que la red del País Vasco “*el volumen total transportado ha resultado en 4.675.005,414 toneladas durante el año 2013. Lo que representaría el tránsito de aproximadamente 233.750 camiones con mercancías peligrosas si consideramos cargas completas y una media de 20 toneladas por camión*”.

Con relación a la BI-637, el estudio especifica que en el año 2013 se transportaron 317.135,55 toneladas de productos de MMPP. A partir de este dato y considerando un crecimiento de MMPP igual al tráfico total en la BI-637 entre 2013 y 2018 (4,5%), se obtiene un volumen de MMPP de 331.265 ton/año en la BI-637 en el año 2018.

Considerando una media de 20 toneladas/camión y la IMD del año 2013 (81.188 veh/d), se obtiene un porcentaje de MMPP respecto al total de vehículos de 0,0559%, dato empleado como input en el QRAM.

En la siguiente tabla se indica la proporción de cada tipo de vehículos pesados considerada respecto al total de vehículos:

	Estación 84A	Estación 83A
% Pesados	3,5000%	3,8000%
% Pesados sin buses	2,2877%	2,4886%
% Buses	1,1564%	1,2555%
% MMPP	0,0559%	0,0559%

Tabla 37: Distribución de vehículos pesados según tipología

Fuente: Elaboración propia

Considerando el porcentaje de MMPP indicado anteriormente, se obtiene el tráfico horario de MMPP presentado en la siguiente tabla (input del QRAM).

		Horas	Periodo	MMPP Sentido Getxo (veh/h)	MMPP Sentido Bilbao (veh/h)
ESTACIÓN 84A	PERIODO VALLE	8	0,333	0,22	0,23
	PERIODO NORMAL	9	0,375	1,63	1,68
	PERIODO PUNTA	7	0,292	2,14	2,39

Tabla 38: Tráfico horario estimado de MMPP por sentidos y periodos para el QRAM - Año 2049

Fuente: Elaboración propia

Como se ha indicado anteriormente, se ha ejecutado un escenario de QRAM más desfavorable considerando únicamente un periodo con la hora punta. En este periodo, el volumen horario de MMPP en el túnel de la Avanzada sería el siguiente:

		MMPP Sentido Getxo (veh/h)	MMPP Sentido Bilbao (veh/h)
ESTACIÓN 84A	PERIODO PUNTA	2,31	2,89

Tabla 39: Tráfico horario de MMPP por sentidos para el Escenario QRAM en hora punta

Fuente: Elaboración propia

Se desconoce la distribución del tráfico de mercancías peligrosas que circularían por el túnel. Por ello, se han adoptado las proporciones respecto al total de Mercancías Peligrosas que se dan en Francia.

Anejo 12. Análisis de Riesgos

6.2.3 Datos de partida

6.2.3.1 Escenarios estudiados

Se han estudiado cuatro escenarios en el itinerario que recorre el túnel de la Avanzada.

Estos escenarios se basan en las siguientes elecciones:

- elección de tráfico por periodos (3 periodos horarios) o tráfico en hora punta (1 único periodo horario)
- elección de ruta completa considerando tramos a cielo abierto entre el enlace de la Universidad y la rotonda de Artaza o del tramo en túnel únicamente.

En la siguiente tabla se indican los 4 casos estudiados, resultado de la combinación de los supuestos anteriores:

Escenario	Nombre	Descripción	Longitud de la ruta
1	AVAN_T3_3P	Escenario BASE - 3 Periodos - Ruta completa	3.270 m (Túnel de 824 m)
2	AVAN_T3_3P_T	Escenario BASE - 3 Periodos - Sólo Túnel	824 m
3	AVAN_T3_1P	Escenario HORA PUNTA - 1 Periodo - Ruta completa	3.270 m (Túnel de 824 m)
4	AVAN_T3_1P_T	Escenario HORA PUNTA - 1 Periodo - Sólo Túnel	824 m

Tabla 40: Escenarios de QRAM estudiados en el Túnel de la Avanzada

Fuente: Elaboración propia

6.2.3.2 Tasa de ocupación de vehículos

Tal y como indica MARTBI, se ha considerado la siguiente ocupación en vehículos:

- Vehículo Ligero: 1,5 pasajeros/vehículo.
- Vehículo Pesado: 1 pasajero/vehículo.
- Autocar: 30 pasajeros/vehículo.

6.2.3.3 Accidentalidad

La accidentalidad se mide a partir del Índice de Peligrosidad (IP) que es el número de accidentes con víctimas en un tramo de carretera por cada millón de vehículos-kilómetro.

Para obtener la accidentalidad de la BI-637, se ha analizado la Base de Datos de Accidentalidad de la Dirección General de Tráfico del Gobierno Vasco. A partir de esta base de datos se han extraído los accidentes de vehículos pesados con víctimas (muertos, heridos graves y heridos leves) en el tramo en estudio de la BI-637.

Se ha tomado un único valor de accidentalidad para todo el itinerario comprendido entre el P.K. 9+800 y P.K. 13+400, en el que se encuentra el Túnel de la Avanzada. No obstante, la accidentalidad en el túnel es menor que en los tramos a cielo abierto, ya que no se han registrado accidentes de vehículos pesados en el interior del mismo en el periodo 2005 - 2019.

Los accidentes de vehículos pesados en los últimos quinquenios son los siguientes:

Periodo	Accidentes con víctimas de Vehículos Pesados
2005 - 2009	4
2010 - 2014	4
2015 - 2019	3

Tabla 41: Accidentes con víctimas de Vehículos Pesados en la BI-637 P.K. 9+800 - P.K. 13+400

Fuente: Elaboración propia

Considerando los valores anteriores de accidentes, la longitud del tramo y la IMD de vehículos pesados en La Avanzada, la accidentalidad de este tramo de carretera corresponde con el valor el siguiente:

$$Accidentalidad = 8,24245E - 08 ACV/veh \times km$$

Se ha considerado este valor de accidentalidad tanto para los tramos en túnel como a cielo abierto.

6.2.3.4 Análisis de la población afectada por el riesgo de contacto con materias peligrosas

Para el desarrollo del análisis de la población afectada por el paso de Mercancías Peligrosas se ha analizado la población sujeta a riesgo que se encuentra en las proximidades de la carretera BI-637.

En el presente análisis de riesgo es necesario una malla de población lo suficientemente extensa como para abarcar los municipios que atraviesa el itinerario planteado.

Las fuentes utilizadas para este análisis son las que se citan a continuación:

- Mapa de población del Gobierno Vasco obtenido a través de GeoEuskadi del año 2014 (1 kilómetro cuadrado)
- Informe "Evolución del tráfico en las carreteras de Bizkaia" publicados en el año 2019 del Departamento de Infraestructuras y Desarrollo Territorial de la Diputación Foral de Bizkaia

Metodología

Con el fin de obtener un análisis más afinado de la población que podría verse afectada en caso de un incidente, se ha recurrido al análisis de la población a partir del estudio de la cartografía de los municipios afectados, y se ha obtenido información sobre los habitantes, el flujo de personas que generan los centros comerciales que se encuentran en la zona de estudio, así como la universidad, el aeropuerto y, por último, la población que podría verse afectada por la presencia de fábricas y naves industriales.

El mapa de población resultante de la combinación de la información recopilada se ha obtenido para los tres periodos de tráfico de entrada al QRAM (horas punta, normal y valle).

1. Análisis de la población:

Para el análisis de la población se ha recurrido al mapa de población del Gobierno Vasco, obtenido a través de GeoEuskadi, con una malla de 1 kilómetro cuadrado. Este mapa de población corresponde al censo del año 2014. Se ha considerado la misma malla de población para los tres periodos considerados.

2. Análisis de la población que podría verse afectada por los centros generadores de tráfico

Se trata en este apartado de analizar el tráfico de acceso a determinados centros de carácter público o privado, cuya actividad atrae una afluencia importante de vehículos, produciendo un fuerte impacto en el flujo circulatorio de la red viaria próxima.

El análisis de los estos tráfico se ha obtenido a través de lo recogido en el Capítulo 7 - "Análisis de tráfico singulares" del Libro de Aforos de Bizkaia del año 2019, en el que se localizan y analizan los tráfico y su correspondiente distribución horaria, de los siguientes centros generadores en la zona de estudio:

- Siete centros comerciales, seis hipermercados y un centro mayorista
- La Universidad
- El aeropuerto

Anejo 12. Análisis de Riesgos

Asimismo, para la estimación del número de personas en la zona se han considerado las siguientes ratios de ocupación de vehículos en función del tipo de centro:

	personas/vehículo
Centro Mayorista	1,4
Centros Comerciales	2,4
Hipermercados	2,1
Universidad	2
Aeropuerto	2

Tabla 42: Ratios considerados para la ocupación de vehículos

Fuente: Elaboración propia

Se han localizado cada uno de estos centros generadores de tráfico y se han construido tres mallas de 1 kilómetro cuadrado similares a la que contiene la información de la población.

Para la distribución por periodos (punta, normal y vale) se han considerados los datos de distribución horaria del tráfico para cada uno de los centros generadores de tráfico recogida en el Libro de Aforos del año 2019.

3. Análisis de la población que podría verse afectada por la presencia de fábricas y naves industriales

Se ha considerado también importante incluir los trabajadores y los flujos de tráfico generado por las fábricas y naves industriales de la zona en estudio.

Para ello, mediante la cartografía de la zona y la localización de las parcelas se ha estimado un ratio de 1 persona/ 25 m² de fábrica, las personas que podrían verse afectadas por un incidente.

Al igual que en el caso de los centros comerciales, se ha considerado una distribución diferenciada por periodos horarios (punta, normal y valle).

4. Análisis de otra población que podría verse afectada en las proximidades de la BI-637

Se ha analizado el entorno de la Avanzada para detectar aquellos edificios (comercios, colegios, conservatorio municipal de Leioa, etc.) que pudiesen no estar incluidos en los apartados anteriores).

Para ello, mediante la cartografía de la zona y la localización de las parcelas se han estimado las personas que podrían verse afectadas por un incidente. Se ha considerado una distribución diferenciada por periodos horarios (punta, normal y valle).

Resultados

Una vez obtenidas independientemente las 12 mallas indicadas anteriormente, se asocian las correspondientes al mismo periodo horario, obteniéndose así las tres mallas poblacionales a introducir en el QRAM para analizar la población que podría verse afectada en los tramos a cielo abierto.

A continuación, se presentan estas tres mallas poblacionales:

0	0	0	7042	13240	2503	127	48	12	58	110	108	111
0	139	0	3053	16822	75	52	41	8	18	15	51	204
92	1711	0	61	8464	1218	266	21	129	11	26	466	9
33	10140	19917	2830	17231	6903	3826	55	222	58	0	30	82
78	4845	19905	29975	7073	4874	10376	361	122	125	126	133	33
5184	1385	550	11891	18891	4124	7671	498	328	389	842	193	76
172	4314	6790	461	4783	12826	9563	7555	638	467	1343	646	321
98	162	228	885	5297	31568	15976	549	185	175	1291	1315	244
503	52	0	17	521	9714	12234	3285	3668	28	51	65	36

Figura 34: Malla de población considerada para el Periodo Valle

Fuente: Elaboración propia

0	0	7042	13453	2503	127	48	12	58	110	108	111
2462	0	3053	16822	75	52	41	8	18	15	51	204
1711	0	61	8464	2386	266	21	129	11	26	466	9
10140	19917	2830	17231	7159	3826	574	222	58	0	30	82
4845	19905	29975	8483	5183	11109	385	122	125	126	133	33
1385	550	12648	19817	6594	8742	537	328	389	842	193	76
5104	7337	3020	10912	13717	10498	7555	2109	1906	1343	646	712
162	228	2715	8431	31576	15976	549	185	645	2617	3037	244
52	0	17	2910	9714	12234	4329	3668	28	51	65	36

Figura 35: Malla de población considerada para el Periodo Normal

Fuente: Elaboración propia

0	0	7042	13586	2503	127	48	12	58	110	108	111
2462	0	3053	16822	75	52	41	8	18	15	51	204
1711	0	61	8464	3116	266	21	129	11	26	466	9
10140	19917	2830	17231	7159	3826	779	222	58	0	30	82
4845	19905	29975	8483	5183	11417	385	122	125	126	133	33
1385	550	13066	19817	6594	8742	537	328	389	842	193	76
5104	7337	3020	11540	13717	10498	7555	2416	1906	1343	646	843
162	228	2715	9785	31576	15976	549	185	645	2617	3037	244
52	0	17	4006	9714	12234	4329	3668	28	51	65	36

Figura 36: Malla de población considerada para el Periodo Punta

Fuente: Elaboración propia

Anejo 12. Análisis de Riesgos

6.2.3.5 Información meteorológica (Rosa de los vientos)

El software QRAM permite la introducción de una rosa de los vientos para el itinerario que recorre la BI-637, dado que el viento representa un factor importante en la dispersión y propagación de nubes tóxicas o explosivas.

En este análisis se ha considerado la estación meteorológica C038 de Galindo, perteneciente a la Agencia Vasca de Meteorología (Euskalmet), cuya ficha se presenta a continuación:

Datos estaciones

C038 - Galindo

Datos generales

Nombre Técnico:	Galindo
Indicativo:	00038
Estación Ficticia:	No
Tipo:	
Observaciones:	
Función Desde:	13/11/2013
Función Hasta:	
Propietario:	D.F.B.

Ubicación

Provincia:	BIZKAIA
Municipio:	SESTAO
Altitud (m):	5
Longitud:	-2.99878
Latitud:	43.3062
Longitud UTM:	500099
Latitud UTM:	4794599

Cuencas

No existen cuencas disponibles

Meteoros y sensores

Cod. Met.	Descripción del Meteor	Alt. (m)	Código de sensor y tipo
11	Velocidad media del viento	13,7	YOW1 -Sensor de velocidad y dirección de viento de Young
11	Velocidad media del viento	16,7	YOW1 -Sensor de velocidad y dirección de viento de Young
12	Dirección media del viento	13,7	YOW1 -Sensor de velocidad y dirección de viento de Young
12	Dirección media del viento	16,7	YOW1 -Sensor de velocidad y dirección de viento de Young
17	Sigma de la dirección del viento	13,7	YOW1 -Sensor de velocidad y dirección de viento de Young
17	Sigma de la dirección del viento	16,7	YOW1 -Sensor de velocidad y dirección de viento de Young
14	Velocidad máxima del viento	13,7	YOW1 -Sensor de velocidad y dirección de viento de Young
14	Velocidad máxima del viento	16,7	YOW1 -Sensor de velocidad y dirección de viento de Young
16	Sigma de la velocidad del viento	13,7	YOW1 -Sensor de velocidad y dirección de viento de Young
16	Sigma de la velocidad del viento	16,7	YOW1 -Sensor de velocidad y dirección de viento de Young
21	Temperatura del aire	1,2	ROW1 -Sensor de temperatura aire STA212
21	Temperatura del aire	1,2	ROED -Sensor de temperatura y humedad de Rotronic
21	Temperatura del aire	1,2	ROGD -Sensor de temperatura y humedad de Rotronic
21	Temperatura del aire	1,2	ROAC -Sensor de temperatura y humedad de Rotronic
21	Temperatura del aire	1,2	ROSO -Sensor de temperatura y humedad de Rotronic
31	Humedad relativa del aire	1,2	ROAC -Sensor de temperatura y humedad de Rotronic
31	Humedad relativa del aire	1,2	ROED -Sensor de temperatura y humedad de Rotronic
31	Humedad relativa del aire	1,2	ROGD -Sensor de temperatura y humedad de Rotronic
31	Humedad relativa del aire	1,2	ROW1 -Sensor de temperatura aire STA212
31	Humedad relativa del aire	1,2	ROSO -Sensor de temperatura y humedad de Rotronic
40	Precipitación	1,4	G4E7 -Sensor de precipitación de Geénica (400)
40	Precipitación	1,4	G4I7 -Sensor de precipitación de Geénica (400)
40	Precipitación	1,4	G4AP -Sensor de precipitación de Geénica (400)

Figura 37: Ficha de la estación meteorológica C038 - Galindo

Fuente: Euskalmet

Los datos históricos extraídos de Euskalmet considerados en el análisis de riesgos de mercancías peligrosas corresponden al año 2019. En la siguiente tabla se recogen estos datos ordenados según la dirección de las componentes y velocidad del viento.

PORCENTAJE DE TENDENCIA DEL VIENTO (POR DIRECCIONES Y VELOCIDADES)						
DIRECCIÓN	GRADOS	<2 m/s	2-5 m/s	5-8 m/s	>8m/s	TOTAL
N	0	0,00%	1,09%	4,10%	0,27%	5,46%
NNE	22,5	0,00%	1,91%	3,55%	0,27%	5,74%
NE	45	0,00%	1,09%	1,37%	0,27%	2,73%
ENE	67,5	0,00%	1,09%	3,01%	0,00%	4,10%
ENE	90	0,00%	2,46%	2,73%	0,55%	5,74%
ESE	112,5	0,00%	2,73%	3,01%	2,73%	8,47%
SE	135	0,00%	1,91%	0,55%	1,64%	4,10%
SSE	157,5	0,00%	0,27%	0,55%	2,73%	3,55%
S	180	0,00%	0,55%	1,09%	3,28%	4,92%

PORCENTAJE DE TENDENCIA DEL VIENTO (POR DIRECCIONES Y VELOCIDADES)						
DIRECCIÓN	GRADOS	<2 m/s	2-5 m/s	5-8 m/s	>8m/s	TOTAL
SSW	202,5	0,00%	0,00%	0,00%	4,10%	4,10%
SW	225	0,00%	0,00%	0,27%	2,19%	2,46%
WSW	247,5	0,00%	0,00%	0,00%	1,37%	1,37%
W	270	0,00%	0,55%	1,64%	5,74%	7,92%
WNW	292,5	0,00%	3,55%	10,93%	6,56%	21,04%
NW	315	0,00%	3,01%	7,65%	0,27%	10,93%
NNW	337,5	0,00%	3,01%	4,37%	0,00%	7,38%

Tabla 43: Escenarios de QRAM estudiados en el Túnel de la Avanzada

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente imagen se representa la rosa de los vientos:

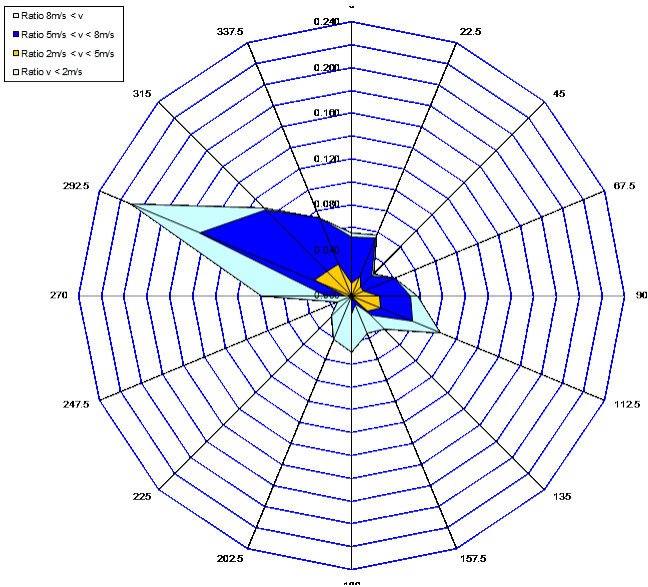


Figura 38: Rosa de los vientos obtenida en el software QRAM para la estación meteorológica C038

Fuente: Elaboración propia

6.2.3.6 Características del túnel

Geometría del túnel

El Manual QRAM especifica como introducir los datos relativos a la geometría de anchura y altura efectivas, así como los espesores de las diferentes secciones de acuerdo al siguiente esquema:

Anejo 12. Análisis de Riesgos

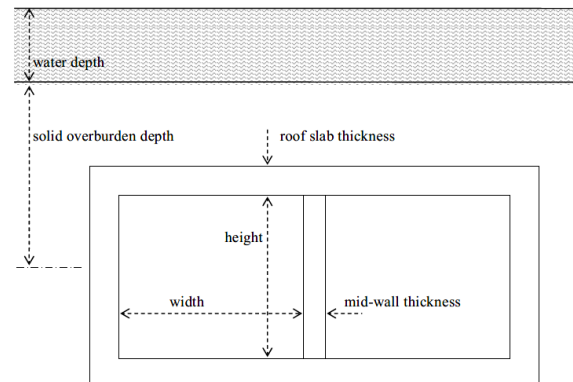


Figura 39: Ejemplo de definición geométrica de un túnel

Fuente: QRAM User's Guide

La sección tipo del túnel de La Avanzada es la siguiente:

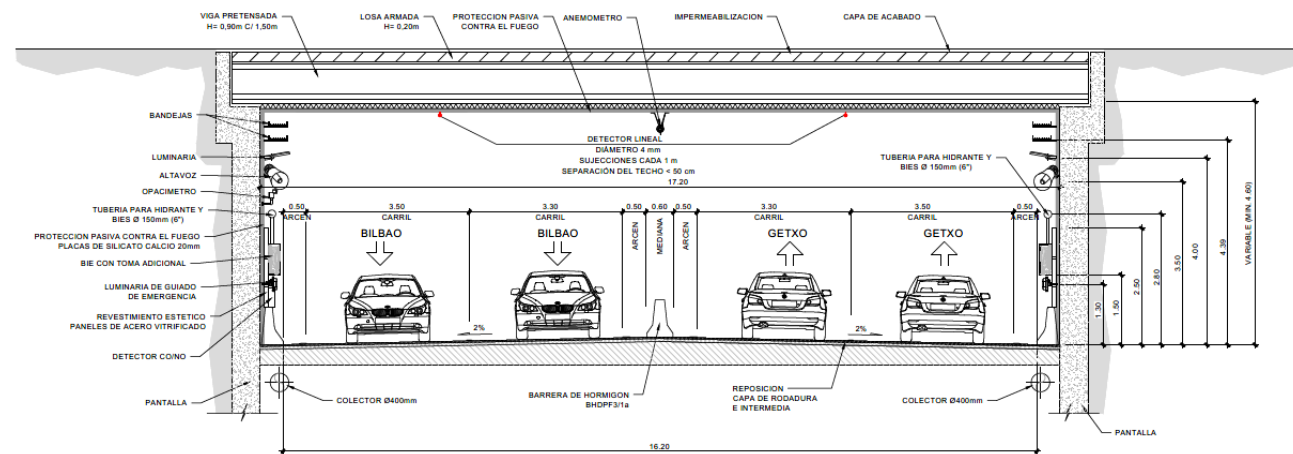


Figura 40: Sección tipo del Túnel de La Avanzada

Fuente: Elaboración propia

La sección transversal es homogénea a lo largo de todo el túnel y la pendiente longitudinal varía en el interior del túnel. Por lo tanto, se han empleado varias secciones en la herramienta DG QRAM, con las siguientes características:

- Ancho efectivo: 16,9 m
- Altura efectiva: 5,15 m
- Sección: 87 m²
- Peralte: 2%
- Pendiente longitudinal: en sentido Getxo - Bilbao:
 - 3% en una longitud de 134 metros
 - -5.4% en una longitud de 407 metros
 - 0% en una longitud de 238 metros
 - 5.2% en una longitud de 45 metros
- Número de carriles por sentido: 2

Ventilación

A partir de la sección del túnel, los datos introducidos en el software han sido:

- Ventilación normal: $87 \text{ m}^2 \times 0,5 \text{ m/s} = 43,5 \text{ m}^3/\text{s}$

- Ventilación de emergencia: $87 \text{ m}^2 \times 2,76 \text{ m/s} = 240,12 \text{ m}^3/\text{s}$

Drenaje

El túnel dispone de un colector de diámetro 400 mm en ambos hastiales del túnel con imbornales separados unos 40 m entre sí para la recogida del agua.

Por lo tanto, se estiman los siguientes datos de entrada al QRAM:

- Ad, superficie del sumidero: 0,49 m²
- Xs, longitud empleada para definir Ad: 40 m

Salidas de emergencia

En relación a las instalaciones para la evacuación y protección de los usuarios y accesos de los servicios de emergencia dispone de 6 galerías de evacuación en sentido Getxo y 6 en sentido Bilbao, con interdistancias entre 110 y 145 m.

Salida de emergencia	P.K.	Sentido de circulación
G1B	11+800	Getxo - Bilbao
G2B	11+910	Getxo - Bilbao
G3B	12+035	Getxo - Bilbao
G4B	12+180	Getxo - Bilbao
G5B	12+310	Getxo - Bilbao
G6B	12+420	Getxo - Bilbao
G1G	11+800	Bilbao - Getxo
G2G	11+910	Bilbao - Getxo
G3G	12+035	Bilbao - Getxo
G4G	12+180	Bilbao - Getxo
G5G	12+310	Bilbao - Getxo
G6G	12+420	Bilbao - Getxo

Tabla 44: Escenarios de QRAM estudiados en el Túnel de la Avanzada

Fuente: Elaboración propia

En el presente Análisis de Riesgo se ha empleado una interdistancia media de 125 m.

Aviso de emergencia

La herramienta DG QRAM permite emplear uno de los siguientes parámetros:

- 0 - Sin sistemas de comunicación
- 1 - Campana/sirena
- 2 - PA (Megafonía)
- 3 - PA + CCTV

El túnel dispone de sistema de megafonía y CCTV:

- $\text{com} = 3$

Anejo 12. Análisis de Riesgos

Estructura del túnel

Tipo de construcción:

- itype = 2, cut and cover

Tipo de terreno:

- ground = 2, roca fragmentada

Radio interior:

- trad = 5,27 m

Espesor del recubrimiento de hormigón:

- dlin = 0,60 m

Espesor del soporte de la carretera:

- droad = 0,40 m

Separación de calzadas:

- dmidw = 0 m

Profundidad del túnel:

- dover = 6,5 m

Profundidad de agua:

- dwater = 0 m

Estructura resistente al fuego:

- Temperature rating: 400 degC
- Time rating: 90 mins

6.2.4 Análisis de riesgo mediante QRAM

6.2.4.1 Introducción

Se ha utilizado el software QRAM v4.04, desarrollado de manera conjunta por la AIPCR y la OCDE.

El software permite al usuario:

- comparar los riesgos debidos al transporte de mercancías peligrosas por rutas alternativas, por ejemplo, a través del túnel o una ruta alternativa abierta
- evaluar temas relacionados con la normativa de los túneles; por ejemplo, el QRAM puede ser utilizado para decidir la elección más relevante de los grupos ADR de mercancías peligrosas propuesta para cada túnel de carretera específico
- comparar los riesgos a través de una ruta con los criterios de aceptabilidad de los riesgos individuales y sociales
- evaluar las opciones de equipamiento de los túneles, por ejemplo, el QRAM puede usarse para comparar los efectos al modificar la separación entre las salidas de emergencia.

El software puede ser utilizado para llevar a cabo un análisis de riesgos según se requiera para el transporte de mercancías peligrosas por la Directiva Europea 2004/54/CE sobre requisitos mínimos de seguridad para túneles de la red transeuropea de carreteras.

6.2.4.2 Descripción del software QRAM

El Software QRAM está basado en Microsoft Excel.

Es necesario recoger y preparar una gran cantidad de información para ejecutar el QRAM. El usuario tiene que introducir datos para describir:

- las vías, definidas en secciones;

- la geometría del túnel (longitud, sección transversal y la alineación vertical), ventilación (la ayuda de un especialista puede ser necesaria para los túneles complejos), el drenaje y medidas de salidas emergencia (los sistemas de alerta, el espaciamiento de las salidas);
- las características del tráfico, incluidas las mezclas de vehículos y las velocidades del tráfico, que se define para cada sección de la ruta y el sentido del tráfico;
- la población a lo largo del recorrido.

El QRAM considera 13 escenarios de accidentes representativos de los principales grupos de mercancías peligrosas.

- 1) Incendio de transporte de mercancías en vehículo pesado con mercancías no peligrosas (20 MW)
- 2) Incendio de transporte de mercancías en vehículo pesado con mercancías no peligrosas (100 MW)
- 3) Explosión y expansión de vapor de líquido en ebullición, de Gas Licuado de Petróleo (GLP) en cilindros
- 4) Charco de Fuego de grandes cantidades de gasolina
- 5) Explosión de nubes de vapor (ENV) de grandes cantidades de gasolina
- 6) La liberación de cloro en grandes cantidades
- 7) Explosión y expansión de vapor de líquido en ebullición, de Gas Licuado de Petróleo en grandes cantidades
- 8) Explosión de nubes de vapor de Gas Licuado de Petróleo en grandes cantidades
- 9) Antorchas de fuego de Gas Licuado de Petróleo a granel
- 10) La liberación de amoníaco a granel
- 11) La liberación de acroleína a granel
- 12) La liberación de acroleína en cilindros
- 13) Explosión y expansión de vapor de líquido en ebullición de dióxido de carbono a granel (sin incluir los efectos tóxicos)

El QRAM tiene en cuenta:

- frecuencia de accidentes (derivado del conjunto de datos históricos)
- consecuencias físicas de incidentes dentro de los túneles y a lo largo de las vías abiertas
- efecto de escapar y refugiarse
- efecto de peligro de personas (como el calor y el humo).

Los resultados para las diferentes rutas y el tráfico se calculan en términos de riesgo social. Esto refleja la amplia gama de resultados posibles derivados de un accidente, cada uno con diferentes probabilidades. Puede haber una baja probabilidad de dañar a la mayoría de la población de un pueblo, o una mayor probabilidad de lesionarse sólo a algunos de ellos.

Esta relación se ilustra con una "curva F/N", donde F es la frecuencia de N o más víctimas mortales (y/o lesiones graves). Cada curva también puede evaluarse en términos de un solo valor que representa el número medio de muertes al año, llamado el valor esperado (VE).

Las curvas F/N pueden ocasionar víctimas mortales en accidentes y / o lesiones graves, en usuarios de la carretera y/o en la población local.

6.2.4.3 Niveles de aceptación

Una vez obtenidas las curvas F/N representativas del túnel objeto de estudio es necesario comparar los resultados obtenidos con los criterios de aceptabilidad del riesgo establecidos. El objetivo consiste en determinar si es posible asumir la explotación del túnel permitiendo el paso de mercancías peligrosas por el mismo sin medidas adicionales de regulación específica del tráfico o, por el contrario, si se hace necesario establecer determinadas restricciones, regulaciones o prohibir completamente el paso de MP por el túnel.

Las condiciones de riesgo de un túnel, expresadas por la curva F/N (resultado del sumatorio de las curvas F/N del túnel, obtenidas para cada uno de los escenarios analizados), representan el riesgo social existente en la explotación de la citada infraestructura. Este valor corresponde al número de individuos afectados (fallecidos y heridos graves) por los accidentes registrados. Se expresa en términos de frecuencia acumulada de que el número de víctimas exceda un determinado valor (N) por túnel a lo largo de un año.

Los límites a estos valores se establecen a través de una serie de rectas que responden a la expresión:

$$F(N) = A \times N^{-k}$$

Anejo 12. Análisis de Riesgos

Siendo:

- $F(N)$ = Frecuencia anual de ocurrencia de accidentes con N víctimas. Eje de ordenadas
- N = Número de víctimas (fallecidos y heridos graves). Eje de abscisas en escala logarítmica
- A = Parámetro
- k = Parámetro

En función de los valores que se consideren para los coeficientes A y k se obtendrán unas rectas de pendiente negativa que determinan los siguientes límites:

- Recta límite superior

Es la recta que determina la frontera entre un riesgo social no admisible y unas condiciones de explotación aceptables.

Por encima del límite superior se encuentra la zona de riesgo no admisible, lo que obligaría a una reconsideración total del diseño o equipamiento del túnel, ya que las posibilidades de ocurrencia de una catástrofe superarían los límites de riesgo social admisible.

Por debajo del límite se encuentra la zona de condiciones de explotación aceptables.

- Recta límite inferior

Es la recta que determina la frontera entre unas condiciones de explotación aceptables y un riesgo social admisible.

Por encima se encontraría la zona de explotación aceptable, aunque con condiciones posiblemente mejorables a un coste razonable.

Por debajo se encuentra la zona de explotación en condiciones de riesgo tolerables sin necesidad de establecer ningún tipo de medidas adicionales para el túnel.

Estas dos rectas determinan tres áreas o zonas, como muestra la siguiente figura:

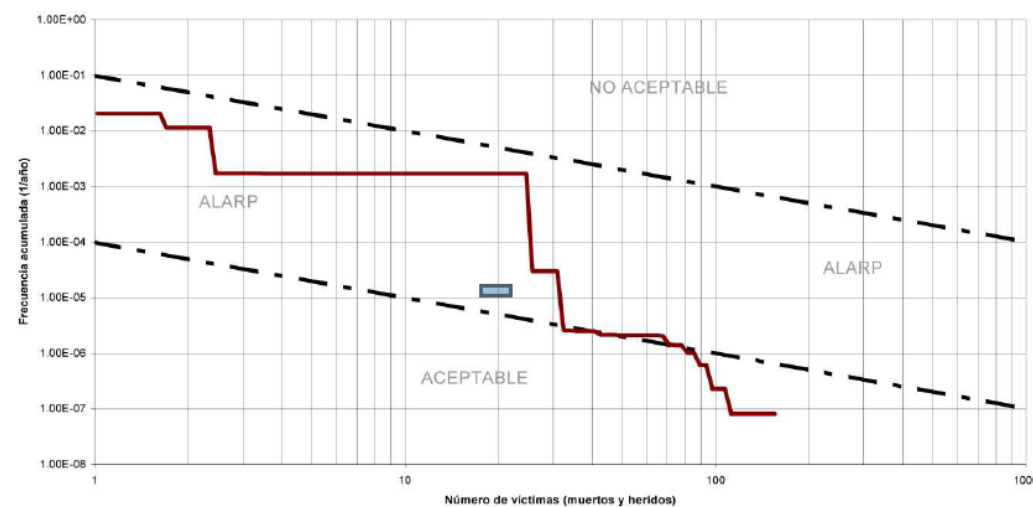


Figura 41: Representación del sumatorio de curvas F/N y áreas de aceptabilidad

Fuente: MARTBI

Existen tres zonas diferenciadas:

- Zona de riesgo no aceptable o no asumible socialmente: debe reconsiderarse el diseño del túnel y de su equipamiento.
- Zona intermedia, conocida con el nombre de ALARP ("As Low As Rational Possible" - Tan bajo como razonablemente sea posible): representa la zona en la que es posible la explotación del túnel en condiciones aceptables, si bien se deberían llevar a cabo medidas adicionales de seguridad de manera que se consiga reducir el riesgo tanto como razonablemente sea posible.

- Zona de riesgo aceptable o asumible socialmente: la explotación del túnel no hace necesaria la implantación de medias adicionales de seguridad

Niveles de aceptación para el túnel de la Avanzada

En España, los valores propuestos para los parámetros son los siguientes:

- Límite superior:
 - $A = 0.1$
 - $K = 1.0$

$$F(N) = \frac{0.1}{N}$$

- Límite inferior:
 - $A = 0.001$
 - $K = 1.0$

$$F(N) = \frac{0.001}{N}$$

Ambas rectas se representan en el gráfico que se incluye a continuación:

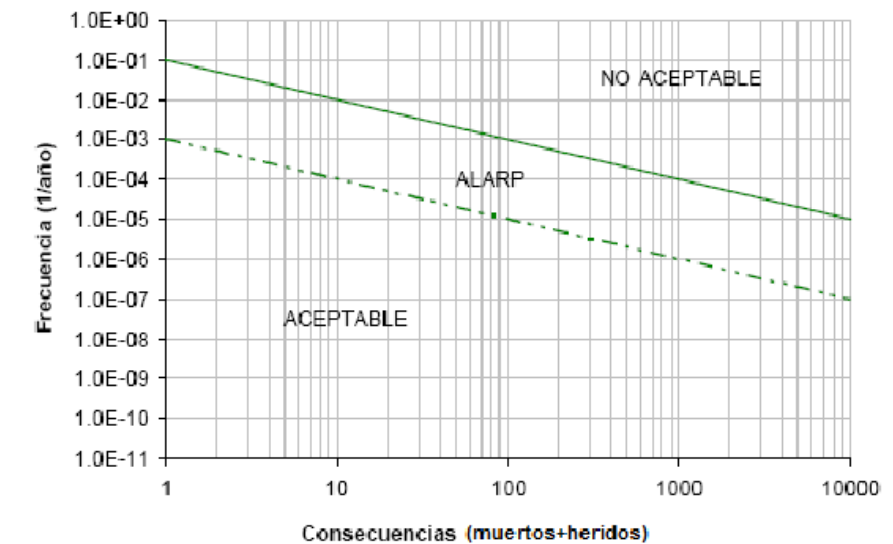


Figura 42: Rectas límite de aceptabilidad de riesgo

Fuente: MARTBI

6.2.4.4 QRAM para el túnel de la Avanzada

Los datos de entrada para el Túnel de Avanzada se indican en el Apartado 0.

Anejo 12. Análisis de Riesgos

Datos de partida y en los Apéndices incluidos al final del documento se muestran las tablas de entrada al QRAM para cada uno de los escenarios analizados.

6.2.4.5 Escenarios estudiados

Se han estudiado los siguientes escenarios:

Escenario	Nombre	Descripción	Longitud de la ruta
1	AVAN_T3_3P	Escenario BASE - 3 Periodos - Ruta completa	3.270 m (Túnel de 824 m)
2	AVAN_T3_3P_T	Escenario BASE - 3 Periodos - Sólo Túnel	824 m
3	AVAN_T3_1P	Escenario HORA PUNTA - 1 Periodo - Ruta completa	3.270 m (Túnel de 824 m)
4	AVAN_T3_1P_T	Escenario HORA PUNTA - 1 Periodo - Sólo Túnel	824 m

Tabla 45: Escenarios de QRAM estudiados en el Túnel de la Avanzada

Fuente: Elaboración propia

6.2.4.6 Resultados del QRAM

El modelo DG QRAM extrae diferentes tipos de resultados. En el presente informe se detallan los siguientes:

- EV, Valor Esperado (Expected Value): Representa el número de muertes previsto por año. Este valor puede obtenerse individualmente para cada Escenario de Accidente o agrupados para diferentes Grupos de Escenarios.
- Curvas F/N, Frecuencia/Número de muertes: Donde F es la frecuencia de N o más fatalidades.

Estas curvas se pueden obtener individualmente para cada Escenario de Accidente o para un Grupo de Escenarios.

Los Escenarios de Accidente considerados en el DG QRAM son los siguientes:

ESCENARIO	DESCRIPCIÓN	CAPACIDAD DE LA CISTERNA	TAMAÑO DE BRECHA (mm)	CAUDAL DE LA FUGA (kg/s)
E1	Fuego de 20 MW con Vehículo Pesado	-	-	-
E2	Fuego 100 MW con Vehículo Pesado	-	-	-
E3	BLEVE de GLP en cilindros 50 kg	50 kg	-	-
E4	Incendio de charco de gasolina	28 t	100	21
E5	VCE de carburante	28 t	100	21
E6	Vertido de cloro 20 t	20 t	50	45
E7	BLEVE de GLP a granel	18 t	-	-
E8	VCE de GLP a granel 18 t	18 t	50	36
E9	Incendio en antorcha de GLP a granel	18 t	50	36
E10	Vertido de un tanque de transporte de amoníaco	20 t	50	36
E11	Vertido de acroleína transportada a granel	25 t	100	25

ESCENARIO	DESCRIPCIÓN	CAPACIDAD DE LA CISTERNA	TAMAÑO DE BRECHA (mm)	CAUDAL DE LA FUGA (kg/s)
E12	Vertido de acroleína transportada en cilindros 100 l	100 t	4	0
E13	BLEVE con tanque de CO2	20 t	-	-

Tabla 46: Escenarios de accidentes considerados en el QRAM

Fuente: MARTBI

BLEVE, Boiling Liquid Expanding Vapour Explosión: Explosión de vapores en expansión de un líquido en ebullición.

GLP: Gases Licuados del Petróleo.

VCE, Vapor Cloud Explosion: Explosión de nube de vapor.

Los Escenarios de Incendio 1 y 2 representan incendios de vehículos pesados que no transportan Mercancías Peligrosas pero que por sí mismos son capaces de provocar incendios de potencia equivalente a la de un transporte de Mercancía Peligrosa.

Resultados del Valor Esperado (EV)

Se ha obtenido el Valor Esperado (EV) para cada una de estas tres agrupaciones de Escenario de Accidente:

- 1) Escenario de Accidente solamente de Mercancías Peligrosas.
- 2) Escenario de Accidente sin presencia de Mercancías Peligrosas (solamente E1 y E2). Corresponden a incendios 20 MW y 100 MW de vehículos pesados.
- 3) Todos los Escenarios de Accidentes.

El grupo número 3 (todos los escenarios) representa la suma de los valores para los grupos 1 y 2.

En la siguiente tabla se resumen el Valor Esperado (EV) para los escenarios estudiados:

Escenario	Nombre	Descripción	EV		
			Solamente MMPP	E1 + E2 Vehículos pesados	Todos los escenarios
1	AVAN_T3_3P	Escenario BASE - 3 Periodos - Ruta completa	2.854E-04	6.268E-03	6.553E-03
2	AVAN_T3_3P_T	Escenario BASE - 3 Periodos - Solo Túnel	2.726E-04	5.060E-03	5.333E-03
3	AVAN_T3_1P	Escenario HORA PUNTA - 1 Periodo - Ruta completa	6.040E-04	1.223E-02	1.283E-02
4	AVAN_T3_1P_T	Escenario HORA PUNTA - 1 Periodo - Solo Túnel	5.780E-04	9.981E-03	1.056E-02

Tabla 47: Previsión de víctimas anuales en el túnel, output DG QRAM

Fuente: Elaboración propia

El Valor Esperado de víctimas que pueden provocar los Vehículos Pesados que no transportan Mercancías Peligrosas (Escenarios 1 y 2) representa aproximadamente el 95% del valor esperado de todos los escenarios.

Anejo 12. Análisis de Riesgos

Escenari o	Nombre	Descripción	EV		
			Solament e MMPP	E1 + E2 Vehículos pesados	Todos los escenario s
1	AVAN_T3_3P	Escenario BASE - 3 Periodos - Ruta completa	4.35%	95.65%	100.00%
2	AVAN_T3_3P_T	Escenario BASE - 3 Periodos - Solo Túnel	5.11%	94.89%	100.00%
3	AVAN_T3_1P	Escenario HORA PUNTA - 1 Periodo - Ruta completa	4.71%	95.29%	100.00%
4	AVAN_T3_1P_T	Escenario HORA PUNTA - 1 Periodo - Solo Túnel	5.47%	94.53%	100.00%

Tabla 48: Porcentaje de MMPP en la Previsión de víctimas anuales en el túnel

Fuente: Elaboración propia

En la tabla anterior se puede observar que la proporción de víctimas que producirían los vehículos pesados que transportan mercancías peligrosas es muy pequeña en comparación con los Escenarios 1 y 2. La mayor parte de víctimas se producirían por los escenarios 1 y 2, es decir, por incendios de vehículos pesados que no transportan mercancías peligrosas, pero que por sí mismos son capaces de provocar incendios de potencia equivalente a la que producirían estos.

Curvas F/N, Frecuencia de accidente/Número de muertes

Mediante las Curvas F/N se representa la frecuencia de ocurrencia de accidentes (F) de N o más fatalidades para cada Escenario de Accidente.

Los límites de aceptabilidad de MARTBI se incluyen en las gráficas.

Las dos líneas definen tres zonas:

- Zona de riesgo no aceptable o no asumible socialmente: debe reconsiderarse el diseño del túnel y de su equipamiento.
- Zona intermedia, conocida con el nombre de ALARP (“As Low As Rational Possible” - Tan bajo como razonablemente sea posible): representa la zona en la que es posible la explotación del túnel en condiciones aceptables, si bien se deberían llevar a cabo medidas adicionales de seguridad de manera que se consiga reducir el riesgo tanto como razonablemente sea posible.
- Zona de riesgo aceptable o asumible socialmente: la explotación del túnel no hace necesaria la implantación de medidas adicionales de seguridad.

A continuación, se presentan las curvas F/N para el escenario considerado, tanto para el total de vehículos pesados (todos los escenarios de accidente considerados en el QRAM) como para los escenarios que incluyen únicamente mercancías peligrosas (excluyendo los escenarios 1 y 2 del QRAM).

1. Escenario 1: AVAN_T3_3P; Escenario BASE - 3 Periodos - Ruta completa

La predicción para el Escenario Base referente a mercancías peligrosas es de 2,854E-04 víctimas/año.

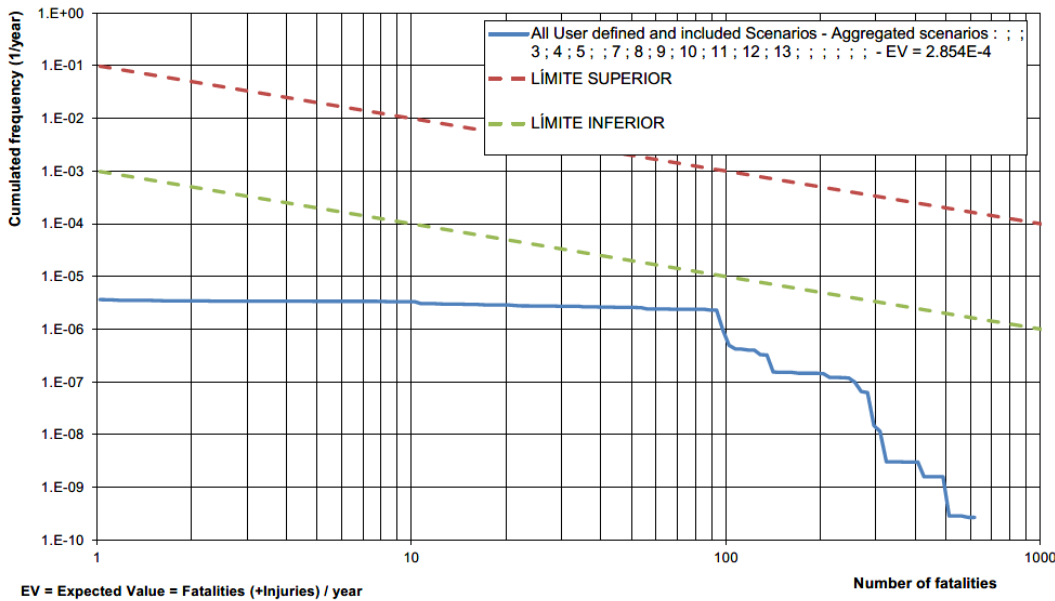


Figura 43:Curvas F/N Mercancías Peligrosas. Escenario 1: AVAN_T3_3P (Output QRAM)

Fuente: Elaboración propia

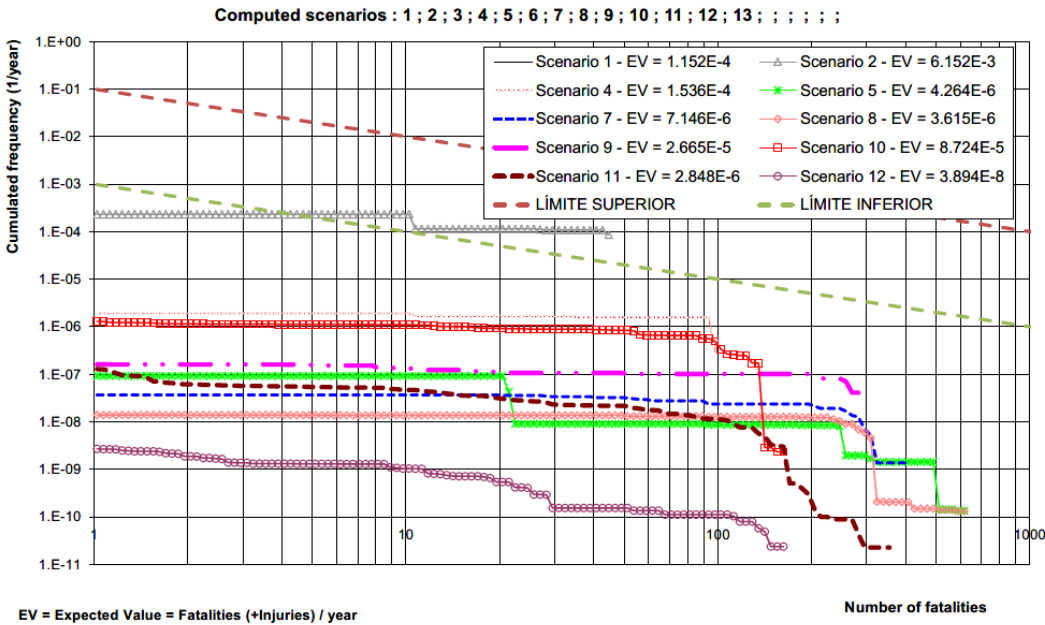


Figura 44:Curvas F/N para todos los escenarios. Escenario 1: AVAN_T3_3P (Output QRAM)

Fuente: Elaboración propia

El tránsito de vehículos pesados con capacidad de provocar un incendio de magnitudes equivalentes a las que provoca un transporte de mercancías peligrosas (Escenario 1 y Escenario 2 de DG QRAM) es el principal contribuyente del riesgo global, con un Valor Esperado de 6,268E-03víctimas/año, y siendo el Escenario de Accidente con mayor probabilidad de ocurrencia.

Anejo 12. Análisis de Riesgos

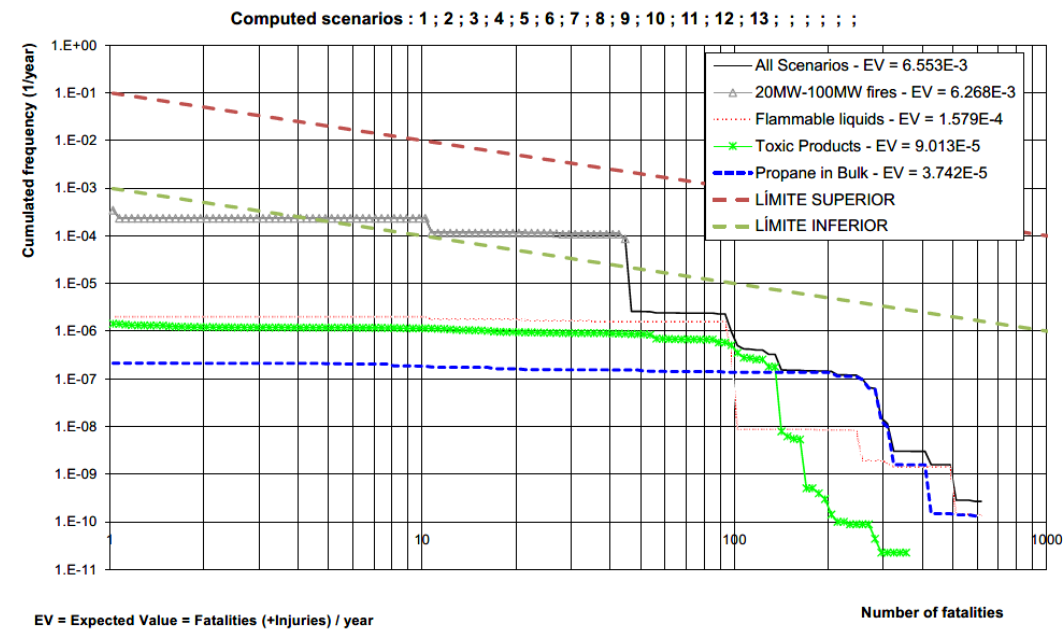


Figura 45: Curvas F/N Agrupadas. Escenario 1: AVAN_T3_3P (Output QRAM)

Fuente: Elaboración propia

Como puede observarse en las gráficas anteriores, el Valor Esperado en todos los escenarios que representan mercancías peligrosas se encuentra por debajo de la recta límite inferior de MARTBI. Sin embargo, el Valor Esperado de los Escenarios 1 y 2 y, por lo tanto, el de todos los escenarios agrupados se encuentra en la zona intermedia, conocida con el nombre de ALARP ("As Low As Rational Possible"). En esta zona es posible la explotación del túnel en condiciones aceptables, si bien se deberían llevar a cabo medidas adicionales de seguridad de manera que se consiga reducir el riesgo tanto como razonablemente sea posible.

En la siguiente gráfica se representan por un lado los escenarios de mercancías peligrosas, por otro los escenarios 1 y 2 y por último el conjunto de todos los escenarios. Puede observarse que en el primer tramo de la gráfica (hasta 45 víctimas) la curva de todos los escenarios y la de los escenarios 1 y 2 quedan prácticamente superpuestas, siendo la probabilidad de accidente mucho mayor que en el caso de mercancías peligrosas. Sin embargo, a partir de 45 víctimas, existe únicamente probabilidad de que el accidente haya sido provocado por un vehículo de mercancías peligrosas. En este último tramo la probabilidad de accidente sería mucho menor, aunque conllevaría más víctimas.

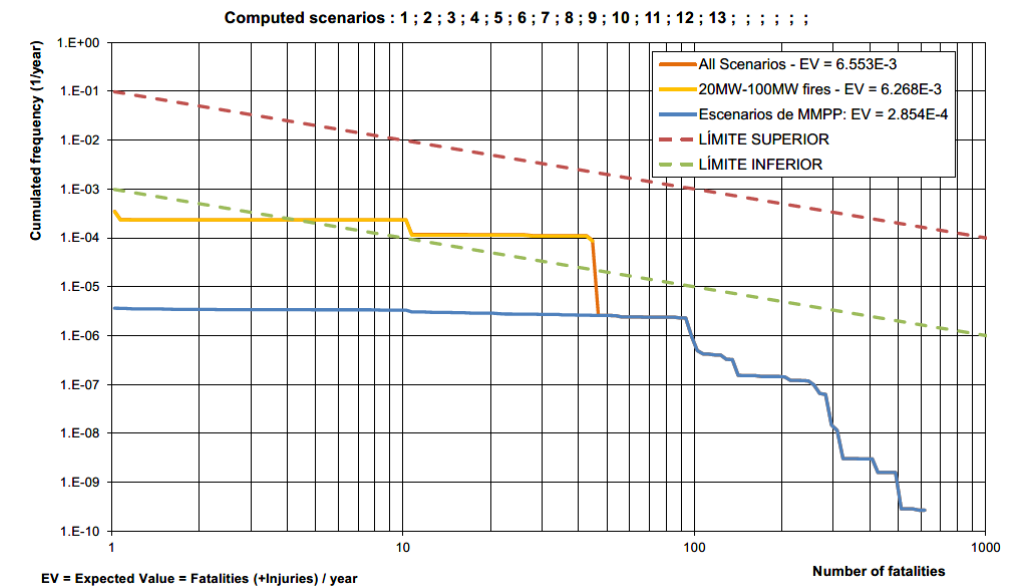


Figura 46: Curvas F/N Agrupadas. Escenario 1: AVAN_T3_3P (Output QRAM)

Fuente: Elaboración propia

Se incluyen a continuación a modo de comparación las curvas F/N agrupadas para el resto de los escenarios analizados, obteniéndose resultados similares a los presentados anteriormente en el Escenario Base.

Tanto en los casos en los que se considera la distribución en 3 periodos como considerando un único periodo en hora punta, se obtiene siempre que el conjunto de mercancías peligrosas se encuentra por debajo de la recta límite inferior de MARTBI. Sin embargo, el Valor Esperado de los vehículos pesados con capacidad de provocar un incendio de magnitudes equivalentes a las que provoca un transporte de mercancías peligrosas (Escenarios 1 y 2) y, por lo tanto, el de todos los escenarios agrupados se encuentra en la zona intermedia, conocida con el nombre de ALARP ("As Low As Rational Possible").

2. Escenario 2: AVAN_T3_3P_T; Escenario BASE - 3 Periodos - Solo Túnel

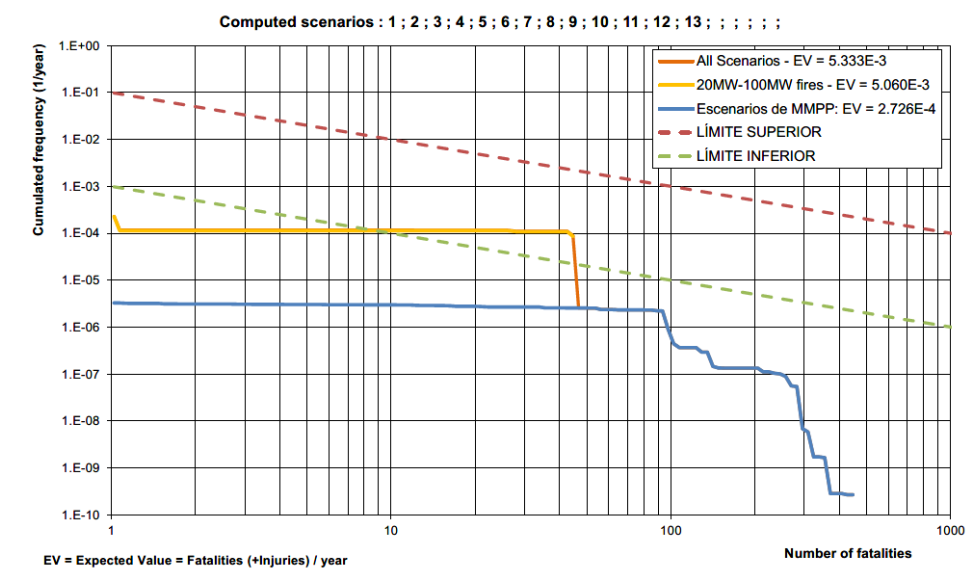


Figura 47: Curvas F/N Agrupadas. Escenario 2: AVAN_T3_3P_T (Output QRAM)

Fuente: Elaboración propia

Anejo 12. Análisis de Riesgos

3. Escenario 3: AVAN_T3_1P; Escenario HORA PUNTA - 1 Periodo (Hora punta) - Ruta completa

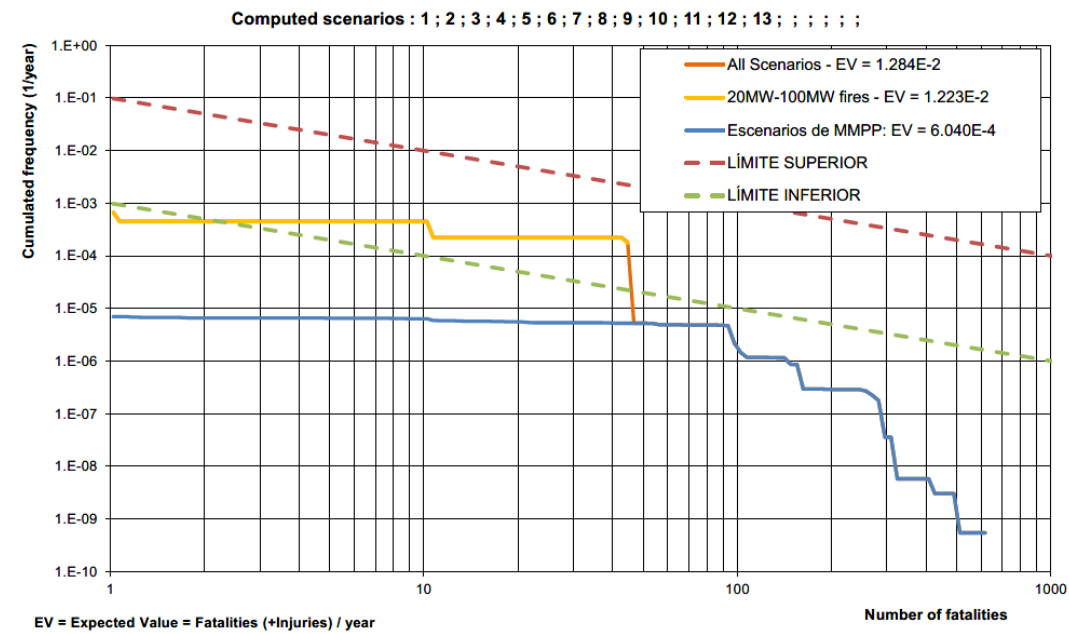


Figura 48:Curvas F/N Agrupadas. Escenario 3: AVAN_T3_1P (Output QRAM)

Fuente: Elaboración propia

4. Escenario 4: AVAN_T3_1P_T; Escenario HORA PUNTA - 1 Periodo (Hora Punta) - Solo Túnel

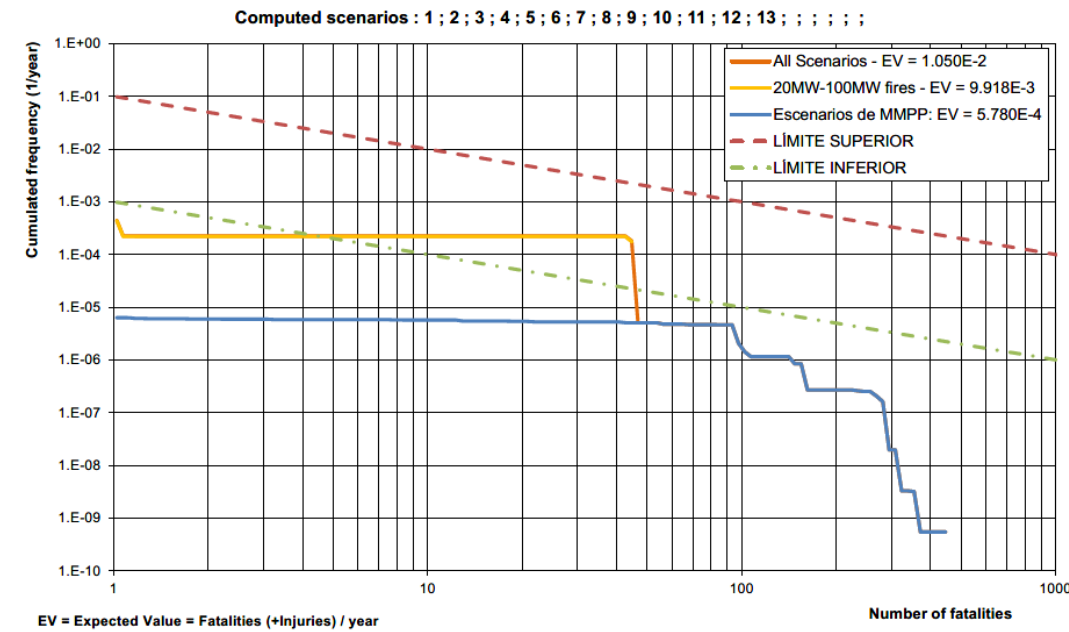


Figura 49:Curvas F/N Agrupadas. Escenario 4: AVAN_T3_1P_T (Output QRAM)

Fuente: Elaboración propia

6.3 Resultados y evaluación del riesgo

Tras estudiar diferentes situaciones y todos los resultados obtenidos del Valor Esperado y las curvas F/N, se puede comprobar que tanto el túnel y como el tramo analizado en ningún caso suponen un riesgo socialmente no aceptable.

- **Suma de todos los escenarios (MMPP + Escenarios 1 y 2):** calificando la MARTBI este riesgo como “ALARP (“As Low As Rational Possible” - Tan bajo como razonablemente sea posible); representa la zona en la que es posible la explotación del túnel en condiciones aceptables, si bien se deberían llevar a cabo medidas adicionales de seguridad de manera que se consiga reducir el riesgo tanto como razonablemente sea posible”.

Analizando el transporte de mercancías peligrosas y los vehículos pesados de forma separada, las calificaciones de la peligrosidad son:

- **Riesgo asociado al transporte de mercancías peligrosas:** “Zona de riesgo aceptable o asumible socialmente: la explotación del túnel no hace necesaria la implantación de medias adicionales de seguridad”.
- **Riesgo asociado al transporte de vehículos pesados (E1 +E2):** “ALARP (“As Low As Rational Possible” - Tan bajo como razonablemente sea posible); representa la zona en la que es posible la explotación del túnel en condiciones aceptables, si bien se deberían llevar a cabo medidas adicionales de seguridad de manera que se consiga reducir el riesgo tanto como razonablemente sea posible”.

Anejo 12. Análisis de Riesgos

7 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Los AARR anteriormente descritos han sido desarrollados mediante el método general y el método de mercancías peligrosas - DGQRAM, que mediante técnicas diferentes permiten clasificar la peligrosidad tanto del túnel La Avanzada (824 m) como del tramo de la BI-637 entre el Enlace de Universidad y la rotonda de Artaza.

En el caso del AARR por el método general, mediante el cálculo del índice de riesgo del túnel se obtiene una calificación de este. Para ello, los rangos de valores de calificación son:

- Túneles seguros: aquellos que presenten un valor del índice de riesgo muy próximo a la unidad.
- Túneles aceptables: los túneles que presenten un valor del índice de riesgo inferior a 1,15.
- Túneles con posibles restricciones: valor comprendido entre 1,15 y 1,50. El riesgo es compatible con mantenerlos en servicio durante un cierto periodo de tiempo, pero es necesario estudiar las medidas complementarias aplicables para incrementar la seguridad.
- Túneles con peligrosidad elevada: valor superior a 1,50 y no se considerarán seguros.

El análisis de riesgo ha arrojado un valor del índice de riesgo del túnel La Avanzada de 0,9472. Este valor inferior a la unidad representa que el túnel proyectado es más seguro que el túnel virtual con el que se compara, el cual representa un túnel tipo que cumple con todos los requisitos de infraestructura e instalaciones requeridos por la normativa foral.

Para la obtención de esta calificación, es importante señalar que el túnel proyectado parte penalizado respecto a un túnel tipo, principalmente con relación a los siguientes dos:

1. Infraestructura: por tratarse de un túnel existente sobre el cual no se modifica ni la sección transversal ni el perfil longitudinal. La modificación y/o mejora de la sección transversal del túnel actual y la anchura del tramo en trinchera requieren soluciones constructivas complicadas con graves afecciones al tráfico y costes de ejecución muy elevados, los cuales se descartan.
2. Tráfico: Se trata de un tramo de carretera con tráfico muy denso, congestiones frecuentes y valores de nivel de servicio elevados.

Las penalizaciones en la comparación entre el túnel real y virtual se reflejan en el cálculo del factor de criterios de diseño geométrico en el caso de las características propias de la infraestructura y en el cálculo de probabilidad de ocurrencia en el caso del tráfico. Un volumen de tráfico que supera un nivel de servicio C, el cual representa un tráfico fluido, es penalizado en la metodología mediante la penalización en la probabilidad de ocurrencia, aumentando esta en cada escenario de los cinco analizado. En el caso del túnel La Avanzada, con una IMD de 106.629 vehículos/día prevista para el año 2049 frente al límite de 72.131 vehículos/día correspondientes a nivel de servicio C, la diferencia en la probabilidad de ocurrencias es muy significativa:

	Probabilidad de ocurrencia	Probabilidad de ocurrencia corregida, Túnel Real	Probabilidad de ocurrencia corregida, Túnel Virtual
E1	85,00%	942,88%	655,75%
E2	11,00%	122,02%	84,86%
E3	2,00%	22,19%	15,43%
E4	1,00%	11,09%	7,71%
E5	1,00%	11,09%	7,71%

Tabla 49. Probabilidad de ocurrencia de cada escenario y cada túnel

Fuente: Elaboración propia

Para compensar estas desventajas intrínsecas del túnel a adecuar, es necesario dotar al túnel de medidas de infraestructura, instalaciones y explotación adicionales a las de un túnel de sus características en aplicación de la normativa, y en el caso del túnel La Avanzada las principales son:

- Infraestructura: Disposición de mayor número de galerías de emergencia y consecuentemente menores distancias de recorrido para los usuarios que se autoevacúan.
- Explotación: Proximidad de un parque de bomberos, parque de Artaza, disposición actual de control de velocidad mediante radar en las proximidades del túnel y señales activas de radar en las bocas de entrada.

La combinación de los sistemas de seguridad requeridos para este tipo de túnel y las medidas adicionales proyectadas, permiten reducir en el túnel virtual el número de víctimas estimadas que se producen en la aplicación de la metodología. A continuación, se muestra una tabla comparativa entre el túnel real y el túnel virtual de las víctimas que se producen en cada escenario:

Escenario	Túnel Virtual	Túnel Real	Reducción respecto al Túnel Virtual
Escenario 1	22	16	27,27%
Escenario 2	27	18	33,33%
Escenario 3	57	48	15,79%
Escenario 4	57	48	15,79%
Escenario 5	39	27	30,77%

Tabla 50: Víctimas en los cinco escenarios del túnel real y el virtual

Fuente: Elaboración propia

La combinación del número de víctimas previstas con los diferentes factores de ponderación permite calcular el coeficiente de riesgo del túnel real y virtual, los cuales finalmente permiten obtener el índice de riesgo del túnel. En este caso, se ha comprobado cómo en caso de producirse un incendio la reducción de víctimas es capaz de compensar la penalización por mayor probabilidad de ocurrencia que tiene el túnel La Avanzada.

En el caso del análisis de riesgo por el método de mercancías peligrosas DG-QRAM, los resultados de los valores de víctimas esperables - EV representados en las curvas F-N establecen los rangos de peligrosidad y criterios de aceptación en los siguientes:

- Riesgo aceptable socialmente: No es necesaria la implantación de medidas adicionales.
- Riesgo tan bajo como razonablemente posible - ALARP: Es posible la explotación del túnel, pero se debe llevar a cabo medidas adicionales de seguridad de manera que se consiga reducir el riesgo.
- Riesgo no aceptable socialmente: Debe reconsiderarse el diseño del túnel y de su equipamiento.

Para analizar de forma detallada la peligrosidad asociada al transporte de vehículos de mercancías peligrosas por el túnel La Avanzada, se han analizado cuatro escenarios diferentes y se han disgregado los resultados de cada escenario con las siguientes situaciones y criterios:

1. Analizar el túnel tanto de forma individual como en conjunto, incluyendo el tramo a cielo abierto entre enlaces anterior y posterior.
2. Considerar el tráfico proyecto al año horizonte, en situación de hora punta y diario, disgregando en tres periodos.
3. Disgregar los resultados obtenidos en dos tipologías de vehículos: Transporte de mercancías peligrosas y vehículos pesados (E1 + E2).

El estudio realizado permite concluir que el riesgo asociado a la libre circulación de los vehículos de MMPP a través del tramo de BI-637 que incluye el túnel La Avanzada supone un Riesgo Aceptable o asumible socialmente. Gráficamente, ha quedado reflejado mediante el Valor Esperado que se encuentra por debajo de la recta límite inferior de MARTBI. Restringir el paso de vehículos de Mercancías Peligrosas a través del túnel no supondría ninguna mejora del riesgo global, ya que la proporción de accidentes con víctimas que

Anejo 12. Análisis de Riesgos

provocan este tipo de vehículos es suficientemente pequeña como para no alterar la peligrosidad del tramo y el túnel, y seguiría suponiendo un riesgo socialmente tan bajo como razonablemente es posible.

Con relación al tránsito de vehículos pesados con capacidad de provocar un incendio de magnitudes equivalentes a las que provoca un transporte de mercancías peligrosas (Escenarios 1 y 2 correspondientes a incendios 100 MW y 20 MW), se ha comprobado que por sí mismos suponen un riesgo socialmente tan bajo como razonablemente es posible, denominada por la MARTBI con el nombre de ALARP (“As Low As Rational Possible”), *“representa la zona en la que es posible la explotación del túnel en condiciones aceptables, si bien se deberían llevar a cabo medidas adicionales de seguridad de manera que se consiga reducir el riesgo tanto como razonablemente sea posible.”*

Con relación a esta tipología de vehículos y los incendios que pueden provocar, resaltar que el análisis de riesgo por el método general en sus escenarios dos al cinco analiza incidentes provocados por vehículos pesados:

- **Escenario 2:** Corresponde a un incendio de un vehículo pesado y otro vehículo ligero. Se considera como potencia máxima de fuego representativa de este escenario 30 MW.
- **Escenario 3:** Incendio de un vehículo ligero y un autocar. En este caso se considera como potencia máxima de fuego del incendio 15 MW.
- **Escenario 4:** Incendio de un vehículo pesado y un autocar. Se considera como potencia máxima de fuego representativa de este escenario 30 MW.
- **Escenario 5:** Incendio de un vehículo capaz de provocar un incendio de gran magnitud y otro vehículo, con una potencia de incendio de referencia de hasta 100 MW.

Tal y como se ha descrito anteriormente, para obtener una calificación de túnel seguro de La Avanzada mediante el método general ha sido necesario diseñar un túnel con una serie de medidas adicionales que compensan los riesgos intrínsecos de la infraestructura. La aplicación de estas medidas ha permitido obtener un índice de riesgo del túnel con un valor inferior a la unidad, lo que supone que el túnel proyectado es aún más seguro que un *túnel tipo* o virtual que cumple con todos los requisitos normativos. Esta calificación y conclusiones se obtienen considerando la libre circulación de vehículos de mercancías peligrosas por el tramo de la BI-637 entre el Enlace de Universidad y la rotonda de Artaza, así como con el aumento de tráfico a veinte años desde la apertura al tráfico del túnel en el año 2029.

APÉNDICE 1: INPUTS DGGRAM - ESCENARIO 1: AVAN_T3_3P

When finished to modify inputs related to the current case in every sheets, come back to this one and click below



File Name:	AVAN_T3_3P .xlsm
Possibility to use the Fortan program ?	Yes
Direction A and B described indistinctly ?	No
Number of sections:	5
Country where section 1 is located:	Spain
Number of periods:	3
Scenario 1 (HGV fire 20 MW):	Yes
Scenario 2 (HGV fire 100 MW):	Yes
Scenario 3 (BLEVE of a 50kg LPG cylinder):	Yes
Scenario 4 (Motor spirit pool fire):	Yes
Scenario 5 (VCE of motor spirit):	Yes
Scenario 6 (Chlorine release from a 20 tons tank):	Yes
Scenario 7 (BLEVE of an 18 tons LPG tank):	Yes
Scenario 8 (VCE from an 18 tons LPG tank):	Yes
Scenario 9 (Torch fire from an 18 tons LPG tank):	Yes
Scenario 10 (Ammonia release from an 18 tons tank):	Yes
Scenario 11 (Acrolein release from a 25 tons tank):	Yes
Scenario 12 (Acrolein release from a 100 l cylinder):	Yes
Scenario 13 (BLEVE of a 20 ton liquefied CO2 tank):	Yes
Calculations for fatalities only (1) or for fatalities + injuries (2) ?	1
Calculations for road users only (2), population only (3) or both (1) ?	1
Date of file opening	27/05/2021 09:23:44.7
Date of end of calculations	27/05/2021 09:27:16.0
execution time hh:mm:ss.000	00:03:31.280

1) Data that are constant all along a route, but that can be modified as a function of time period and travel direction																																											
Route name		Normal_A_NORMAL																																									
Route description		Normal_A																																									
Average number of persons in a car		1.5																																									
Average number of persons in a HGV		1																																									
Average number of persons in a Bus/Coach		30																																									
HDGV traffic (veh/h)		1.63		Scen:		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15		16		17		18		19		20	
Proportion of each DG type in the whole for :				DG potentially leading to a large (100MW) fire (except liquids)		Propane 50kg		Flammable liquids in bulk (Motor spirit, diesel oil,...)		Fraction of flammable liqs potentially leading to VCE (excl diesel oil)		Chlorine in bulk		Propane in Bulk		Propane in bulk		Propane in bulk		Ammonia in Bulk		Acrolein in bulk		Acrolein in cylinder		Liquefied refrigerated CO2 in bulk																	
				Ratio:		0.006		0.008		0.363		0.5		0		0.024		0.02362159		0.02362159		0.015		0.002		0.002		0.013		0		0		0		0		0					
Remaining part:		0.569																																									
Period number:		1		Direction: A																																							
Time ratio for this period		0.375																																									

2) Data that are modifiable as a function of the route, the time period and the travel direction																					
Route characteristics	Section #	Tunnel? (0=NO) (1=YES)	X (m)	Y (m)	Straight line (m)	User defined length (m)	Urban / Rural?	Rk-DG use?	Total traffic (veh/h)	HGV ratio (adim)	Bus / coaches Ratio (adim)	Light vehicles speed (km/h)	HGV/Bus speed (km/h)	Delay (s) for stopping approaching traffic	Number of lanes	First run: User defined or Default frequency?	Accident frequency (/veh.km)	DG transport correction factor	Density of population (inhab/km²)	Country	Reserved
	0		502619	4795806																	
	1	0	501435	4796705	1487	1487	Urban	Rk	3522	0.038	0.01256	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	2	0	501252	4796831	222	222	Urban	Rk	2908	0.035	0.01156	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	3	1	500574	4797299	824	824	Urban	Sk	2908	0.035	0.01156	80	70	120	2	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	4	0	500392	4797426	222	222	Urban	Rk	2908	0.035	0.01156	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	5	0	499970	4797723	516	515	Urban	Rk	2908	0.035	0.01156	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0

1) Data that are constant all along a route, but that can be modified as a function of time period and travel direction																																											
Route name		Quiet_A_QUIET																																									
Route description		Quiet_A																																									
Average number of persons in a car		1.5																																									
Average number of persons in a HGV		1																																									
Average number of persons in a Bus/Coach		30																																									
HDGV traffic (veh/h)		0.22		Scen:		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15		16		17		18		19		20	
Proportion of each DG type in the whole for :				DG potentially leading to a large (100MW) fire (except liquids)		Propane 50kg		Flammable liquids in bulk (Motor spirit, diesel oil,...)		Fraction of flammable liqs potentially leading to VCE (excl diesel oil)		Chlorine in bulk		Propane in Bulk		Propane in bulk		Propane in bulk		Ammonia in Bulk		Acrolein in bulk		Acrolein in cylinder		Liquefied refrigerated CO2 in bulk																	
				Ratio:		0.006		0.008		0.363		0.5		0		0.024		0.02362159		0.02362159		0.015		0.002		0.002		0.013		0		0		0		0		0					
Remaining part:		0.569																																									
Period number:		2		Direction: A																																							
Time ratio for this period		0.333																																									

2) Data that are modifiable as a function of the route, the time period and the travel direction																					
Route characteristics	Section #	Tunnel? (0=NO) (1=YES)	X (m)	Y (m)	Straight line (m)	User defined length (m)	Urban / Rural?	Rk-DG use?	Total traffic (veh/h)	HGV ratio (adim)	Bus / coaches Ratio (adim)	Light vehicles speed (km/h)	HGV/Bus speed (km/h)	Delay (s) for stopping approaching traffic	Number of lanes	First run: User defined or Default frequency?	Accident frequency (/veh.km)	DG transport correction factor	Density of population (inhab/km²)	Country	Reserved
	0		502619	4795806																	
	1	0	501435	4796705	1487	1487	Urban	Rk	476	0.038	0.01256	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	2	0	501252	4796831	222	222	Urban	Rk	393	0.035	0.01156	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	3	1	500574	4797299	824	824	Urban	Sk	393	0.035	0.01156	80	70	120	2	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	4	0	500392	4797426	222	222	Urban	Rk	393	0.035	0.01156	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	5	0	499970	4797723	516	515	Urban	Rk	393	0.035	0.01156	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0

1) Data that are constant all along a route, but that can be modified as a function of time period and travel direction																						
Route name		Peak_A_PEAK																				
Route description		Peak_A																				
Average number of persons in a car		1.5																				
Average number of persons in a HGV		1																				
Average number of persons in a Bus/Coach		30																				
HDGV traffic (veh/h)		2.14	Scen:	Consider fires for Non-DG HGV?		Yes																
				2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Proportion of each DG type in the whole for :			DG potentially leading to a large (100MW) fire (except liquids)	Propane 50kg	Flammable liquids in bulk (Motor spirit, diesel oil,...)	Fraction of flammable liqs potentially leading to VCE (excl diesel oil)	Chlorine in bulk	Propane in Bulk	Propane in bulk	Propane in bulk	Ammonia in Bulk	Acrolein in bulk	Acrolein in cylinder	Liquefied refrigerated CO2 in bulk								
			Ratio:	0.006	0.008	0.363	0.5	0	0.024	0.02362159	0.02362159	0.015	0.002	0.002	0.013	0	0	0	0	0		
Remaining part:		0.569																				
Period number:		3	Direction: A																			
Time ratio for this period		0.292																				

2) Data that are modifiable as a function of the route, the time period and the travel direction																					
Route characteristics	Section #	Tunnel? (0=NO) (1=YES)	X (m)	Y (m)	Straight line (m)	User defined length (m)	Urban / Rural?	Rk-DG use?	Total traffic (veh/h)	HGV ratio (adim)	Bus / coaches Ratio (adim)	Light vehicles speed (km/h)	HGV/Bus speed (km/h)	Delay (s) for stopping approaching traffic	Number of lanes	First run: User defined or Default frequency?	Accident frequency (/veh.km)	DG transport correction factor	Density of population (inhab/km²)	Country	Reserved
	0		502619	4795806																	
	1	0	501435	4796705	1487	1487	Urban	Rk	4644	0.038	0.01256	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	2	0	501252	4796831	222	222	Urban	Rk	3834	0.035	0.01156	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	3	1	500574	4797299	824	824	Urban	Sk	3834	0.035	0.01156	80	70	120	2	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	4	0	500392	4797426	222	222	Urban	Rk	3834	0.035	0.01156	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	5	0	499970	4797723	516	515	Urban	Rk	3834	0.035	0.01156	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0

1) Data that are constant all along a route, but that can be modified as a function of time period and travel direction																					
Route name		Normal_B_NORMAL_B																			
Route description		Normal_B																			
Average number of persons in a car		1.5																			
Average number of persons in a HGV		1																			
Average number of persons in a Bus/Coach		30																			
HDGV traffic (veh/h)		1.68																			
		Scen:	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Proportion of each DG type in the whole for :			DG potentially leading to a large (100MW) fire (except liquids)	Propane 50kg	Flammable liquids in bulk (Motor spirit, diesel oil,...)	Fraction of flammable liqs potentially leading to VCE (excl diesel oil)	Chlorine in bulk	Propane in Bulk	Propane in bulk	Propane in bulk	Ammonia in Bulk	Acrolein in bulk	Acrolein in cylinder	Liquefied refrigerated CO2 in bulk							
		Ratio:	0.006	0.008	0.363	0.5	0	0.024	0.02362159	0.02362159	0.015	0.002	0.002	0.013	0	0	0	0	0		
Remaining part:		0.569																			
Period number:		1																			
		Direction: B																			
Time ratio for this period		0.375																			

2) Data that are modifiable as a function of the route, the time period and the travel direction																					
Route characteristics	Section #	Tunnel? (0=NO) (1=YES)	X (m)	Y (m)	Straight line (m)	User defined length (m)	Urban / Rural?	Rk-DG use?	Total traffic (veh/h)	HGV ratio (adim)	Bus / coaches Ratio (adim)	Light vehicles speed (km/h)	HGV/Bus speed (km/h)	Delay (s) for stopping approaching traffic	Number of lanes	First run: User defined or Default frequency?	Accident frequency (/veh.km)	DG transport correction factor	Density of population (inhab/km²)	Country	Reserved
	0		502619	4795806																	
	1	0	501435	4796705	1487	1487	Urban	Rk	3636	0.038	0.01256	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	2	0	501252	4796831	222	222	Urban	Rk	3001	0.035	0.01156	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	3	1	500574	4797299	824	824	Urban	Sk	3001	0.035	0.01156	80	70	120	2	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	4	0	500392	4797426	222	222	Urban	Rk	3001	0.035	0.01156	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	5	0	499970	4797723	516	515	Urban	Rk	3001	0.035	0.01156	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0

1) Data that are constant all along a route, but that can be modified as a function of time period and travel direction																																											
Route name		Quiet_B_QUIET_B																																									
Route description		Quiet_B																																									
Average number of persons in a car		1.5																																									
Average number of persons in a HGV		1																																									
Average number of persons in a Bus/Coach		30																																									
HDGV traffic (veh/h)		0.23		Scen:		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15		16		17		18		19		20	
Proportion of each DG type in the whole for :				DG potentially leading to a large (100MW) fire (except liquids)		Propane 50kg		Flammable liquids in bulk (Motor spirit, diesel oil,...)		Fraction of flammable liqs potentially leading to VCE (excl diesel oil)		Chlorine in bulk		Propane in Bulk		Propane in bulk		Propane in bulk		Ammonia in Bulk		Acrolein in bulk		Acrolein in cylinder		Liquefied refrigerated CO2 in bulk																	
				Ratio:		0.006		0.008		0.363		0.5		0		0.024		0.02362159		0.02362159		0.015		0.002		0.002		0.013		0		0		0		0		0					
Remaining part:		0.569																																									
Period number:		2		Direction:																	B																						
Time ratio for this period		0.333																																									

2) Data that are modifiable as a function of the route, the time period and the travel direction																					
Route characteristics	Section #	Tunnel? (0=NO) (1=YES)	X (m)	Y (m)	Straight line (m)	User defined length (m)	Urban / Rural?	Rk-DG use?	Total traffic (veh/h)	HGV ratio (adim)	Bus / coaches Ratio (adim)	Light vehicles speed (km/h)	HGV/Bus speed (km/h)	Delay (s) for stopping approaching traffic	Number of lanes	First run: User defined or Default frequency?	Accident frequency (/veh.km)	DG transport correction factor	Density of population (inhab/km²)	Country	Reserved
	0		502619	4795806																	
	1	0	501435	4796705	1487	1487	Urban	Rk	503	0.038	0.01256	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	2	0	501252	4796831	222	222	Urban	Rk	415	0.035	0.01156	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	3	1	500574	4797299	824	824	Urban	Sk	415	0.035	0.01156	80	70	120	2	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	4	0	500392	4797426	222	222	Urban	Rk	415	0.035	0.01156	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	5	0	499970	4797723	516	515	Urban	Rk	415	0.035	0.01156	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0

1) Data that are constant all along a route, but that can be modified as a function of time period and travel direction																																											
Route name		Peak_B_PEAK_B																																									
Route description		Peak_B																																									
Average number of persons in a car		1.5																																									
Average number of persons in a HGV		1																																									
Average number of persons in a Bus/Coach		30																																									
HDGV traffic (veh/h)		2.39		Scen:		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15		16		17		18		19		20	
Proportion of each DG type in the whole for :				DG potentially leading to a large (100MW) fire (except liquids)		Propane 50kg		Flammable liquids in bulk (Motor spirit, diesel oil,...)		Fraction of flammable liqs potentially leading to VCE (excl diesel oil)		Chlorine in bulk		Propane in Bulk		Propane in bulk		Propane in bulk		Ammonia in Bulk		Acrolein in bulk		Acrolein in cylinder		Liquefied refrigerated CO2 in bulk																	
				Ratio:		0.006		0.008		0.363		0.5		0		0.024		0.02362159		0.02362159		0.015		0.002		0.002		0.013		0		0		0		0		0					
Remaining part:		0.569																																									
Period number:		3		Direction: B																																							
Time ratio for this period		0.292																																									

2) Data that are modifiable as a function of the route, the time period and the travel direction																					
Route characteristics	Section #	Tunnel? (0=NO) (1=YES)	X (m)	Y (m)	Straight line (m)	User defined length (m)	Urban / Rural?	Rk-DG use?	Total traffic (veh/h)	HGV ratio (adim)	Bus / coaches Ratio (adim)	Light vehicles speed (km/h)	HGV/Bus speed (km/h)	Delay (s) for stopping approaching traffic	Number of lanes	First run: User defined or Default frequency?	Accident frequency (/veh.km)	DG transport correction factor	Density of population (inhab/km²)	Country	Reserved
	0		502619	4795806																	
	1	0	501435	4796705	1487	1487	Urban	Rk	5170	0.038	0.01256	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	2	0	501252	4796831	222	222	Urban	Rk	4268	0.035	0.01156	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	3	1	500574	4797299	824	824	Urban	Sk	4268	0.035	0.01156	80	70	120	2	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	4	0	500392	4797426	222	222	Urban	Rk	4268	0.035	0.01156	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	5	0	499970	4797723	516	515	Urban	Rk	4268	0.035	0.01156	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0

Tunnel 1 inputs				symbol	units	data				
1										
cross-section geometry										
effective width	W	m	16.9							
effective height	H	m	5.15							
open cross-sectional area	A	m2	87.035							
camber	Cam	%	2							
lengthwise geometry										
...segments (homogeneous - ventilation, gradient)										
total number of segments	Ns	-	4							
segment number		-	1	2	3	4				
segment lengths	Xs	m	45	238	407	134				
total length of tunnel	Xt	m	824							
segment gradient	Gs	%	0							
...nodes (segment start and end points)										
total number of nodes	Nn	-	5							
node number		-	1	2	3	4	5			
location of node	Xn	m	0	45	283	690	824			
ventilation - normal										
...segments										
segment number		-	1	2	3	4				
volume flow rate extracted from tunnel	VsN	m³/s	0	0	0	0				
...nodes (segment start and end points)										
node number		-	1	2	3	4	5			
volume flow rate along tunnel at nodes	VnN	m³/s	47.5	47.5	47.5	47.5	47.5			
ventilation - emergency										
number of emergency ventilation regimes										
nE		-	1							
time taken to activate emergency ventilation										
tE		mins	2							
Warning: This value can differ as a function of period even if the tunnel is the same for all periods										
segment number										
		-	1	2	3	4				
emergency ventilation regime if accident within this segment										
iE		-	1	1	1	1				
...volume flow rate extracted from tunnel										
VsE		m³/s								
segment number										
		-	1	2	3	4				
emergency ventilation regime										
1			0	0	0	0				
...volume flow rate along tunnel										
VnE		m³/s								
node number										
		-	1	2	3	4	5			
emergency ventilation regime										
1			240	240	240	240	240			

--

drainage			
open area of discrete drains or continuous slot (per Xd m)	Ad	m²	0.49
interval between drains, or slot length used to define Ad	Xd	m	40

traffic			
traffic direction (0=bi-directional, 1=A-to-B, - 1=B-to-A)	TrDir	-	0
traffic density (0=none, 1=light, 2=normal, 3=peak)	TrDen	-	0.863481104

mitigation measures			
average spacing between emergency exits	Xe	m	125
emergency coms (0=no, 1=bell/siren, 2=PA, 3=PA+CCTV)	Ecom	-	3

tunnel structure			
type of construction (1=drill+blast/tbm, 2=cut+cover)	itype	-	2
ground type (1=bedrock, 2=fragmented, 3=frag/under water)	ground	-	2
internal radius	trad	m	5.27
lining thickness	dlin	m	0.6
road support thickness	droad	m	0.4
mid-wall thickness	dmidw	m	0
overburden depth	dover	m	6.5
depth of water above solid overburden	dwater	m	0
fire protection lining (0=no, 1=yes)	fprot	-	1
temperature rating	fptemp	degC	400
time rating	fptime	mins	90

State of data entries:	Ended
------------------------	-------

calculations								
...sub-segments								
maximum sub-segment length		m	10					
segment number		-	1	2	3	4		
number of sub-segments per segment	Nsub	-	5	24	41	14		
total number of sub-segments		-	84					
actual sub-segment lengths	Xsub	m	9	9.91666667	9.92682927	9.57142857		

Ventilation balance

ventilation - normal								
...segments								
segment number		-	1	2	3	4		
...volume flow rate forced into tunnel		m³/s	0.0	0.0	0.0	0.0		0

Maximum number of segments that can be displayed	15							15
--	----	--	--	--	--	--	--	----

Checks ventilation regimes	0	0	0	0				0
----------------------------	---	---	---	---	--	--	--	---

Emergency ventilation balance

...volume flow rate forced into tunnel		m³/s																	
segment number			1	2	3	4													
emergency ventilation regime		1	0.0	0.0	0.0	0.0													

0.0

Normal ventilation : maximum of absolute values of the 2 flows entering and 2 flows exiting each segment must be >= 0 m3/s

0

ventilation - normal																			
...segments																			
segment number		-	1	2	3	4													
validity volume flow rate forced into tunnel			47.5	47.5	47.5	47.5													

47.5

Maximum number of segments that can be displayed
15

15

Checks ventilation regimes		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
----------------------------	--	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

1

Emergency ventilation : maximum of absolute values of the 2 flows entering and 2 flows exiting each segment location of an accident must be >= 0 m3/s

Abs (longitudinal volume flow rates) into tunnel		m³/s																	
segment number		-	1	2	3	4													
emergency ventilation regime		1	240.0	240.0	240.0	240.0													

240.0



APÉNDICE 2: INPUTS DGQRAM - ESCENARIO 2: AVAN_T3_3P_T

When finished to modify inputs related to the current case in every sheets, come back to this one and click below



File Name:	AVAN_T3_3P_T .xlsm
Possibility to use the Fortan program ?	Yes
Direction A and B described indistinctly ?	No
Number of sections:	5
Country where section 1 is located:	Spain
Number of periods:	3
Scenario 1 (HGV fire 20 MW):	Yes
Scenario 2 (HGV fire 100 MW):	Yes
Scenario 3 (BLEVE of a 50kg LPG cylinder):	Yes
Scenario 4 (Motor spirit pool fire):	Yes
Scenario 5 (VCE of motor spirit):	Yes
Scenario 6 (Chlorine release from a 20 tons tank):	Yes
Scenario 7 (BLEVE of an 18 tons LPG tank):	Yes
Scenario 8 (VCE from an 18 tons LPG tank):	Yes
Scenario 9 (Torch fire from an 18 tons LPG tank):	Yes
Scenario 10 (Ammonia release from an 18 tons tank):	Yes
Scenario 11 (Acrolein release from a 25 tons tank):	Yes
Scenario 12 (Acrolein release from a 100 l cylinder):	Yes
Scenario 13 (BLEVE of a 20 ton liquefied CO2 tank):	Yes
Calculations for fatalities only (1) or for fatalities + injuries (2) ?	1
Calculations for road users only (2), population only (3) or both (1) ?	1
Date of file opening	27/05/2021 09:40:36.9
Date of end of calculations	27/05/2021 09:44:38.0
execution time hh:mm:ss.000	00:04:01.020

1) Data that are constant all along a route, but that can be modified as a function of time period and travel direction																																											
Route name		Normal_A NORMAL																																									
Route description		Normal_A																																									
Average number of persons in a car		1.5																																									
Average number of persons in a HGV		1																																									
Average number of persons in a Bus/Coach		30																																									
HDGV traffic (veh/h)		1.63		Scen:		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15		16		17		18		19		20	
Proportion of each DG type in the whole for :				DG potentially leading to a large (100MW) fire (except liquids)		Propane 50kg		Flammable liquids in bulk (Motor spirit, diesel oil,...)		Fraction of flammable liqs potentially leading to VCE (excl diesel oil)		Chlorine in bulk		Propane in Bulk		Propane in bulk		Propane in bulk		Ammonia in Bulk		Acrolein in bulk		Acrolein in cylinder		Liquefied refrigerated CO2 in bulk																	
				Ratio:		0.006		0.008		0.363		0.5		0		0.024		0.02362159		0.02362159		0.015		0.002		0.002		0.013		0		0		0		0		0					
Remaining part:		0.569																																									
Period number:		1		Direction: A																																							
Time ratio for this period		0.375																																									

2) Data that are modifiable as a function of the route, the time period and the travel direction

Route characteristics	Section #	Tunnel? (0=NO) (1=YES)	X (m)	Y (m)	Straight line (m)	User defined length (m)	Urban / Rural?	Rk-DG use?	Total traffic (veh/h)	HGV ratio (adim)	Bus / coaches Ratio (adim)	Light vehicles speed (km/h)	HGV/Bus speed (km/h)	Delay (s) for stopping approaching traffic	Number of lanes	First run: User defined or Default frequency?	Accident frequency (/veh.km)	DG transport correction factor	Density of population (inhab/km²)	Country	Reserved
	0		502619	4795806																	
	1	0	501435	4796705	1487	1487	Urban	Rk	0	0.038	0.01256	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	2	0	501252	4796831	222	222	Urban	Rk	0	0.035	0.01156	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	3	1	500574	4797299	824	824	Urban	Sk	2908	0.035	0.01156	80	70	120	2	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	4	0	500392	4797426	222	222	Urban	Rk	0	0.035	0.01156	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	5	0	499970	4797723	516	515	Urban	Rk	0	0.035	0.01156	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0

1) Data that are constant all along a route, but that can be modified as a function of time period and travel direction																																											
Route name		Quiet_A_QUIET																																									
Route description		Quiet_A																																									
Average number of persons in a car		1.5																																									
Average number of persons in a HGV		1																																									
Average number of persons in a Bus/Coach		30																																									
HDGV traffic (veh/h)		0.22		Scen:		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15		16		17		18		19		20	
Proportion of each DG type in the whole for :				DG potentially leading to a large (100MW) fire (except liquids)		Propane 50kg		Flammable liquids in bulk (Motor spirit, diesel oil,...)		Fraction of flammable liqs potentially leading to VCE (excl diesel oil)		Chlorine in bulk		Propane in Bulk		Propane in bulk		Propane in bulk		Ammonia in Bulk		Acrolein in bulk		Acrolein in cylinder		Liquefied refrigerated CO2 in bulk																	
				Ratio:		0.006		0.008		0.363		0.5		0		0.024		0.02362159		0.02362159		0.015		0.002		0.002		0.013		0		0		0		0		0					
Remaining part:		0.569																																									
Period number:		2		Direction: A																																							
Time ratio for this period		0.333																																									

2) Data that are modifiable as a function of the route, the time period and the travel direction

Route characteristics	Section #	Tunnel? (0=NO) (1=YES)	X (m)	Y (m)	Straight line (m)	User defined length (m)	Urban / Rural?	Rk-DG use?	Total traffic (veh/h)	HGV ratio (adim)	Bus / coaches Ratio (adim)	Light vehicles speed (km/h)	HGV/Bus speed (km/h)	Delay (s) for stopping approaching traffic	Number of lanes	First run: User defined or Default frequency?	Accident frequency (/veh.km)	DG transport correction factor	Density of population (inhab/km²)	Country	Reserved
	0		502619	4795806																	
	1	0	501435	4796705	1487	1487	Urban	Rk	0	0.038	0.01256	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	2	0	501252	4796831	222	222	Urban	Rk	0	0.035	0.01156	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	3	1	500574	4797299	824	824	Urban	Sk	393	0.035	0.01156	80	70	120	2	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	4	0	500392	4797426	222	222	Urban	Rk	0	0.035	0.01156	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	5	0	499970	4797723	516	515	Urban	Rk	0	0.035	0.01156	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0

1) Data that are constant all along a route, but that can be modified as a function of time period and travel direction																																											
Route name		Peak_A_PEAk																																									
Route description		Peak_A																																									
Average number of persons in a car		1.5																																									
Average number of persons in a HGV		1																																									
Average number of persons in a Bus/Coach		30																																									
HDGV traffic (veh/h)		2.14		Scen:		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15		16		17		18		19		20	
Proportion of each DG type in the whole for :				DG potentially leading to a large (100MW) fire (except liquids)		Propane 50kg		Flammable liquids in bulk (Motor spirit, diesel oil,...)		Fraction of flammable liqs potentially leading to VCE (excl diesel oil)		Chlorine in bulk		Propane in Bulk		Propane in bulk		Propane in bulk		Ammonia in Bulk		Acrolein in bulk		Acrolein in cylinder		Liquefied refrigerated CO2 in bulk																	
				Ratio:		0.006		0.008		0.363		0.5		0		0.024		0.02362159		0.02362159		0.015		0.002		0.002		0.013		0		0		0		0		0					
Remaining part:		0.569																																									
Period number:		3		Direction: A																																							
Time ratio for this period		0.292																																									

2) Data that are modifiable as a function of the route, the time period and the travel direction

Route characteristics	Section #	Tunnel? (0=NO) (1=YES)	X (m)	Y (m)	Straight line (m)	User defined length (m)	Urban / Rural?	Rk-DG use?	Total traffic (veh/h)	HGV ratio (adim)	Bus / coaches Ratio (adim)	Light vehicles speed (km/h)	HGV/Bus speed (km/h)	Delay (s) for stopping approaching traffic	Number of lanes	First run: User defined or Default frequency?	Accident frequency (/veh.km)	DG transport correction factor	Density of population (inhab/km²)	Country	Reserved
	0		502619	4795806																	
	1	0	501435	4796705	1487	1487	Urban	Rk	0	0.038	0.01256	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	2	0	501252	4796831	222	222	Urban	Rk	0	0.035	0.01156	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	3	1	500574	4797299	824	824	Urban	Sk	3834	0.035	0.01156	80	70	120	2	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	4	0	500392	4797426	222	222	Urban	Rk	0	0.035	0.01156	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	5	0	499970	4797723	516	515	Urban	Rk	0	0.035	0.01156	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0

1) Data that are constant all along a route, but that can be modified as a function of time period and travel direction																					
Route name		Normal_B NORMAL_B																			
Route description		Normal_B																			
Average number of persons in a car		1.5																			
Average number of persons in a HGV		1																			
Average number of persons in a Bus/Coach		30																			
HDGV traffic (veh/h)		1.68																			
		Scen:	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Proportion of each DG type in the whole for :			DG potentially leading to a large (100MW) fire (except liquids)	Propane 50kg	Flammable liquids in bulk (Motor spirit, diesel oil,...)	Fraction of flammable liqs potentially leading to VCE (excl diesel oil)	Chlorine in bulk	Propane in Bulk	Propane in bulk	Propane in bulk	Ammonia in Bulk	Acrolein in bulk	Acrolein in cylinder	Liquefied refrigerated CO2 in bulk							
		Ratio:	0.006	0.008	0.363	0.5	0	0.024	0.02362159	0.02362159	0.015	0.002	0.002	0.013	0	0	0	0	0		
Remaining part:		0.569																			
Period number:		1																			
		Direction: B																			
Time ratio for this period		0.375																			

2) Data that are modifiable as a function of the route, the time period and the travel direction

Route characteristics	Section #	Tunnel? (0=NO) (1=YES)	X (m)	Y (m)	Straight line (m)	User defined length (m)	Urban / Rural?	Rk-DG use?	Total traffic (veh/h)	HGV ratio (adim)	Bus / coaches Ratio (adim)	Light vehicles speed (km/h)	HGV/Bus speed (km/h)	Delay (s) for stopping approaching traffic	Number of lanes	First run: User defined or Default frequency?	Accident frequency (/veh.km)	DG transport correction factor	Density of population (inhab/km²)	Country	Reserved
	0		502619	4795806																	
	1	0	501435	4796705	1487	1487	Urban	Rk	0	0.038	0.01256	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	2	0	501252	4796831	222	222	Urban	Rk	0	0.035	0.01156	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	3	1	500574	4797299	824	824	Urban	Sk	3001	0.035	0.01156	80	70	120	2	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	4	0	500392	4797426	222	222	Urban	Rk	0	0.035	0.01156	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	5	0	499970	4797723	516	515	Urban	Rk	0	0.035	0.01156	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0

1) Data that are constant all along a route, but that can be modified as a function of time period and travel direction																																											
Route name		Quiet_B_QUIET_B																																									
Route description		Quiet_B																																									
Average number of persons in a car		1.5																																									
Average number of persons in a HGV		1																																									
Average number of persons in a Bus/Coach		30																																									
HDGV traffic (veh/h)		0.23		Scen:		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15		16		17		18		19		20	
Proportion of each DG type in the whole for :				DG potentially leading to a large (100MW) fire (except liquids)		Propane 50kg		Flammable liquids in bulk (Motor spirit, diesel oil,...)		Fraction of flammable liqs potentially leading to VCE (excl diesel oil)		Chlorine in bulk		Propane in Bulk		Propane in bulk		Propane in bulk		Ammonia in Bulk		Acrolein in bulk		Acrolein in cylinder		Liquefied refrigerated CO2 in bulk																	
				Ratio:		0.006		0.008		0.363		0.5		0		0.024		0.02362159		0.02362159		0.015		0.002		0.002		0.013		0		0		0		0		0					
Remaining part:		0.569																																									
Period number:		2		Direction: B																																							
Time ratio for this period		0.333																																									

2) Data that are modifiable as a function of the route, the time period and the travel direction

Route characteristics	Section #	Tunnel? (0=NO) (1=YES)	X (m)	Y (m)	Straight line (m)	User defined length (m)	Urban / Rural?	Rk-DG use?	Total traffic (veh/h)	HGV ratio (adim)	Bus / coaches Ratio (adim)	Light vehicles speed (km/h)	HGV/Bus speed (km/h)	Delay (s) for stopping approaching traffic	Number of lanes	First run: User defined or Default frequency?	Accident frequency (/veh.km)	DG transport correction factor	Density of population (inhab/km²)	Country	Reserved
	0		502619	4795806																	
	1	0	501435	4796705	1487	1487	Urban	Rk	0	0.038	0.01256	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	2	0	501252	4796831	222	222	Urban	Rk	0	0.035	0.01156	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	3	1	500574	4797299	824	824	Urban	Sk	415	0.035	0.01156	80	70	120	2	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	4	0	500392	4797426	222	222	Urban	Rk	0	0.035	0.01156	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	5	0	499970	4797723	516	515	Urban	Rk	0	0.035	0.01156	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0

1) Data that are constant all along a route, but that can be modified as a function of time period and travel direction																																											
Route name		Peak_B_PEAK_B																																									
Route description		Peak_B																																									
Average number of persons in a car		1.5																																									
Average number of persons in a HGV		1																																									
Average number of persons in a Bus/Coach		30																																									
HDGV traffic (veh/h)		2.39		Scen:		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15		16		17		18		19		20	
Proportion of each DG type in the whole for :				DG potentially leading to a large (100MW) fire (except liquids)		Propane 50kg		Flammable liquids in bulk (Motor spirit, diesel oil,...)		Fraction of flammable liqs potentially leading to VCE (excl diesel oil)		Chlorine in bulk		Propane in Bulk		Propane in bulk		Propane in bulk		Ammonia in Bulk		Acrolein in bulk		Acrolein in cylinder		Liquefied refrigerated CO2 in bulk																	
				Ratio:		0.006		0.008		0.363		0.5		0		0.024		0.02362159		0.02362159		0.015		0.002		0.002		0.013		0		0		0		0		0					
Remaining part:		0.569																																									
Period number:		3		Direction: B																																							
Time ratio for this period		0.292																																									

2) Data that are modifiable as a function of the route, the time period and the travel direction

Route characteristics	Section #	Tunnel? (0=NO) (1=YES)	X (m)	Y (m)	Straight line (m)	User defined length (m)	Urban / Rural?	Rk-DG use?	Total traffic (veh/h)	HGV ratio (adim)	Bus / coaches Ratio (adim)	Light vehicles speed (km/h)	HGV/Bus speed (km/h)	Delay (s) for stopping approaching traffic	Number of lanes	First run: User defined or Default frequency?	Accident frequency (/veh.km)	DG transport correction factor	Density of population (inhab/km²)	Country	Reserved
	0		502619	4795806																	
	1	0	501435	4796705	1487	1487	Urban	Rk	0	0.038	0.01256	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	2	0	501252	4796831	222	222	Urban	Rk	0	0.035	0.01156	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	3	1	500574	4797299	824	824	Urban	Sk	4268	0.035	0.01156	80	70	120	2	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	4	0	500392	4797426	222	222	Urban	Rk	0	0.035	0.01156	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	5	0	499970	4797723	516	515	Urban	Rk	0	0.035	0.01156	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0

Tunnel 1 inputs

symbol

units

data

1

cross-section geometry

effective width

W

m

16.9

effective height

H

m

5.15

open cross-sectional area

A

m2

87.035

camber

Cam

%

2

lengthwise geometry

...segments (homogeneous - ventilation, gradient)

total number of segments

Ns

-

4

segment number

-

1

2

3

4

segment lengths

Xs

m

45

238

407

134

total length of tunnel

Xt

m

824

segment gradient

Gs

%

0

...nodes (segment start and end points)

total number of nodes

Nn

-

5

node number

-

1

2

3

4

5

location of node

Xn

m

0

45

283

690

824

ventilation - normal

...segments

segment number

-

1

2

3

4

volume flow rate extracted from tunnel

VsN

m³/s

0

0

0

0

...nodes (segment start and end points)

node number

-

1

2

3

4

5

volume flow rate along tunnel at nodes

VnN

m³/s

47.5

47.5

47.5

47.5

47.5

ventilation - emergency

number of emergency ventilation regimes

nE

-

1

time taken to activate emergency ventilation

tE

mins

2

Warning: This value can differ as a function of period even if the tunnel is the same for all periods

segment number

-

1

2

3

4

emergency ventilation regime if accident within this segment

iE

-

1

1

1

1

...volume flow rate extracted from tunnel

VsE

m³/s

segment number

-

1

2

3

4

emergency ventilation regime

1

0

0

0

0

...volume flow rate along tunnel

VnE

m³/s

node number

-

1

2

3

4

5

emergency ventilation regime

1

240

240

240

240

240

AVAN_T3_3P_T.xlsm - Tunnel1

28/05/2021 - 09:24

--

drainage			
open area of discrete drains or continuous slot (per Xd m)	Ad	m²	0.49
interval between drains, or slot length used to define Ad	Xd	m	40

traffic			
traffic direction (0=bi-directional, 1=A-to-B, -1=B-to-A)	TrDir	-	0
traffic density (0=none, 1=light, 2=normal, 3=peak)	TrDen	-	0.863481104

mitigation measures			
average spacing between emergency exits	Xe	m	125
emergency coms (0=no, 1=bell/siren, 2=PA, 3=PA+CCTV)	Ecom	-	3

tunnel structure			
type of construction (1=drill+blast/tbm, 2=cut+cover)	itype	-	2
ground type (1=bedrock, 2=fragmented, 3=frag/under water)	ground	-	2
internal radius	trad	m	5.27
lining thickness	dlin	m	0.6
road support thickness	droad	m	0.4
mid-wall thickness	dmidw	m	0
overburden depth	dover	m	6.5
depth of water above solid overburden	dwater	m	0
fire protection lining (0=no, 1=yes)	fprot	-	1
temperature rating	fptemp	degC	400
time rating	fptime	mins	90

State of data entries:	Ended
------------------------	-------

calculations								
...sub-segments								
maximum sub-segment length		m	10					
segment number		-	1	2	3	4		
number of sub-segments per segment	Nsub	-	5	24	41	14		
total number of sub-segments		-	84					
actual sub-segment lengths	Xsub	m	9	9.91666667	9.92682927	9.57142857		

Ventilation balance

ventilation - normal								
...segments								
segment number		-	1	2	3	4		
...volume flow rate forced into tunnel		m³/s	0.0	0.0	0.0	0.0		0

Maximum number of segments that can be displayed	15							15
--	----	--	--	--	--	--	--	----

Checks ventilation regimes	0	0	0	0				0
----------------------------	---	---	---	---	--	--	--	---

Emergency ventilation balance

...volume flow rate forced into tunnel		m³/s																	
segment number			1	2	3	4													
emergency ventilation regime		1	0.0	0.0	0.0	0.0													

0.0

Normal ventilation : maximum of absolute values of the 2 flows entering and 2 flows exiting each segment must be >= 0 m3/s

0

ventilation - normal																			
...segments																			
segment number		-	1	2	3	4													
validity volume flow rate forced into tunnel			47.5	47.5	47.5	47.5													

47.5

Maximum number of segments that can be displayed																		
		15																

15

Checks ventilation regimes		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
----------------------------	--	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

1

Emergency ventilation : maximum of absolute values of the 2 flows entering and 2 flows exiting each segment location of an accident must be >= 0 m3/s

Abs (longitudinal volume flow rates) into tunnel		m³/s																	
segment number		-	1	2	3	4													
emergency ventilation regime		1	240.0	240.0	240.0	240.0													

240.0

APÉNDICE 3: INPUTS DGQRAM - ESCENARIO 3: AVAN_T3_1P

When finished to modify inputs related to the current case in every sheets, come back to this one and click below



File Name:	AVAN_T3_1P .xlsm
Possibility to use the Fortan program ?	Yes
Direction A and B described indistinctly ?	No
Number of sections:	5
Country where section 1 is located:	Spain
Number of periods:	3
Scenario 1 (HGV fire 20 MW):	Yes
Scenario 2 (HGV fire 100 MW):	Yes
Scenario 3 (BLEVE of a 50kg LPG cylinder):	Yes
Scenario 4 (Motor spirit pool fire):	Yes
Scenario 5 (VCE of motor spirit):	Yes
Scenario 6 (Chlorine release from a 20 tons tank):	Yes
Scenario 7 (BLEVE of an 18 tons LPG tank):	Yes
Scenario 8 (VCE from an 18 tons LPG tank):	Yes
Scenario 9 (Torch fire from an 18 tons LPG tank):	Yes
Scenario 10 (Ammonia release from an 18 tons tank):	Yes
Scenario 11 (Acrolein release from a 25 tons tank):	Yes
Scenario 12 (Acrolein release from a 100 l cylinder):	Yes
Scenario 13 (BLEVE of a 20 ton liquefied CO2 tank):	Yes
Calculations for fatalities only (1) or for fatalities + injuries (2) ?	1
Calculations for road users only (2), population only (3) or both (1) ?	1
Date of file opening	27/05/2021 10:29:25.6
Date of end of calculations	27/05/2021 10:33:34.2
execution time hh:mm:ss.000	00:04:08.650

1) Data that are constant all along a route, but that can be modified as a function of time period and travel direction																					
Route name		Normal_A NORMAL																			
Route description		Normal_A																			
Average number of persons in a car		1.5																			
Average number of persons in a HGV		1																			
Average number of persons in a Bus/Coach		30																			
HDGV traffic (veh/h)		0																			
		Scen:	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Proportion of each DG type in the whole for :			DG potentially leading to a large (100MW) fire (except liquids)	Propane 50kg	Flammable liquids in bulk (Motor spirit, diesel oil,...)	Fraction of flammable liqs potentially leading to VCE (excl diesel oil)	Chlorine in bulk	Propane in Bulk	Propane in bulk	Propane in bulk	Ammonia in Bulk	Acrolein in bulk	Acrolein in cylinder	Liquefied refrigerated CO2 in bulk							
		Ratio:	0.006	0.008	0.363	0.5	0	0.024	0.02362159	0.02362159	0.015	0.002	0.002	0.013	0	0	0	0	0		
Remaining part:		0.569																			
Period number:		1	Direction: A																		
Time ratio for this period		0																			

2) Data that are modifiable as a function of the route, the time period and the travel direction

Route characteristics	Section #	Tunnel? (0=NO) (1=YES)	X (m)	Y (m)	Straight line (m)	User defined length (m)	Urban / Rural?	Rk-DG use?	Total traffic (veh/h)	HGV ratio (adim)	Bus / coaches Ratio (adim)	Light vehicles speed (km/h)	HGV/Bus speed (km/h)	Delay (s) for stopping approaching traffic	Number of lanes	First run: User defined or Default frequency?	Accident frequency (/veh.km)	DG transport correction factor	Density of population (inhab/km²)	Country	Reserved
	0		502619	4795806																	
	1	0	501435	4796705	1487	1487	Urban	Rk	0	0.038	0.01256	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	2	0	501252	4796831	222	222	Urban	Rk	0	0.035	0.01156	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	3	1	500574	4797299	824	824	Urban	Sk	0	0.035	0.01156	80	70	120	2	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	4	0	500392	4797426	222	222	Urban	Rk	0	0.035	0.01156	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	5	0	499970	4797723	516	515	Urban	Rk	0	0.035	0.01156	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0

1) Data that are constant all along a route, but that can be modified as a function of time period and travel direction																					
Route name		Quiet_A_QUIET																			
Route description		Quiet_A																			
Average number of persons in a car		1.5																			
Average number of persons in a HGV		1																			
Average number of persons in a Bus/Coach		30																			
HDGV traffic (veh/h)		0																			
		Scen:	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Proportion of each DG type in the whole for :			DG potentially leading to a large (100MW) fire (except liquids)	Propane 50kg	Flammable liquids in bulk (Motor spirit, diesel oil,...)	Fraction of flammable liqs potentially leading to VCE (excl diesel oil)	Chlorine in bulk	Propane in Bulk	Propane in bulk	Propane in bulk	Ammonia in Bulk	Acrolein in bulk	Acrolein in cylinder	Liquefied refrigerated CO2 in bulk							
		Ratio:	0.006	0.008	0.363	0.5	0	0.024	0.02362159	0.02362159	0.015	0.002	0.002	0.013	0	0	0	0	0		
Remaining part:		0.569																			
Period number:		2																			
		Direction: A																			
Time ratio for this period		0																			

2) Data that are modifiable as a function of the route, the time period and the travel direction

Route characteristics	Section #	Tunnel? (0=NO) (1=YES)	X (m)	Y (m)	Straight line (m)	User defined length (m)	Urban / Rural?	Rk-DG use?	Total traffic (veh/h)	HGV ratio (adim)	Bus / coaches Ratio (adim)	Light vehicles speed (km/h)	HGV/Bus speed (km/h)	Delay (s) for stopping approaching traffic	Number of lanes	First run: User defined or Default frequency?	Accident frequency (/veh.km)	DG transport correction factor	Density of population (inhab/km²)	Country	Reserved
	0		502619	4795806																	
	1	0	501435	4796705	1487	1487	Urban	Rk	0	0.038	0.01256	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	2	0	501252	4796831	222	222	Urban	Rk	0	0.035	0.01156	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	3	1	500574	4797299	824	824	Urban	Sk	0	0.035	0.01156	80	70	120	2	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	4	0	500392	4797426	222	222	Urban	Rk	0	0.035	0.01156	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	5	0	499970	4797723	516	515	Urban	Rk	0	0.035	0.01156	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0

1) Data that are constant all along a route, but that can be modified as a function of time period and travel direction																																											
Route name		Peak_A_PeAK																																									
Route description		Peak_A																																									
Average number of persons in a car		1.5																																									
Average number of persons in a HGV		1																																									
Average number of persons in a Bus/Coach		30																																									
HDGV traffic (veh/h)		2.31		Scen:		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15		16		17		18		19		20	
Proportion of each DG type in the whole for :				DG potentially leading to a large (100MW) fire (except liquids)		Propane 50kg		Flammable liquids in bulk (Motor spirit, diesel oil,...)		Fraction of flammable liqs potentially leading to VCE (excl diesel oil)		Chlorine in bulk		Propane in Bulk		Propane in bulk		Propane in bulk		Ammonia in Bulk		Acrolein in bulk		Acrolein in cylinder		Liquefied refrigerated CO2 in bulk																	
				Ratio:		0.006		0.008		0.363		0.5		0		0.024		0.02362159		0.02362159		0.015		0.002		0.002		0.013		0		0		0		0		0					
Remaining part:		0.569																																									
Period number:		3		Direction: A																																							
Time ratio for this period		1																																									

2) Data that are modifiable as a function of the route, the time period and the travel direction

Route characteristics	Section #	Tunnel? (0=NO) (1=YES)	X (m)	Y (m)	Straight line (m)	User defined length (m)	Urban / Rural?	Rk-DG use?	Total traffic (veh/h)	HGV ratio (adim)	Bus / coaches Ratio (adim)	Light vehicles speed (km/h)	HGV/Bus speed (km/h)	Delay (s) for stopping approaching traffic	Number of lanes	First run: User defined or Default frequency?	Accident frequency (/veh.km)	DG transport correction factor	Density of population (inhab/km²)	Country	Reserved
	0		502619	4795806																	
	1	0	501435	4796705	1487	1487	Urban	Rk	5008	0.038	0.01256	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	2	0	501252	4796831	222	222	Urban	Rk	4134	0.035	0.01156	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	3	1	500574	4797299	824	824	Urban	Sk	4134	0.035	0.01156	80	70	120	2	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	4	0	500392	4797426	222	222	Urban	Rk	4134	0.035	0.01156	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	5	0	499970	4797723	516	515	Urban	Rk	4134	0.035	0.01156	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0

1) Data that are constant all along a route, but that can be modified as a function of time period and travel direction																					
Route name		Normal_B NORMAL_B																			
Route description		Normal_B																			
Average number of persons in a car		1.5																			
Average number of persons in a HGV		1																			
Average number of persons in a Bus/Coach		30																			
HDGV traffic (veh/h)		0																			
		Scen:	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Proportion of each DG type in the whole for :			DG potentially leading to a large (100MW) fire (except liquids)	Propane 50kg	Flammable liquids in bulk (Motor spirit, diesel oil,...)	Fraction of flammable liqs potentially leading to VCE (excl diesel oil)	Chlorine in bulk	Propane in Bulk	Propane in bulk	Propane in bulk	Ammonia in Bulk	Acrolein in bulk	Acrolein in cylinder	Liquefied refrigerated CO2 in bulk							
		Ratio:	0.006	0.008	0.363	0.5	0	0.024	0.02362159	0.02362159	0.015	0.002	0.002	0.013	0	0	0	0	0		
Remaining part:		0.569																			
Period number:		1	Direction: B																		
Time ratio for this period		0																			

2) Data that are modifiable as a function of the route, the time period and the travel direction

Route characteristics	Section #	Tunnel? (0=NO) (1=YES)	X (m)	Y (m)	Straight line (m)	User defined length (m)	Urban / Rural?	Rk-DG use?	Total traffic (veh/h)	HGV ratio (adim)	Bus / coaches Ratio (adim)	Light vehicles speed (km/h)	HGV/Bus speed (km/h)	Delay (s) for stopping approaching traffic	Number of lanes	First run: User defined or Default frequency?	Accident frequency (/veh.km)	DG transport correction factor	Density of population (inhab/km²)	Country	Reserved
	0		502619	4795806																	
	1	0	501435	4796705	1487	1487	Urban	Rk	0	0.038	0.01256	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	2	0	501252	4796831	222	222	Urban	Rk	0	0.035	0.01156	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	3	1	500574	4797299	824	824	Urban	Sk	0	0.035	0.01156	80	70	120	2	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	4	0	500392	4797426	222	222	Urban	Rk	0	0.035	0.01156	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	5	0	499970	4797723	516	515	Urban	Rk	0	0.035	0.01156	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0

1) Data that are constant all along a route, but that can be modified as a function of time period and travel direction																				
Route name		Quiet_B_QUIET_B																		
Route description		Quiet_B																		
Average number of persons in a car		1.5																		
Average number of persons in a HGV		1																		
Average number of persons in a Bus/Coach		30																		
HDGV traffic (veh/h)		0																		
		Scen:																		
Proportion of each DG type in the whole for :		Consider fires for Non-DG HGV? Yes																		
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
		DG potentially leading to a large (100MW) fire (except liquids)	Propane 50kg	Flammable liquids in bulk (Motor spirit, diesel oil,...)	Fraction of flammable liqs potentially leading to VCE (excl diesel oil)	Chlorine in bulk	Propane in Bulk	Propane in bulk	Propane in bulk	Ammonia in Bulk	Acrolein in bulk	Acrolein in cylinder	Liquefied refrigerated CO2 in bulk							
Ratio:		0.006	0.008	0.363	0.5	0	0.024	0.02362159	0.02362159	0.015	0.002	0.002	0.013	0	0	0	0	0		
Remaining part:		0.569																		
Period number:		2																		
		Direction: B																		
Time ratio for this period		0																		

2) Data that are modifiable as a function of the route, the time period and the travel direction

Route characteristics	Section #	Tunnel? (0=NO) (1=YES)	X (m)	Y (m)	Straight line (m)	User defined length (m)	Urban / Rural?	Rk-DG use?	Total traffic (veh/h)	HGV ratio (adim)	Bus / coaches Ratio (adim)	Light vehicles speed (km/h)	HGV/Bus speed (km/h)	Delay (s) for stopping approaching traffic	Number of lanes	First run: User defined or Default frequency?	Accident frequency (/veh.km)	DG transport correction factor	Density of population (inhab/km²)	Country	Reserved
	0		502619	4795806																	
	1	0	501435	4796705	1487	1487	Urban	Rk	0	0.038	0.01256	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	2	0	501252	4796831	222	222	Urban	Rk	0	0.035	0.01156	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	3	1	500574	4797299	824	824	Urban	Sk	0	0.035	0.01156	80	70	120	2	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	4	0	500392	4797426	222	222	Urban	Rk	0	0.035	0.01156	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	5	0	499970	4797723	516	515	Urban	Rk	0	0.035	0.01156	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0

1) Data that are constant all along a route, but that can be modified as a function of time period and travel direction																																											
Route name		Peak_B_PEAK_B																																									
Route description		Peak_B																																									
Average number of persons in a car		1.5																																									
Average number of persons in a HGV		1																																									
Average number of persons in a Bus/Coach		30																																									
HDGV traffic (veh/h)		2.89		Scen:		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15		16		17		18		19		20	
Proportion of each DG type in the whole for :				DG potentially leading to a large (100MW) fire (except liquids)		Propane 50kg		Flammable liquids in bulk (Motor spirit, diesel oil,...)		Fraction of flammable liqs potentially leading to VCE (excl diesel oil)		Chlorine in bulk		Propane in Bulk		Propane in bulk		Propane in bulk		Ammonia in Bulk		Acrolein in bulk		Acrolein in cylinder		Liquefied refrigerated CO2 in bulk																	
				Ratio:		0.006		0.008		0.363		0.5		0		0.024		0.02362159		0.02362159		0.015		0.002		0.002		0.013		0		0		0		0		0					
Remaining part:		0.569																																									
Period number:		3		Direction: B																																							
Time ratio for this period		1																																									

2) Data that are modifiable as a function of the route, the time period and the travel direction

Route characteristics	Section #	Tunnel? (0=NO) (1=YES)	X (m)	Y (m)	Straight line (m)	User defined length (m)	Urban / Rural?	Rk-DG use?	Total traffic (veh/h)	HGV ratio (adim)	Bus / coaches Ratio (adim)	Light vehicles speed (km/h)	HGV/Bus speed (km/h)	Delay (s) for stopping approaching traffic	Number of lanes	First run: User defined or Default frequency?	Accident frequency (/veh.km)	DG transport correction factor	Density of population (inhab/km²)	Country	Reserved
	0		502619	4795806																	
	1	0	501435	4796705	1487	1487	Urban	Rk	6258	0.038	0.01256	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	2	0	501252	4796831	222	222	Urban	Rk	5166	0.035	0.01156	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	3	1	500574	4797299	824	824	Urban	Sk	5166	0.035	0.01156	80	70	120	2	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	4	0	500392	4797426	222	222	Urban	Rk	5166	0.035	0.01156	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	5	0	499970	4797723	516	515	Urban	Rk	5166	0.035	0.01156	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0

Tunnel 1 inputs

symbol

units

data

1

cross-section geometry

effective width

W

m

16.9

effective height

H

m

5.15

open cross-sectional area

A

m2

87.035

camber

Cam

%

2

lengthwise geometry

...segments (homogeneous - ventilation, gradient)

total number of segments

Ns

-

4

segment number

-

1

2

3

4

segment lengths

Xs

m

45

238

407

134

total length of tunnel

Xt

m

824

segment gradient

Gs

%

0

...nodes (segment start and end points)

total number of nodes

Nn

-

5

node number

-

1

2

3

4

5

location of node

Xn

m

0

45

283

690

824

ventilation - normal

...segments

segment number

-

1

2

3

4

volume flow rate extracted from tunnel

VsN

m³/s

0

0

0

0

...nodes (segment start and end points)

node number

-

1

2

3

4

5

volume flow rate along tunnel at nodes

VnN

m³/s

47.5

47.5

47.5

47.5

47.5

ventilation - emergency

number of emergency ventilation regimes

nE

-

1

time taken to activate emergency ventilation

tE

mins

2

Warning: This value can differ as a function of period even if the tunnel is the same for all periods

segment number

-

1

2

3

4

emergency ventilation regime if accident within this segment

iE

-

1

1

1

1

...volume flow rate extracted from tunnel

VsE

m³/s

segment number

-

1

2

3

4

emergency ventilation regime

1

0

0

0

0

...volume flow rate along tunnel

VnE

m³/s

node number

-

1

2

3

4

5

emergency ventilation regime

1

240

240

240

240

240

--

drainage			
open area of discrete drains or continuous slot (per Xd m)	Ad	m²	0.49
interval between drains, or slot length used to define Ad	Xd	m	40

traffic			
traffic direction (0=bi-directional, 1=A-to-B, - 1=B-to-A)	TrDir	-	0
traffic density (0=none, 1=light, 2=normal, 3=peak)	TrDen	-	0.863481104

mitigation measures			
average spacing between emergency exits	Xe	m	125
emergency coms (0=no, 1=bell/siren, 2=PA, 3=PA+CCTV)	Ecom	-	3

tunnel structure			
type of construction (1=drill+blast/tbm, 2=cut+cover)	itype	-	2
ground type (1=bedrock, 2=fragmented, 3=frag/under water)	ground	-	2
internal radius	trad	m	5.27
lining thickness	dlin	m	0.6
road support thickness	droad	m	0.4
mid-wall thickness	dmidw	m	0
overburden depth	dover	m	6.5
depth of water above solid overburden	dwater	m	0
fire protection lining (0=no, 1=yes)	fprot	-	1
temperature rating	fptemp	degC	400
time rating	fptime	mins	90

State of data entries:	Ended
------------------------	-------

calculations							
...sub-segments							
maximum sub-segment length		m	10				
segment number		-	1	2	3	4	
number of sub-segments per segment	Nsub	-	5	24	41	14	
total number of sub-segments		-	84				
actual sub-segment lengths	Xsub	m	9	9.91666667	9.92682927	9.57142857	

Ventilation balance

ventilation - normal							
...segments							
segment number		-	1	2	3	4	
...volume flow rate forced into tunnel		m³/s	0.0	0.0	0.0	0.0	0

Maximum number of segments that can be displayed	15						15
--	----	--	--	--	--	--	----

Checks ventilation regimes	0	0	0	0			0
----------------------------	---	---	---	---	--	--	---

Emergency ventilation balance

...volume flow rate forced into tunnel		m³/s																	
segment number			1	2	3	4													
emergency ventilation regime		1	0.0	0.0	0.0	0.0													0.0

Normal ventilation : maximum of absolute values of the 2 flows entering and 2 flows exiting each segment must be >= 0 m3/s

ventilation - normal																			
...segments																			
segment number		-	1	2	3	4													
validity volume flow rate forced into tunnel			47.5	47.5	47.5	47.5													47.5

Maximum number of segments that can be displayed																			
		15																	15

Checks ventilation regimes		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
----------------------------	--	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Emergency ventilation : maximum of absolute values of the 2 flows entering and 2 flows exiting each segment location of an accident must be >= 0 m3/s

Abs (longitudinal volume flow rates) into tunnel		m³/s																	
segment number		-	1	2	3	4													
emergency ventilation regime		1	240.0	240.0	240.0	240.0													240.0

APÉNDICE 4: INPUTS DGGRAM - ESCENARIO 4: AVAN_T3_1P_T

When finished to modify inputs related to the current case in every sheets, come back to this one and click below



File Name:	AVAN_T3_1P_T .xlsm
Possibility to use the Fortan program ?	Yes
Direction A and B described indistinctly ?	No
Number of sections:	5
Country where section 1 is located:	Spain
Number of periods:	3
Scenario 1 (HGV fire 20 MW):	Yes
Scenario 2 (HGV fire 100 MW):	Yes
Scenario 3 (BLEVE of a 50kg LPG cylinder):	Yes
Scenario 4 (Motor spirit pool fire):	Yes
Scenario 5 (VCE of motor spirit):	Yes
Scenario 6 (Chlorine release from a 20 tons tank):	Yes
Scenario 7 (BLEVE of an 18 tons LPG tank):	Yes
Scenario 8 (VCE from an 18 tons LPG tank):	Yes
Scenario 9 (Torch fire from an 18 tons LPG tank):	Yes
Scenario 10 (Ammonia release from an 18 tons tank):	Yes
Scenario 11 (Acrolein release from a 25 tons tank):	Yes
Scenario 12 (Acrolein release from a 100 l cylinder):	Yes
Scenario 13 (BLEVE of a 20 ton liquefied CO2 tank):	Yes
Calculations for fatalities only (1) or for fatalities + injuries (2) ?	1
Calculations for road users only (2), population only (3) or both (1) ?	1
Date of file opening	27/05/2021 10:38:21.8
Date of end of calculations	27/05/2021 10:42:59.5
execution time hh:mm:ss.000	00:04:37.630

1) Data that are constant all along a route, but that can be modified as a function of time period and travel direction																					
Route name		Normal_A NORMAL																			
Route description		Normal_A																			
Average number of persons in a car		1.5																			
Average number of persons in a HGV		1																			
Average number of persons in a Bus/Coach		30																			
HDGV traffic (veh/h)		0																			
		Scen:	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Proportion of each DG type in the whole for :			DG potentially leading to a large (100MW) fire (except liquids)	Propane 50kg	Flammable liquids in bulk (Motor spirit, diesel oil,...)	Fraction of flammable liqs potentially leading to VCE (excl diesel oil)	Chlorine in bulk	Propane in Bulk	Propane in bulk	Propane in bulk	Ammonia in Bulk	Acrolein in bulk	Acrolein in cylinder	Liquefied refrigerated CO2 in bulk							
		Ratio:	0.006	0.008	0.363	0.5	0	0.024	0.02362159	0.02362159	0.015	0.002	0.002	0.013	0	0	0	0	0		
Remaining part:		0.569																			
Period number:		1	Direction: A																		
Time ratio for this period		0																			

2) Data that are modifiable as a function of the route, the time period and the travel direction

Route characteristics	Section #	Tunnel? (0=NO) (1=YES)	X (m)	Y (m)	Straight line (m)	User defined length (m)	Urban / Rural?	Rk-DG use?	Total traffic (veh/h)	HGV ratio (adim)	Bus / coaches Ratio (adim)	Light vehicles speed (km/h)	HGV/Bus speed (km/h)	Delay (s) for stopping approaching traffic	Number of lanes	First run: User defined or Default frequency?	Accident frequency (/veh.km)	DG transport correction factor	Density of population (inhab/km²)	Country	Reserved
	0		502619	4795806																	
	1	0	501435	4796705	1487	1487	Urban	Rk	0	0.038	0.01256	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	2	0	501252	4796831	222	222	Urban	Rk	0	0.035	0.01156	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	3	1	500574	4797299	824	824	Urban	Sk	0	0.035	0.01156	80	70	120	2	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	4	0	500392	4797426	222	222	Urban	Rk	0	0.035	0.01156	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	5	0	499970	4797723	516	515	Urban	Rk	0	0.035	0.01156	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0

1) Data that are constant all along a route, but that can be modified as a function of time period and travel direction																					
Route name		Quiet_A_QUIET																			
Route description		Quiet_A																			
Average number of persons in a car		1.5																			
Average number of persons in a HGV		1																			
Average number of persons in a Bus/Coach		30																			
HDGV traffic (veh/h)		0																			
		Scen:	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Proportion of each DG type in the whole for :		DG potentially leading to a large (100MW) fire (except liquids)	Propane 50kg	Flammable liquids in bulk (Motor spirit, diesel oil,...)	Fraction of flammable liqs potentially leading to VCE (excl diesel oil)	Chlorine in bulk	Propane in Bulk	Propane in bulk	Propane in bulk	Ammonia in Bulk	Acrolein in bulk	Acrolein in cylinder	Liquefied refrigerated CO2 in bulk								
		Ratio:	0.006	0.008	0.363	0.5	0	0.024	0.02362159	0.02362159	0.015	0.002	0.002	0.013	0	0	0	0	0		
Remaining part:		0.569																			
Period number:		2																			
		Direction: A																			
Time ratio for this period		0																			

2) Data that are modifiable as a function of the route, the time period and the travel direction

Route characteristics	Section #	Tunnel? (0=NO) (1=YES)	X (m)	Y (m)	Straight line (m)	User defined length (m)	Urban / Rural?	Rk-DG use?	Total traffic (veh/h)	HGV ratio (adim)	Bus / coaches Ratio (adim)	Light vehicles speed (km/h)	HGV/Bus speed (km/h)	Delay (s) for stopping approaching traffic	Number of lanes	First run: User defined or Default frequency?	Accident frequency (/veh.km)	DG transport correction factor	Density of population (inhab/km²)	Country	Reserved
	0		502619	4795806																	
	1	0	501435	4796705	1487	1487	Urban	Rk	0	0.038	0.01256	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	2	0	501252	4796831	222	222	Urban	Rk	0	0.035	0.01156	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	3	1	500574	4797299	824	824	Urban	Sk	0	0.035	0.01156	80	70	120	2	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	4	0	500392	4797426	222	222	Urban	Rk	0	0.035	0.01156	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	5	0	499970	4797723	516	515	Urban	Rk	0	0.035	0.01156	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0

1) Data that are constant all along a route, but that can be modified as a function of time period and travel direction																																											
Route name		Peak_A_PeAK																																									
Route description		Peak_A																																									
Average number of persons in a car		1.5																																									
Average number of persons in a HGV		1																																									
Average number of persons in a Bus/Coach		30																																									
HDGV traffic (veh/h)		2.31		Scen:		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15		16		17		18		19		20	
Proportion of each DG type in the whole for :				DG potentially leading to a large (100MW) fire (except liquids)		Propane 50kg		Flammable liquids in bulk (Motor spirit, diesel oil,...)		Fraction of flammable liqs potentially leading to VCE (excl diesel oil)		Chlorine in bulk		Propane in Bulk		Propane in bulk		Propane in bulk		Ammonia in Bulk		Acrolein in bulk		Acrolein in cylinder		Liquefied refrigerated CO2 in bulk																	
				Ratio:		0.006		0.008		0.363		0.5		0		0.024		0.02362159		0.02362159		0.015		0.002		0.002		0.013		0		0		0		0		0					
Remaining part:		0.569																																									
Period number:		3		Direction: A																																							
Time ratio for this period		1																																									

2) Data that are modifiable as a function of the route, the time period and the travel direction

Route characteristics	Section #	Tunnel? (0=NO) (1=YES)	X (m)	Y (m)	Straight line (m)	User defined length (m)	Urban / Rural?	Rk-DG use?	Total traffic (veh/h)	HGV ratio (adim)	Bus / coaches Ratio (adim)	Light vehicles speed (km/h)	HGV/Bus speed (km/h)	Delay (s) for stopping approaching traffic	Number of lanes	First run: User defined or Default frequency?	Accident frequency (/veh.km)	DG transport correction factor	Density of population (inhab/km²)	Country	Reserved
	0		502619	4795806																	
	1	0	501435	4796705	1487	1487	Urban	Rk	0	0.038	0.01256	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	2	0	501252	4796831	222	222	Urban	Rk	0	0.035	0.01156	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	3	1	500574	4797299	824	824	Urban	Sk	4134	0.035	0.01156	80	70	120	2	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	4	0	500392	4797426	222	222	Urban	Rk	0	0.035	0.01156	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	5	0	499970	4797723	516	515	Urban	Rk	0	0.035	0.01156	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0

1) Data that are constant all along a route, but that can be modified as a function of time period and travel direction																					
Route name		Normal_B NORMAL_B																			
Route description		Normal_B																			
Average number of persons in a car		1.5																			
Average number of persons in a HGV		1																			
Average number of persons in a Bus/Coach		30																			
HDGV traffic (veh/h)		0																			
		Scen:	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Proportion of each DG type in the whole for :			DG potentially leading to a large (100MW) fire (except liquids)	Propane 50kg	Flammable liquids in bulk (Motor spirit, diesel oil,...)	Fraction of flammable liqs potentially leading to VCE (excl diesel oil)	Chlorine in bulk	Propane in Bulk	Propane in bulk	Propane in bulk	Ammonia in Bulk	Acrolein in bulk	Acrolein in cylinder	Liquefied refrigerated CO2 in bulk							
		Ratio:	0.006	0.008	0.363	0.5	0	0.024	0.02362159	0.02362159	0.015	0.002	0.002	0.013	0	0	0	0	0		
Remaining part:		0.569																			
Period number:		1																			
		Direction: B																			
Time ratio for this period		0																			

2) Data that are modifiable as a function of the route, the time period and the travel direction

Route characteristics	Section #	Tunnel? (0=NO) (1=YES)	X (m)	Y (m)	Straight line (m)	User defined length (m)	Urban / Rural?	Rk-DG use?	Total traffic (veh/h)	HGV ratio (adim)	Bus / coaches Ratio (adim)	Light vehicles speed (km/h)	HGV/Bus speed (km/h)	Delay (s) for stopping approaching traffic	Number of lanes	First run: User defined or Default frequency?	Accident frequency (/veh.km)	DG transport correction factor	Density of population (inhab/km²)	Country	Reserved
	0		502619	4795806																	
	1	0	501435	4796705	1487	1487	Urban	Rk	0	0.038	0.01256	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	2	0	501252	4796831	222	222	Urban	Rk	0	0.035	0.01156	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	3	1	500574	4797299	824	824	Urban	Sk	0	0.035	0.01156	80	70	120	2	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	4	0	500392	4797426	222	222	Urban	Rk	0	0.035	0.01156	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	5	0	499970	4797723	516	515	Urban	Rk	0	0.035	0.01156	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0

1) Data that are constant all along a route, but that can be modified as a function of time period and travel direction																					
Route name		Quiet_B_QUIET_B																			
Route description		Quiet_B																			
Average number of persons in a car		1.5																			
Average number of persons in a HGV		1																			
Average number of persons in a Bus/Coach		30																			
HDGV traffic (veh/h)		0																			
		Scen:	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Proportion of each DG type in the whole for :			DG potentially leading to a large (100MW) fire (except liquids)	Propane 50kg	Flammable liquids in bulk (Motor spirit, diesel oil,...)	Fraction of flammable liqs potentially leading to VCE (excl diesel oil)	Chlorine in bulk	Propane in Bulk	Propane in bulk	Propane in bulk	Ammonia in Bulk	Acrolein in bulk	Acrolein in cylinder	Liquefied refrigerated CO2 in bulk							
		Ratio:	0.006	0.008	0.363	0.5	0	0.024	0.02362159	0.02362159	0.015	0.002	0.002	0.013	0	0	0	0	0		
Remaining part:		0.569																			
Period number:		2																			
		Direction: B																			
Time ratio for this period		0																			

2) Data that are modifiable as a function of the route, the time period and the travel direction

Route characteristics	Section #	Tunnel? (0=NO) (1=YES)	X (m)	Y (m)	Straight line (m)	User defined length (m)	Urban / Rural?	Rk-DG use?	Total traffic (veh/h)	HGV ratio (adim)	Bus / coaches Ratio (adim)	Light vehicles speed (km/h)	HGV/Bus speed (km/h)	Delay (s) for stopping approaching traffic	Number of lanes	First run: User defined or Default frequency?	Accident frequency (/veh.km)	DG transport correction factor	Density of population (inhab/km²)	Country	Reserved
	0		502619	4795806																	
	1	0	501435	4796705	1487	1487	Urban	Rk	0	0.038	0.01256	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	2	0	501252	4796831	222	222	Urban	Rk	0	0.035	0.01156	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	3	1	500574	4797299	824	824	Urban	Sk	0	0.035	0.01156	80	70	120	2	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	4	0	500392	4797426	222	222	Urban	Rk	0	0.035	0.01156	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	5	0	499970	4797723	516	515	Urban	Rk	0	0.035	0.01156	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0

1) Data that are constant all along a route, but that can be modified as a function of time period and travel direction																					
Route name		Peak_B_PEAK_B																			
Route description		Peak_B																			
Average number of persons in a car		1.5																			
Average number of persons in a HGV		1																			
Average number of persons in a Bus/Coach		30																			
HDGV traffic (veh/h)		2.89																			
		Scen:	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Proportion of each DG type in the whole for :			DG potentially leading to a large (100MW) fire (except liquids)	Propane 50kg	Flammable liquids in bulk (Motor spirit, diesel oil,...)	Fraction of flammable liqs potentially leading to VCE (excl diesel oil)	Chlorine in bulk	Propane in Bulk	Propane in bulk	Propane in bulk	Ammonia in Bulk	Acrolein in bulk	Acrolein in cylinder	Liquefied refrigerated CO2 in bulk							
		Ratio:	0.006	0.008	0.363	0.5	0	0.024	0.02362159	0.02362159	0.015	0.002	0.002	0.013	0	0	0	0	0		
Remaining part:		0.569																			
Period number:		3																			
		Direction: B																			
Time ratio for this period		1																			

2) Data that are modifiable as a function of the route, the time period and the travel direction

Route characteristics	Section #	Tunnel? (0=NO) (1=YES)	X (m)	Y (m)	Straight line (m)	User defined length (m)	Urban / Rural?	Rk-DG use?	Total traffic (veh/h)	HGV ratio (adim)	Bus / coaches Ratio (adim)	Light vehicles speed (km/h)	HGV/Bus speed (km/h)	Delay (s) for stopping approaching traffic	Number of lanes	First run: User defined or Default frequency?	Accident frequency (/veh.km)	DG transport correction factor	Density of population (inhab/km²)	Country	Reserved
	0		502619	4795806																	
	1	0	501435	4796705	1487	1487	Urban	Rk	0	0.038	0.01256	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	2	0	501252	4796831	222	222	Urban	Rk	0	0.035	0.01156	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	3	1	500574	4797299	824	824	Urban	Sk	5166	0.035	0.01156	80	70	120	2	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	4	0	500392	4797426	222	222	Urban	Rk	0	0.035	0.01156	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0
	5	0	499970	4797723	516	515	Urban	Rk	0	0.035	0.01156	80	70	9000	4	2	8.24E-08	1.00E+00	1.00E-17	Spain	0

Tunnel 1 inputs

symbol

units

data

1

cross-section geometry

effective width

W

m

16.9

effective height

H

m

5.15

open cross-sectional area

A

m2

87.035

camber

Cam

%

2

lengthwise geometry

...segments (homogeneous - ventilation, gradient)

total number of segments

Ns

-

4

segment number

-

1

2

3

4

segment lengths

Xs

m

45

238

407

134

total length of tunnel

Xt

m

824

segment gradient

Gs

%

0

...nodes (segment start and end points)

total number of nodes

Nn

-

5

node number

-

1

2

3

4

5

location of node

Xn

m

0

45

283

690

824

ventilation - normal

...segments

segment number

-

1

2

3

4

volume flow rate extracted from tunnel

VsN

m³/s

0

0

0

0

...nodes (segment start and end points)

node number

-

1

2

3

4

5

volume flow rate along tunnel at nodes

VnN

m³/s

47.5

47.5

47.5

47.5

47.5

ventilation - emergency

number of emergency ventilation regimes

nE

-

1

time taken to activate emergency ventilation

tE

mins

2

Warning: This value can differ as a function of period even if the tunnel is the same for all periods

segment number

-

1

2

3

4

emergency ventilation regime if accident within this segment

iE

-

1

1

1

1

...volume flow rate extracted from tunnel

VsE

m³/s

segment number

-

1

2

3

4

emergency ventilation regime

1

0

0

0

0

...volume flow rate along tunnel

VnE

m³/s

node number

-

1

2

3

4

5

emergency ventilation regime

1

240

240

240

240

240

--

drainage			
open area of discrete drains or continuous slot (per Xd m)	Ad	m²	0.49
interval between drains, or slot length used to define Ad	Xd	m	40

traffic			
traffic direction (0=bi-directional, 1=A-to-B, - 1=B-to-A)	TrDir	-	0
traffic density (0=none, 1=light, 2=normal, 3=peak)	TrDen	-	0.863481104

mitigation measures			
average spacing between emergency exits	Xe	m	125
emergency coms (0=no, 1=bell/siren, 2=PA, 3=PA+CCTV)	Ecom	-	3

tunnel structure			
type of construction (1=drill+blast/tbm, 2=cut+cover)	itype	-	2
ground type (1=bedrock, 2=fragmented, 3=frag/under water)	ground	-	2
internal radius	trad	m	5.27
lining thickness	dlin	m	0.6
road support thickness	droad	m	0.4
mid-wall thickness	dmidw	m	0
overburden depth	dover	m	6.5
depth of water above solid overburden	dwater	m	0
fire protection lining (0=no, 1=yes)	fprot	-	1
temperature rating	fptemp	degC	400
time rating	fptime	mins	90

State of data entries:	Ended
------------------------	-------

calculations								
...sub-segments								
maximum sub-segment length		m	10					
segment number		-	1	2	3	4		
number of sub-segments per segment	Nsub	-	5	24	41	14		
total number of sub-segments		-	84					
actual sub-segment lengths	Xsub	m	9	9.91666667	9.92682927	9.57142857		

Ventilation balance

ventilation - normal								
...segments								
segment number		-	1	2	3	4		
...volume flow rate forced into tunnel		m³/s	0.0	0.0	0.0	0.0		0
Maximum number of segments that can be displayed								
			15					15
Checks ventilation regimes								
			0	0	0	0		0

Emergency ventilation balance

...volume flow rate forced into tunnel		m³/s																	
segment number																			
emergency ventilation regime		1	2	3	4														
		0.0	0.0	0.0	0.0														
																0.0			

Normal ventilation : maximum of absolute values of the 2 flows entering and 2 flows exiting each segment must be >= 0 m3/s

ventilation - normal														0				
...segments																		
segment number		-	1	2	3	4												
validity volume flow rate forced into tunnel		47.5	47.5	47.5	47.5											47.5		
Maximum number of segments that can be displayed 15														15				
Checks ventilation regimes		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Emergency ventilation : maximum of absolute values of the 2 flows entering and 2 flows exiting each segment location of an accident must be >= 0 m3/s

Abs (longitudinal volume flow rates) into tunnel		m³/s																	
segment number		-	1	2	3	4													
emergency ventilation regime		1	240.0	240.0	240.0	240.0													
																240.0			