

ANEJO Nº 18. OBRAS COMPLEMENTARIAS

ÍNDICE

18. ANEJO Nº 18. OBRAS COMPLEMENTARIAS.....	3	18.9. VIALIDAD INVERNAL. ÁREAS DE ESTACIONAMIENTO DE EMERGENCIA	38
18.1. INTRODUCCIÓN.....	3	18.9.1. ESTACIONAMIENTO DE EMERGENCIA SITUADO EN PK 553+800	39
18.2. CERRAMIENTO	3	18.9.2. ESTACIONAMIENTO DE EMERGENCIA SITUADO EN PK 575+000	39
18.2.1. CERRAMIENTO VIARIO.....	3	18.10. LECHO DE FRENADO	40
18.2.2. REPOSICIÓN DEL CERRAMIENTO EXISTENTE EN FINCAS DE PARTICULARES.....	4	18.11. ZONAS DE INSTALACIONES AUXILIARES	43
18.2.3. PUERTAS DE ACCESO	4	18.12. DEMOLICIONES.....	43
18.2.4. ESCAPES DE FAUNA	4	18.12.1. DEMOLICIÓN DE PAVIMENTOS.....	44
18.3. HITOS DE DELIMITACIÓN DE LA PROPIEDAD.....	4	18.12.2. DEMOLICIÓN DE EDIFICACIONES EXISTENTES	44
18.4. INFRAESTRUCTURA PARA EL SISTEMA SOS.....	4	18.12.3. DEMOLICIÓN DE ESTRUCTURAS EXISTENTES	44
18.5. INSTALACIONES.....	4	18.13. TRASLADO DE PARADAS DE VEHÍCULOS DE TRANSPORTE COLECTIVO.....	45
18.6. INSTALACIONES EN TÚNEL	4	18.14. ILUMINACIÓN	46
18.6.1. OBJETO	4	18.14.1. OBJETO	46
18.6.2. INSTALACIONES DE LOS TÚNELES.....	5	18.14.2. NORMAS Y RECOMENDACIONES.....	47
18.6.2.1. EQUIPAMIENTO MÍNIMO.....	5	18.14.3. CAPACIDAD VISUAL	47
18.6.2.2. INSTALACIONES EXISTENTES	6	18.14.4. CRITERIOS PARA ILUMINAR UN TRAMO DE CARRETERA.....	47
18.6.2.3. INSTALACIONES A PROYECTAR.....	6	18.14.4.1. Criterios de la Orden Circular 36/2015	47
18.6.2.3.1. Tercer tubo (725 m).....	6	18.15. ACERAS.....	49
18.6.2.3.2. Nuevo falso túnel (265,17 m)	7	APENDICES	50
18.6.2.4. DESCRIPCIÓN DE LAS INSTALACIONES	7	APENDICE Nº1. ANALISIS DE RIESGOS TÚNELES DEL BRUC	51
18.6.2.4.1. Centro de Control (nueva ubicación) e instalación en A.T y B.T.....	7	APENDICE Nº 2. PROYECTO PARKING DE VIALIDAD INVERNAL.....	52
18.6.2.4.2. Circuito Cerrado de TV.....	9		
18.6.2.4.3. Sistema de ventilación y extracción de humos. Automático y manual.....	10		
18.6.2.4.4. Sistema de presurización en nuevas salidas de emergencia	13		
18.6.2.4.5. Iluminación normal.....	15		
18.6.2.4.6. Iluminación de seguridad	17		
18.6.2.4.7. Iluminación de emergencia	18		
18.6.2.4.8. Doble suministro eléctrico e instalación eléctrica en AT y BT	18		
18.6.2.4.9. Generadores de emergencia	20		
18.6.2.4.10. Sistema de Alimentación Ininterrumpida (SAI).....	21		
18.6.2.4.11. Detectores de CO, Opacímetros y Anemómetros.....	21		
18.6.2.4.12. Cable para Detección de incendios.....	22		
18.6.2.4.13. Detección automática de incidentes	23		
18.6.2.4.14. Puestos de emergencia.....	25		
18.6.2.4.15. Señalización de salidas y equipamiento de emergencia.....	26		
18.6.2.4.16. Megafonía	28		
18.6.2.4.17. Extinción de incendios	29		
18.6.2.4.18. Sistema de radiocomunicaciones para servicios de emergencia.....	32		
18.6.2.4.19. Mensajería de emergencia por canales de radio para usuarios	32		
18.6.2.5. ANALISIS DE RIESGOS TÚNELES DEL BRUC	37		
18.7. PASOS DE MEDIANA.....	37		
18.8. REORDENACIÓN DE ACCESOS.....	38		

18. ANEJO Nº 18. OBRAS COMPLEMENTARIAS

18.1. INTRODUCCIÓN

En el Anejo nº 18 de Obras Complementarias en el “Anteproyecto y Estudio de Viabilidad de Adecuación, Reforma y Conservación de la Autovía A-2. Tramo: Igualada - Martorell. P.K. 550,6 al P.K. 585,5” se efectúa un análisis de las diferentes actuaciones complementarias a las obras de infraestructura proyectadas, estudiándose su necesidad e implantación en los casos que proceda. En total se han analizado los elementos que a continuación se mencionan:

- Cerramiento.
- Hitos de delimitación de la propiedad.
- Infraestructura para el sistema SOS.
- Instalaciones en túnel
- Pasos de mediana.
- Áreas de estacionamiento de emergencia.
- Zonas de Instalaciones Auxiliares
- Demoliciones.
- Paradas de transporte colectivo.
- Lecho de frenado
- Acerado

Además de las actuaciones señaladas, existen otro tipo de actuaciones que podrían tratarse como obras complementarias pero dada su naturaleza, diseño o actuación sobre las misma se recogen en otros anejos del documento, como son la iluminación, la reordenación de accesos y las instalaciones.

18.2. CERRAMIENTO

18.2.1. CERRAMIENTO VIARIO

Se ha proyectado una valla de cerramiento en cada una de los márgenes de los viales comprendidos en el tramo de la autovía proyectada para impedir la irrupción en la misma de personas, vehículos y animales desde las propiedades colindantes.

Según las *Prescripciones técnicas para el diseño de pasos de fauna y vallados perimetrales* del MITECO, el tipo de cerramiento que se recomienda en general es de 2 m, de los cuales 1,80 m se encuentra por encima del nivel del terreno y los 20 cm iniciales enterrados. La distancia entre hilos verticales de la malla anudada será de 15 cm y la distancia entre los horizontales aumentará progresivamente, desde 5-15 cm en la parte inferior hasta 15-20 cm en la superior. Este tipo de cerramiento se instalará a lo largo de todo el trazado.

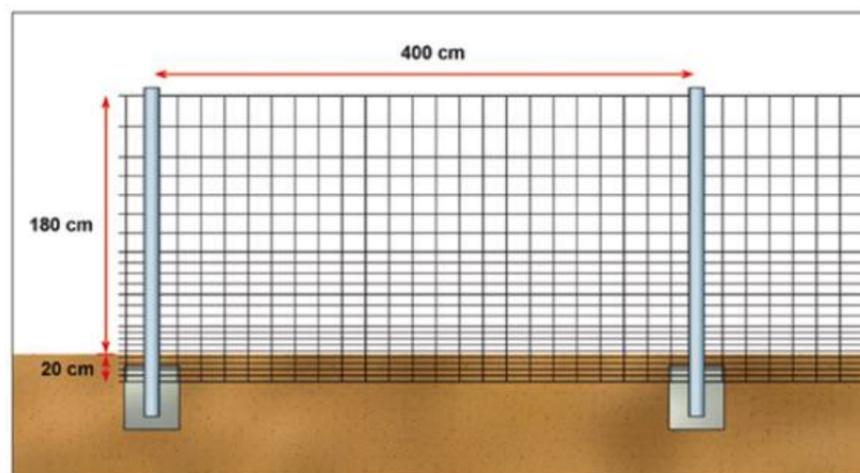
En cuanto a los refuerzos, en los sectores donde se detectan levantamientos de la malla existente, es posible corregir los problemas instalando refuerzos en la base del cerramiento. Cuando es el jabalí la especie causante, puede aplicarse un tipo de refuerzo específico consistente en la instalación de malla electrosoldada, rígida, con rectángulos de 5 cm de ancho por 30 cm de alto. Esta malla se enterrará en su base o se hincará en el suelo mediante púas constituidas por los propios elementos verticales de la malla, y tendrá una altura de 40-50 cm por encima del nivel del terreno. Estos refuerzos se colocarán por la parte exterior del cerramiento y se anclarán a la malla existente.

En el caso estudiado, se plantea instalar estos refuerzos específicos en el entorno de los puntos de atropello que se mencionan en el apartado “2.2.1. Zonas de atropellamiento de fauna”, en concreto a 250 m a cada lado de estos puntos:

Carretera	PK	Número colisiones	Especie	Corredor cercano
A-2	552,3	1	Jabalí	Torrent de Cal Magí
A-2	555,1	1	Jabalí	Riera d'Òdena
A-2	558,2	1	Jabalí	Torrent de Cal Marqués
A-2	563	1	Jabalí	Túnel del Bruc
A-2	564	1	Jabalí	Túnel del Bruc
A-2	575,5	1	Jabalí	Riera de Can Dalmases
A-2	580	1	Jabalí	Riera de Magarola

Sectores de instalación de refuerzos específicos para jabalí

A continuación, se presentan algunas imágenes ilustrativas donde se pueden apreciar el cerramiento y los refuerzos específicos para el jabalí.



Esquema general del cerramiento perimetral para grandes mamíferos.

18.2.2. REPOSICIÓN DEL CERRAMIENTO EXISTENTE EN FINCAS DE PARTICULARES

En lo que respecta a los cerramientos de particulares, únicamente se contempla en el proyecto la demolición de aquellos elementos que interfieren con la traza de viario proyectado. La reposición de las mismas queda fuera del alcance de las obras comprendidas en el proyecto, si bien se valorará y abonará a cada particular el importe a tal efecto fijado en las indemnizaciones previstas en el estudio de expropiaciones.

18.2.3. PUERTAS DE ACCESO

Se disponen puertas de acceso a la zona de dominio público para el mantenimiento y conservación de la vegetación, taludes, etc., aprovechando puntos con acceso exterior con una media estimada de una cada 1700 m de media. Se prevé asimismo la disposición regular cada 800 m aproximadamente de rampas de escape para la fauna que haya podido irrumpir en la carretera. Estos dispositivos no deben permitir la entrada desde el exterior a la zona vallada.

Se proyectan dos tipos de puertas:

- De doble hoja de 1,50 m cada una y altura similar a la del cerramiento. Este tipo de puerta debe permitir el paso de maquinaria y camiones.
- De una hoja de 2 m de ancho. de para el paso peatonal y de vehículos ligeros de una hoja de 2 m.

18.2.4. ESCAPES DE FAUNA

Como parte complementaria del cerramiento perimetral, se dispondrá en la propia valla del cerramiento una serie de elementos que permitan la evacuación de algunos animales que pudieran haber accedido por roturas de la propia valla o por los propios accesos en enlaces.

18.3. HITOS DE DELIMITACIÓN DE LA PROPIEDAD

Se señalará con hitos de deslinde el límite de la expropiación originada por la ejecución de la obra, siempre que dicho límite no coincida con la línea de cerramiento.

Los hitos de deslinde se situarán de modo que sean visibles entre sí, con distancias entre ellos normalmente no superiores a 50 metros y de forma obligada en cada punto de cambio de alineación, siempre que no coincida con la mencionada línea de cerramiento.

Los hitos serán prefabricados de hormigón para deslinde de dimensiones 9,50 x 9,50 x 60,50cm, 35cm de los cuales deben sobresalir sobre la superficie del terreno, asentado sobre una base de hormigón HM-20, con dimensiones 25 x 25 x 32,5 cm.

18.4. INFRAESTRUCTURA PARA EL SISTEMA SOS

Para el presente proyecto se aplica el Oficio de 31 de marzo de 2010 remitido por la Dirección General de Tráfico a la Dirección General de Carreteras, por el cual se informa de que no existe inconveniente en la no instalación de postes S.O.S. en los nuevos tramos que se construyan a cielo abierto en autovías o autopistas, quedando relegado su uso a túneles y a otras áreas concretas.

En cuanto a la implantación de postes S.O.S. en las áreas de túnel se tratan en el anejo nº 15 "Instalaciones y Sistemas de Información ITS", y los postes S.O.S. existentes que se ven afectados por las nuevas actuaciones, se incluye y presupuesta su propuesta de reposición.

En total se van a reponer 25 postes SOS.

18.5. INSTALACIONES

En el tramo de autovía proyectada se prevé la implantación de instalaciones diversas, así como las destinadas a control de tráfico (estaciones de aforos, paneles de mensajería variable, cámaras de control de tráfico, etc), que se recogerán detalladamente en el *Anejo 15 Instalaciones y Sistemas de Información ITS*.

18.6. INSTALACIONES EN TÚNEL

18.6.1. OBJETO

El presente apartado tiene como objeto presentar el diseño y principales características de las instalaciones relativas a los túneles de El Bruc y el nuevo falso túnel, ubicados en el tramo de la autovía A-2 objeto del presente anteproyecto.

18.6.2. INSTALACIONES DE LOS TÚNELES

El Real Decreto 635/2006 sobre *Requisitos Mínimos de Seguridad en los Túneles de Carreteras del Estado* establece una serie de categorías para determinar las necesidades de equipamiento requeridas para cada túnel. Y, según el Anexo I del RD 635/2006, el Túnel de El Bruc queda encuadrado en el apartado 2.21.1.1 “*Túneles unidireccionales, de longitud mayor que 1000 m*”. Siendo sus parámetros fundamentales actuales:

- Tipo: interurbano.
- Vía: A-2.
- Tráfico: unidireccional.
- Longitud: 1.111 m.
- Nº de tubos: 3 (1.111m/830m/725m).

Cabe destacar que el RD 635/2006 establece, en su artículo 3:

“c) Longitud del túnel: la **longitud del carril más largo** de circulación, medido en la parte totalmente cubierta del túnel.

d) Volumen de tráfico: el número de vehículos que circulan por carril y día. Se calculará como la **IMD de cada tubo** dividida por su número de carriles.”

Es decir, **la clasificación de todos los tubos** del Túnel de El Bruc según el RD 635/2006 viene determinada por la longitud del carril más largo de todos ellos, que en este caso sería por el de 1.111 m.

Por otra parte, el nuevo falso túnel ubicado entre el P.K. 1+250 y el P.K. 1+515,17, de 265,17 m. de longitud, al estar a una distancia inferior a 10 km del Túnel de El Bruc y preverse una IMD por carril mayor que 2.000 vehículos diarios, formará grupo con dicho Túnel de El Bruc, cuya longitud supera los 1.000 m. En consecuencia, deberá contar con el mismo equipamiento que el Túnel de El Bruc, de acuerdo con lo dispuesto en el apartado 2.21.1 del Anexo I del RD 635/2006.

18.6.2.1. EQUIPAMIENTO MÍNIMO

De acuerdo con la clasificación del Túnel de El Bruc, el equipamiento mínimo en lo referente a las instalaciones, tanto para el nuevo tubo del Túnel de El Bruc como para el nuevo falso túnel, de acuerdo con el RD 635/2006, es el siguiente:

- Centro de control.
- Circuito cerrado de TV.
- Sistema informático de extracción de humos, automático y manual.
- Iluminación normal.

- Iluminación de seguridad.
- Iluminación de emergencia.
- Ventilación.
- Doble suministro eléctrico.
- Cableado resistente al fuego.
- Generadores de emergencia.
- Sistema de Alimentación Ininterrumpida (SAI).
- Detectores de CO.
- Opacímetros.
- Cable para detección de incendios.
- Detección Automática de Incidentes (DAI).
- Puestos de emergencia.
- Señalización de salidas y equipamientos de emergencia.
- Señalización según normas 8.1-IC y 8.2-IC.
- Paneles de señalización variable.
- Barreras exteriores.
- Semáforos exteriores.
- Megafonía.
- Red de hidrantes.
- Aforadores.
- Sistema de radiocomunicación para servicios de emergencia.
- Mensajería de emergencia por canales de radio (cuando existan).

18.6.2.2. INSTALACIONES EXISTENTES

En la tabla siguiente se listan las exigencias para el túnel según RD 635/2006, así como la existencia o no de las mismas, teniendo en cuenta el contenido del informe de evaluación del túnel fechado el 24 de abril de 2020, para los dos tubos existentes:

EQUIPAMIENTO EXIGIDO POR EL RD 635/2006	EXISTE EN TÚNEL	ESTADO	CUMPLE NORMATIVA
Centro de control (nueva ubicación) e instalación Telecomunicaciones	Sí	BUENO	SI
Circuito Cerrado de TV	Sí	BUENO	SI
Sistema informático de extracción de humos, automático y manual	Sí	BUENO	SI
Iluminación normal	Sí	BUENO	NO
Iluminación de seguridad	Sí	BUENO	NO
Iluminación de emergencia	Sí	BUENO	NO
Ventilación	Sí	BUENO	SI
Doble suministro eléctrico e instalación eléctrica en A.T. y B.T.	Sí	BUENO	SI
Cableado resistente al fuego (incluso retirada del existente)	NO	-	NO
Generadores de emergencia	Sí	BUENO	SI
Sistema de alimentación ininterrumpida (SAI)	Sí	BUENO	SI
Detectores de CO	Sí	BUENO	SI
Opacímetros	Sí	BUENO	SI
Cable para detección de incendios	Sí	BUENO	SI
Detección automática de incidentes	Sí	BUENO	SI
Puestos de emergencia	Sí	BUENO	SI
Megafonía	Sí	BUENO	SI
Red de hidrantes	Sí	BUENO	NO
Sistema de radiocomunicación para servicios de emergencia	Sí	BUENO	SI
Mensajería de emergencia por canales de radio para usuarios	SI	BUENO	SI

Tabla 1.- Estado de adecuación del túnel al R. D. 635/2006.

18.6.2.3. INSTALACIONES A PROYECTAR

En el presente anteproyecto se diseña una ampliación de la capacidad actual del Túnel de El Bruc con la construcción de un tercer tubo de 3 carriles sentido Lleida. Los dos túneles existentes se adaptan dotándoles a ambos de dos carriles y unificando el sentido de circulación hacia Barcelona, así como actualizando o implementando -según proceda- las instalaciones que actualmente no cumplen las prescripciones del RD 635/2006 y demás normativa vigente. La longitud del túnel nuevo proyectado es de 725 m.

La construcción del nuevo tubo será realizada de acuerdo con la filosofía del Nuevo Método Austriaco (NATM), implementado un procedimiento de tipo secuencial, y utilizando como elementos de sostenimiento (soporte a corto plazo): bulones, hormigón proyectado y cerchas.

Asimismo, se proyecta un falso túnel de tres carriles en la calzada dirección Lleida, la del tercer tubo del Túnel de El Bruc, concretamente se ubica entre el P.K. 1+250 y el P.K. 1+515,17. La longitud del nuevo falso túnel proyectado es de 265,17 m.

En el tubo existente de 830m se proyectan unos trabajos de mejora del revestimiento actual, los cuales implican el desmontaje y posterior montaje de parte de las instalaciones existentes, a cuyo fin se ha previsto una partida presupuestaria.

18.6.2.3.1. Tercer tubo (725 m)

La ampliación de la capacidad actual del Túnel de El Bruc se realizará con un tercer tubo. De esta forma, los tubos actuales se adaptarían a dos carriles y la ampliación de capacidad se efectúa mediante el tercer tubo. Los dos tubos actuales se utilizarán en sentido Barcelona con dos carriles cada uno, siendo el nuevo tubo de tres carriles sentido Lleida.

Se adaptarán ambos tubos existentes a una sección con 2 carriles de ancho 3,5 m donde se garantice en cada uno de ellos el gálibo de 5,0 m., con las siguientes secciones transversales:

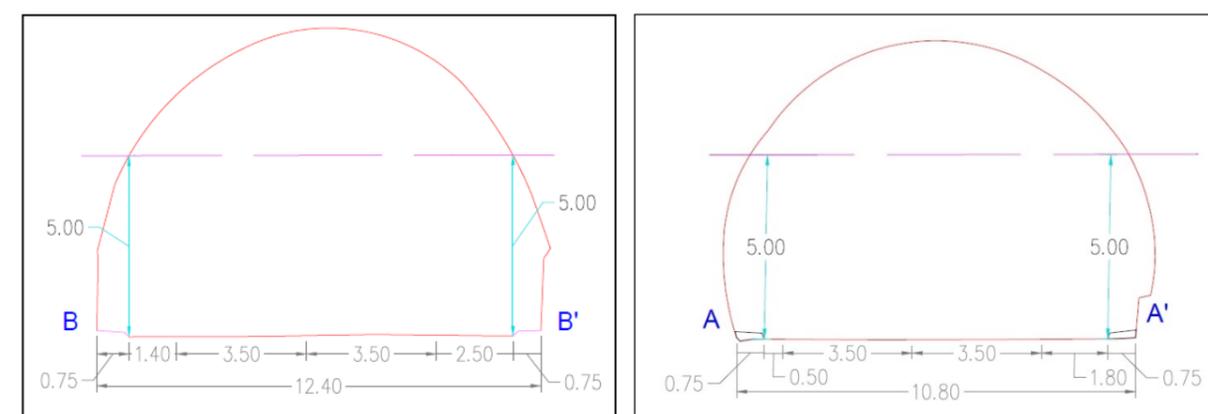


Ilustración 1. Sección tipo sentido Lleida

Ilustración 2. Sección tipo sentido Barcelona.

El nuevo túnel tendrá 3 carriles para el sentido Lleida. La longitud del túnel proyectado será de 725 m. La sección tipo es la siguiente:

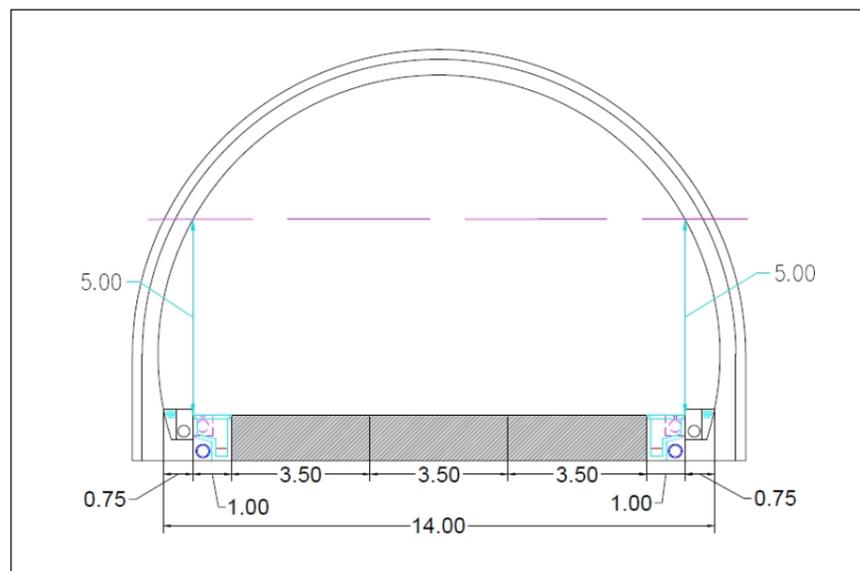


Ilustración 3. Sección tipo tercer tubo sentido Lleida.

Para el nuevo tubo, se proyectará la totalidad del equipamiento mínimo prescrito por el RD635/2006.

La construcción del nuevo tubo producirá afecciones sobre las instalaciones actuales del Centro de Conservación y Explotación del túnel y se hace necesaria su nueva construcción en el entorno del acceso a la A-2 próximo al túnel.

18.6.2.3.2. Nuevo falso túnel (265,17 m)

Se proyecta un falso túnel de tres carriles en la calzada dirección Lleida, la del tercer tubo del Túnel de El Bruc, concretamente se ubica entre el P.K. 1+250 y el P.K. 1+515,17. La longitud del nuevo falso túnel proyectado es de 265,17 m.

El nuevo falso túnel de 265,17 m de longitud, al estar a una distancia inferior a 10 km del Túnel de El Bruc y preverse una IMD por carril mayor que 2.000 vehículos diarios, formará grupo con dicho túnel de El Bruc, cuya longitud supera los 1.000 m. En consecuencia, se proyectará con el mismo equipamiento que el túnel de El Bruc, de acuerdo con lo dispuesto en el apartado 2.21.1 del Anexo I del RD 635/2006.

18.6.2.4. DESCRIPCIÓN DE LAS INSTALACIONES

El presente epígrafe es de aplicación para la opción elegida finalmente que ha sido la ejecución de un tercer tubo nuevo en el Túnel de El Bruc y el nuevo falso túnel de tres carriles en la calzada dirección Lleida.

18.6.2.4.1. Centro de Control (nueva ubicación) e instalación en A.T y B.T

18.6.2.4.1.1. *Sistemas de Red de Datos y Comunicaciones existentes*

Según el Informe de evaluación "INFORME DE EVALUACIÓN DE INSPECCIÓN Y PROPUESTA DE MEJORA TÚNEL DEL BRUC", con fecha del 24 de abril de 2020, que aparece en la BIT 2.1, cuya web es <https://www.bit2.es/> (Base de datos de inventario, incidencias e inspecciones en túneles de la R.C.E.), se describe a continuación el Sistema de Red de datos y Comunicaciones existentes en el Túnel de El Bruc que consta en dicho informe.

El sistema de control del Túnel de El Bruc gestiona las instalaciones del interior del túnel y de sus accesos, así como los equipos instalados en el túnel del Violí.

La red de comunicaciones del túnel de El Bruc se constituye como un anillo de fibra óptica entre los locales técnicos de las bocas, las remotas del interior del túnel y el centro de control. Por otra parte, una estación remota más alejada, antes de llegar a la boca Barcelona, se comunica mediante un radioenlace.

El Túnel de El Bruc cuenta con una red Gigabit Ethernet y 15 armarios de electrónica distribuidos por el túnel y en los dos Locales Técnicos de ambas bocas. Estos armarios están equipados con *switches*, autómatas y demás equipos necesarios para el control del túnel.

La red de comunicaciones del Túnel de El Bruc está formada por 13 estaciones remotas, que a su vez están compuestas por un PLC y módulos de entradas y salidas (excepto la situada en la sala de PCI, que es un módulo de entradas y salidas).

El Túnel de El Bruc se controla en remoto desde el centro de control de los túneles de El Bruc, si bien también se podría realizar un control local mediante las botoneras de los armarios eléctricos en caso de ser necesario. El centro de control dispone de vigilancia ininterrumpida las 24 h. y se encuentra situado a una distancia inferior a 15 km, por tanto, se cumple lo establecido en el punto 2.15.2 del RD 635/2006.

La aplicación de gestión centralizada (SCADA) permite la monitorización en tiempo real y el control remoto de los equipos instalados en el campo.

18.6.2.4.1.2. *Sistemas de Red de Datos y Comunicaciones proyectados*

El sistema de control y supervisión del equipamiento previsto para el nuevo Centro de Control, a ejecutar en el entorno del acceso a la A-2 próximo al túnel, permitirá migrar el control de los equipos existentes del túnel que están bajo su dependencia desde el actual sistema a la nueva plataforma, y acoger el control de los nuevos equipos previstos en el tercer tubo y el falso túnel. A su vez, esta plataforma estará diseñada de forma flexible y escalable, de manera que será posible modificarla a futuro para integrar y controlar variaciones en el sistema del túnel. Asimismo, deberá ser estándar, amigable para el usuario y fácil de modificar, estando construida en base a plataformas, estándares y procesos abiertos, así como independiente del proveedor original de la solución.

La solución propuesta permitirá controlar y monitorizar las instalaciones del túnel mediante un sistema SCADA. Incluye una interfaz gráfica de usuario y un conjunto completo de herramientas que permiten al operador que está en el centro de control realizar la gestión y monitorización de los túneles y sus accesos. En esta nueva plataforma los operadores tendrán como mínimo la misma funcionalidad de la que disponen ahora y, en la medida de lo posible, mejorará sensiblemente la operatividad y funcionalidad actual. La nueva solución cumplirá, al menos, con los siguientes requisitos:

- Integrará todos los tubos dependientes actualmente.
- Estará preparada para ser modificada de una forma sencilla y consistente, minimizando los riesgos y los tiempos necesarios.

La plataforma permitirá la monitorización, gestión y control de los sistemas mecánicos y eléctricos, incluyendo:

- Sistemas mecánicos y eléctricos de la infraestructura.
- Sistemas de Vigilancia y Control del Tráfico, tanto en el interior de los tubos como en los accesos a los mismos y las carreteras y autovías dentro del ámbito del proyecto.
- Sistemas de aforos.
- Sistemas de condiciones climatológicas.
- Sistemas de Comunicaciones.

La plataforma permitirá la gestión de la infraestructura de manera optimizada, segura y coordinada. Siendo su objetivo principal:

- Facilitar la gestión eficaz de los incidentes a través del control integrado de todos los sistemas de control, supervisión y de comunicación de la infraestructura.
- Seguimiento y control de los sistemas de tráfico y los movimientos de los usuarios que por el mismo transitan, incluyendo los caminos de acceso y rampas.
- Seguimiento y control de los equipos propios de la infraestructura, por ejemplo, los equipos de planta del túnel (ventiladores, iluminación, hidrantes, etc.).

La plataforma será manejada a través de un interfaz gráfico de usuario integrado, que proporcionará una presentación clara y lógica de la disposición de la infraestructura. Mostrando información en tiempo real de eventos e incidentes que sucedan en la infraestructura, para permitir que el operador pueda navegar por la información y tomar rápidamente las medidas adecuadas para minimizar las consecuencias de los incidentes detectados.

Descripción funcional y técnica de la solución propuesta

El sistema estará formado por los equipos de campo distribuidos a lo largo del túnel, conectados a los PLC o ERU existentes y nuevos que transmitirán, a través de la red de comunicaciones y mediante protocolos, las señales de campo mostrándose el estado de los equipos en el interfaz de operación para su supervisión y control.

Entre otras características funcionales, el sistema permitirá:

- Monitorización y Control
 - Control con vistas por monotúnel o multitúnel, con acceso a datos y comandos de cada equipo/sistema e integración del control de tráfico en el sistema.
- Automatismos
 - Incluye los automatismos necesarios para un funcionamiento desatendido de los subsistemas críticos de los túneles (ventilación e iluminación), asegurando una adaptación continua a condiciones ambientales para la optimización de los consumos eléctricos y el confort de circulación de los conductores.

El interfaz de operación, que es el medio de relación directa con el operador del sistema, tendrá las siguientes características:

- Entorno sencillo, de fácil manejo.
- Información presentada al operador en formato gráfico dinámico interactivo.
- Posibilidad de selección de visualización por subsistemas (“sinópticos”).
- Uso de colores variables e intermitencias para eventos importantes.
- Actualización constante de información.

El Sistema de Control recibirá información de estado en tiempo real desde dispositivos de campo (Entradas), analizará la información recibida (Procesado) utilizando una combinación del análisis de los operadores, los algoritmos de control y los controladores lógicos programables (PLC) para finalmente proporcionar una respuesta adecuada en la forma de planes predeterminados (Acciones). La ilustración 4 plasma este concepto. El sistema operará utilizando funciones tanto manuales como automáticas.



Ilustración 4.- Esquema de Proceso del Sistema de Control.

El Sistema de Control será manejado a través de un interfaz gráfico de usuario integrado, que proporciona una presentación clara y lógica de la disposición de la infraestructura mostrando información en tiempo real de eventos e incidentes que suceden en la infraestructura (túnel y accesos), para permitir que el operador pueda navegar por la información y tomar rápidamente las medidas adecuadas para minimizar las consecuencias de los incidentes detectados.

El sistema incluirá el control y supervisión de los sistemas mecánicos y eléctricos del túnel y los edificios técnicos y la gestión de los incendios. La funcionalidad del sistema de control incluirá:

- Estaciones de emergencia.
- Vigilancia y control de las puertas del túnel.
- Control de la calidad del aire
- Sistema de vigilancia y control de la ventilación de túneles.
- Seguimiento y control de la iluminación y el sistema de iluminación de emergencia.
- Sistema de detección de incendios
- Seguimiento y control de los equipos de detección y de lucha contra incendios
- Sistemas de monitoreo y control de la distribución de potencia y suministro eléctrico.
- Sistemas hidráulicos de monitorización y control (estación de bombeo, drenaje)
- Sistema de comunicación y retransmisión de radio

- Sistema de megafonía

El sistema también incluirá la supervisión y control de tráfico con el objetivo de maximizar la seguridad y eficacia de la carretera, respondiendo a incidentes y proporcionando información a los usuarios y administradores de la carretera. La funcionalidad del sistema de control incluye:

- La detección de los incidentes de tráfico y su gestión de manera efectiva.
- La detección de vehículos con altura excesiva, y su gestión de advertencia y de desvío.
- La implementación de procedimientos para responder y gestionar los impactos en caso de incidente accidental o planificado (mantenimiento).
- Sistemas de supervisión, control y guiado de los movimientos de tráfico en la carretera.
- La detección automática de incidentes por medio del análisis de video (DAI).
- Supervisar y controlar todos los dispositivos de carretera para vigilar y controlar el tráfico, incluyendo:
 - o Paneles de Mensajería Variable (PMV)
 - o Señales de restricción de velocidad
 - o Señales de control de carril (aspa-flecha)
 - o Barreras
 - o Semáforos
 - o Detectores de tráfico (recuento y clasificación)

18.6.2.4.2. Circuito Cerrado de TV

18.6.2.4.2.1. *Instalación actual*

Según el Informe de evaluación "INFORME DE EVALUACIÓN DE INSPECCIÓN Y PROPUESTA DE MEJORA TÚNEL DEL BRUC", con fecha del 24 de abril de 2020, que aparece en la BIT 2.1, cuya web es <https://www.bit2.es/> (Base de datos de inventario, incidencias e inspecciones en túneles de la R.C.E.), en el Túnel de El Bruc existe un sistema de CCTV así como un sistema de detección automático de incidencias (DAI), tal y como se describe a continuación.

El sistema CCTV está compuesto en el exterior del túnel por cuatro cámaras móviles DOMO, y una adicional en el centro de control. Las cámaras interiores se distribuyen de la siguiente manera:

- 13 cámaras fijas en sentido Barcelona y nueve en sentido Lleida, ancladas en la clave del túnel.
- 4 cámaras DOMO en el túnel situadas en cada una de las puertas de las galerías.

- 1 cámara DOMO en cada uno de los vestíbulos de independencia de las galerías de conexión.
- 4 cámaras fijas en cada una de las galerías de conexión.

En el Centro de Control se dispone de monitores donde se pueden visualizar todas las cámaras pertenecientes al túnel y sus accesos, en los que se visualizan las dos cámaras exteriores por sentido, la cámara del centro del control, y las interiores.

Según este informe de evaluación, tanto el sistema de CCTV como el sistema DAI existentes en las distintas zonas del túnel funcionan correctamente.

18.6.2.4.2.2. *Instalación proyectada*

El sistema de CCTV para el nuevo tubo que se ejecutará para la ampliación del Túnel de El Bruc y el nuevo falso túnel estará formado por cámaras IP móviles día / noche instaladas en las bocas de entrada y salida del tubo, y cámaras fijas que se ubicarán en el interior del tubo, protegidas con sus correspondientes carcasas para exterior. Estas cámaras estarán conectadas al centro de control mediante una red de comunicaciones. Desde el centro de control se podrán visualizar las imágenes captadas por las mismas:

En el Centro de Control estará instalada la matriz de vídeo, los receptores ópticos, videograbadores, los monitores de visualización y el sistema gestor de CCTV. Las cámaras nuevas se conectarán a la matriz de vídeo, desde la cual se gestionan todas las señales para su visualización programada en los paneles de monitorización. Esta matriz de vídeo, a su vez, estará conectada al sistema de control a través de la red Ethernet.

Se proyecta la instalación de cámaras IP en las nuevas salidas de emergencia del túnel. De esta manera, se considera la inclusión de una cámara fija en cada una de las salidas de emergencia nuevas proyectadas. Las cámaras instaladas en las nuevas galerías se conectarán mediante cableado UTP al *switch* del Poste SOS ubicado en el mismo vestíbulo. De esta manera, estarán conectadas a la red de comunicaciones, conectándose con el Centro de Control.

Con respecto a las cámaras analógicas existentes, se contempla la sustitución de dichas cámaras por cámaras IP, y como consecuencia también se contempla la sustitución de los equipos en el centro de control para el correcto funcionamiento de dicho sistema de CCTV. Estas cámaras se conectarán a la red de comunicaciones a través de *switch* distribuidos a lo largo del túnel, a una distancia inferior a 100 m, siendo esta la distancia máxima permitida para el cable UTP.

Para integrar estas cámaras en el sistema DAI, se sustituirá el sistema DAI existente por uno nuevo, se dispondrá en el Centro de Control de una tarjeta analizadora DAI para cada una de las cámaras a instalar, se instalará un servidor para el sistema DAI y se actualizará el software para incluir las nuevas cámaras.

En el Centro de Control nuevo se instalarán los videograbadores IP que permitan grabar las imágenes captadas por todas las cámaras y se actualizará el software de gestión.

18.6.2.4.3. Sistema de ventilación y extracción de humos. Automático y manual

18.6.2.4.3.1. *Normativa*

Para determinar el dimensionamiento del sistema de ventilación se siguen las hipótesis establecidas por la P.I.A.R.C. (*Permanent International Association Of Road Congresses*) y por el C.E.T.U. (*Centre d'Etudes des Tunnels*).

18.6.2.4.3.2. *Funcionamiento en situación de incendio.*

El diseño del sistema de ventilación se lleva a cabo en base al escenario de incendio. En situación de incendio se procede de manera que se tenga en consideración que, en los primeros minutos de incendio, si no hay fuerzas que lo modifiquen, el humo invade de forma natural la parte superior de la sección y de igual forma a ambos lados. Sin embargo, esto se modifica en función de lo siguiente:

- El humo caliente permanece justo por debajo del techo, aunque el aire circule por la parte inferior del túnel.
- Una pendiente en el techo del túnel provoca el desplazamiento longitudinal de la masa más caliente hacia la parte alta, por "efecto chimenea".
- A partir de una velocidad longitudinal mínima de aire, el humo se desplaza solamente en una dirección, la misma que la del aire, y a una velocidad superior.
- Una velocidad de aire excesiva provoca turbulencias, y con ello la mezcla del humo y los gases en toda la sección, con la consiguiente contaminación y pérdida de visibilidad.

Todas las recomendaciones coinciden en limitar la velocidad longitudinal del aire para evitar turbulencias, pero conseguir las velocidades deseadas lo más rápidamente posible. La velocidad del aire debe superar la "crítica" correspondiente a la magnitud del incendio tipo considerado y a las características de la geometría del túnel (sección y pendiente).

En situación de emergencia por fuego, se busca que el aire viciado no invada la zona de evacuación de personas. En el caso del presente estudio, se persigue el confinamiento del humo entre el punto en el que tiene lugar el incendio y una de las bocas del túnel. Se ha previsto que pasen a través del túnel camiones pesados de la zona.

Para el diseño se considera el peor escenario posible de incendio, es decir, un incendio localizado en el punto del túnel en el que dadas las características de éste se requiere mayor empuje por parte de los ventiladores.

18.6.2.4.3.3. Metodología de cálculo de caudal en situación de incendio

En caso de incendio, el caudal mínimo a extraer es el que se deriva del cálculo de la velocidad crítica del aire, que es la mínima velocidad necesaria para evitar el retorno de humos (“backlayering”).

Cálculo de la velocidad crítica

Existe una velocidad mínima a conseguir para que no haya retropropagación de humos, es decir, que estos no puedan avanzar en sentido contrario al del flujo de ventilación.

De las distintas expresiones que se pueden plantear para el cálculo de la velocidad crítica para evitar la retropropagación de los humos (*backlayering*), se ha escogido la fórmula desarrollada por Kennedy y Danzinger en los “*Memorial Tunnel Fire Tests*”, por ser esta la más ampliamente utilizada en aplicaciones de este tipo.

$$V = K_g \cdot k \cdot \left(\frac{g \cdot H \cdot HRR}{\rho \cdot C_p \cdot T \cdot S} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Donde:

- K_g = Factor corrector de la pendiente del túnel
- k = Constante basada en el número de Froude
- T = Temperatura media de los gases en K

$$\frac{HRR}{C_p \cdot \rho \cdot A \cdot V} + T_0$$

- T_0 = Temperatura ambiente en K
- V = Velocidad crítica en m/s.
- G = Aceleración de la gravedad en m/s².
- HRR = Potencia calorífica del fuego en W.
- ρ = Densidad del aire en kg/m³.
- H = Altura media de la sección transversal del túnel en m.
- S = Superficie media de la sección transversal del túnel en m².
- C_p = Calor específico del aire en J/kg K.

Cálculo del caudal

El caudal se determinará con la siguiente fórmula:

$$Q = V_c \times S$$

donde:

- V_c = Velocidad crítica en m/s.
- S = Sección (m²)

Determinación de la presión total

Las pérdidas de carga del flujo de gases que se mueven a lo largo del túnel son debidas a varios factores:

- Rugosidad en las paredes del túnel, pozos y galerías.
- Singularidades a lo largo del circuito que recorre la masa de aire (codos, rejillas, interferencia de elementos, etc.).
- Efecto chimenea.
- Pérdidas por tráfico.

El cálculo de estas pérdidas es necesario para el posterior dimensionamiento de los equipos.

Las fórmulas necesarias para la realización de los cálculos se esquematizan a continuación:

Las pérdidas por fricción generadas en un conducto vienen dadas normalmente por la fórmula de Darcy-Weisbach.

$$\Delta P = \frac{f \cdot L \cdot \rho \cdot v^2}{2 \cdot D_H}$$

Fórmula de Darcy-Weisbach.

Donde:

- ΔP = pérdida de presión debida a la fricción.
- f = cociente de fricción propio de la superficie del túnel.
- L = longitud del tramo de túnel.
- D_h = diámetro hidráulico de la sección transversal del túnel.
- ρ = densidad del aire.
- v = velocidad del aire.

El factor de fricción f se calcula a partir del número de Reynolds y de la rugosidad relativa del conducto (ε):

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} \qquad e = \frac{\varepsilon}{D}$$

El diagrama de Moody para el movimiento de fluidos por conductos nos dará finalmente el valor del coeficiente de fricción en función del valor del número de Reynolds y de la rugosidad relativa.

Las pérdidas de carga singulares se determinan por medio de la expresión:

$$\Delta P = \frac{1}{2} \cdot C \cdot \rho \cdot v^2$$

Donde:

- ΔP = pérdida de presión.
- ρ = densidad del fluido.
- v = velocidad del fluido.
- C = constante que depende de la sección y del Re.

La constante C es un valor adimensional para una determinada singularidad del circuito.

Potencia necesaria

En este apartado se calcula la potencia necesaria de los ventiladores para que puedan suministrar el caudal necesario, venciendo las pérdidas de carga calculadas en los apartados anteriores.

Esta potencia se calcula según la siguiente expresión:

$$P_v = (Q \cdot \Delta p \cdot \rho_a \cdot C_m) / (\eta \cdot \rho_m)$$

Donde:

- P_v = potencia del motor del ventilador (W)
- Q = caudal de aire a suministrar (m³/s)
- Δp = elevación de la presión (Pa)
- ρ_a = densidad del aire a la altitud del túnel (1.21 kg/m³)
- C_m = margen mínimo de potencia del motor (se toma un 20%).

- ρ_m = densidad del aire a nivel del mar (1.21 kg/m³).
- η = eficiencia del ventilador (se toma un valor del 75%).

18.6.2.4.3.4. Instalación Actual.

El Túnel de El Bruc cuenta con un sistema longitudinal compuesto por ventiladores Jet Fan en ambos tubos, tal y como se detalla en el Informe de evaluación "INFORME DE EVALUACIÓN DE INSPECCIÓN Y PROPUESTA DE MEJORA TÚNEL DEL BRUC", con fecha del 24 de abril de 2020, que aparece en la BIT 2.1, cuya web es <https://www.bit2.es/> (Base de datos de inventario, incidencias e inspecciones en túneles de la R.C.E.).

En concreto, el Túnel de El Bruc cuenta con 7 parejas de ventiladores de chorro de 45 kW en sentido Barcelona y con 8 parejas de ventiladores de chorro de 45 kW en sentido Lleida. Esta instalación es suficiente para cumplir con lo dispuesto en el punto 2.11.4 del RD 635/2006, por lo que no se modifica el sistema de ventilación previsto en los dos tubos existentes.

Según este informe, los detectores de CO, NOx y los opacímetros funcionan correctamente, no ocurriendo lo mismo con los anemómetros, por lo que se contemplaría la posible sustitución de estos últimos.

18.6.2.4.3.5. Instalación proyectada para el tercer tubo del Túnel del Bruc

Para realizar el cálculo de ventilación en el nuevo tubo del túnel de El Bruc, se ha previsto una potencia de incendio de 30MW, tal y como se establece en el RD. 635/2006,

Este nuevo tubo en sentido Lleida cuenta con los siguientes parámetros de túnel:

- Longitud: 725 m
- Pendiente: -3%
- Sección: 100 m²
- Perímetro: 39,54 m
- Gálibo: 5.00 m
- Altura del túnel: 8,7 m
- Altitud: 522 m, no se detalla este dato en los nuevos datos enviados.
- 3 carriles
- Velocidad viento exterior: 10,3 m/s.

Tras realizar los cálculos considerando las premisas anteriormente citadas tenemos los siguientes datos:

- Velocidad crítica: 2,71 m/s con un caudal de 271,0 m³/s, para un incendio de 30 MW.

El empuje total a vencer por los ventiladores:

	Velocidad aire (m/s)	Wt (N)	Wch (N)	Wv (N)	Zf*Wf (N)	ZF*WF (N)	Entrada (N)	Salida (N)	EMPUJE (N)
Incendio	2,71	1417,0	173,4	6273,2	794,9	438,4	334,2	501,4	9932,6

Tabla 2.- Empuje a vencer nuevo tubo Sentido Lleida.

Teniendo en cuenta el empuje necesario a vencer por los ventiladores y los coeficientes de instalación de los ventiladores, se determina el número de ventiladores:

Empuje:	9.933 N
Veloc. de aire en túnel:	2,71 m/s
Coeficiente Ventilador	0,9
Coeficiente montaje	0,8
Coeficiente distancia	1

Se determina el número de ventiladores:

Modelo	Caudal (m ³ /s)	Velocidad aire (m/s)	Empuje (N)	Pot. Motor (Kw)	Velocidad (rpm)	Nº teórico	Nº recomend
Ø 1200	38,2	33,8	1487	45	1470	9,5	10+2

Tabla 3.- Nº ventiladores tubo nuevo.

Según los resultados, los ventiladores a instalar en el nuevo tubo serán 10 jet fan de 45 KW, más 2 jet fan en reserva, en total, 5 parejas más 1 pareja adicional de reserva.

18.6.2.4.3.6. Instalación proyectada para el nuevo falso túnel

Para este nuevo falso túnel de tres carriles de 265,17 m de longitud sentido Lleida se ha considerado una extrapolación de los resultados obtenidos para el tercer tubo. En base a ello, los ventiladores a instalar serán 4 jet fan de 45 KW, más 2 jet fan en reserva, en total, 2 parejas más 1 pareja adicional de reserva.

18.6.2.4.4. Sistema de presurización en nuevas salidas de emergencia

18.6.2.4.4.1. Introducción

Para las nuevas salidas de emergencia es necesario proyectar un sistema de ventilación, mediante la instalación de un sistema de presión diferencial que permita asegurar que dicho recinto queda libre de humos durante la evacuación de personas en el caso de incendio en el túnel.

De acuerdo con lo establecido por el Código Técnico de la Edificación (CTE), las vías de evacuación podrán protegerse mediante uno de los siguientes sistemas:

- Ventilación natural mediante ventanas practicables o huecos abiertos al exterior.
- Ventilación mediante conductos independientes de entrada y de salida de aire.
- Sistema de presión diferencial conforme a UNE EN 12101-6:2006.

Dada la estructura y tipología existente, la opción más adecuada es la instalación de un sistema de presión diferencial acorde a la norma UNE EN 12101-6 que permita mantener el interior de la vía de evacuación en sobrepresión, evitando la entrada de humos durante la evacuación, independientemente del tiempo que dure esta o del volumen de humos generados durante el incendio.

De este modo, los usuarios podrán evacuar el túnel a través de las salidas de emergencia y los servicios de emergencia podrán acceder con seguridad al túnel. Las puertas de acceso a la galería de evacuación serán de doble hoja, de 1,80m x 2,10m.

18.6.2.4.4.2. Descripción del sistema

La presurización se realizará mediante ventilador, convenientemente aislado del túnel en caso de incendio mediante compuerta cortafuegos. Según la norma UNE EN 12101-6, el valor mínimo de presión diferencial a mantener entre las áreas de alojamiento de un incendio y los sectores protegidos será de 50 Pa.

Este nivel de presión, que se debe mantener en caso de incendio mientras todas las puertas de acceso a las vías de escape permanezcan cerradas, es un compromiso de seguridad entre la presión necesaria para evitar la entrada del humo a través de las ranuras de dichas puertas, y la fuerza necesaria para abrir dichas puertas desde la zona de incendio hacia la vía de escape. Dicha fuerza necesaria para la apertura de las puertas deberá ser inferior a 100 N.

Por otro lado, en el momento en que se produzca la apertura de alguna de las puertas que comunique un sector presurizado con otro que no lo esté, se hace imposible mantener el citado nivel de presurización, por lo que se debe adoptar un segundo criterio de diseño, que se basa en obtener una velocidad de escape del aire de presurización a través de cualquier puerta abierta, superior a 0,75 m/s que según la actual norma UNE EN 12101-6 es el adecuado y suficiente para impedir la entrada del humo a las vías de escape. En este caso se estará considerando la evacuación de los pasajeros, y por lo tanto se tendrá en cuenta que están abiertas ambas puertas.

La existencia de dos situaciones distintas durante el incendio, un escenario de puertas cerradas y otro de puertas abiertas, implica aumentar el caudal de impulsión para obtener velocidades aceptables en caso de puertas abiertas, pero que durante el periodo en que las puertas permanezcan cerradas generarían una sobrepresión excesiva en el recinto presurizado.

Dicha presión excesiva podría dificultar la apertura de las puertas de emergencia, por ello se dispondrá de un variador de frecuencia que controle la velocidad de giro del motor del ventilador, permitiendo de este modo regular el caudal de aire trasegado en cada situación para mantener en todo momento la sobrepresión de 50 Pa.

El control del variador de frecuencia se hará en base a la lectura de una sonda de presión ubicada en la escalera, que será la que determinará las necesidades de caudal en base a mediciones constantes de presión. Además, el sistema de presión diferencial se deberá accionar automáticamente a través de la centralita de incendios.

El sistema dispondrá de una doble alimentación eléctrica. De esta forma se cumple con el artículo 11.6.2.1. de la UNE EN 12101-6 que exige una acometida eléctrica con fuente secundaria o alternativa de alimentación.

Además, como medida de seguridad adicional frente a sobrepresiones excesivas que pudieran dificultar la apertura de las puertas se ha previsto la instalación de una rejilla de sobrepresión (apta para mantener la sectorización), que en caso de superar una sobrepresión de 75 Pa libere el aire sobrante hacia el túnel.

En los cuadros de Protección y Maniobra se instalarán las protecciones magnetotérmicas y diferenciales reglamentarias.

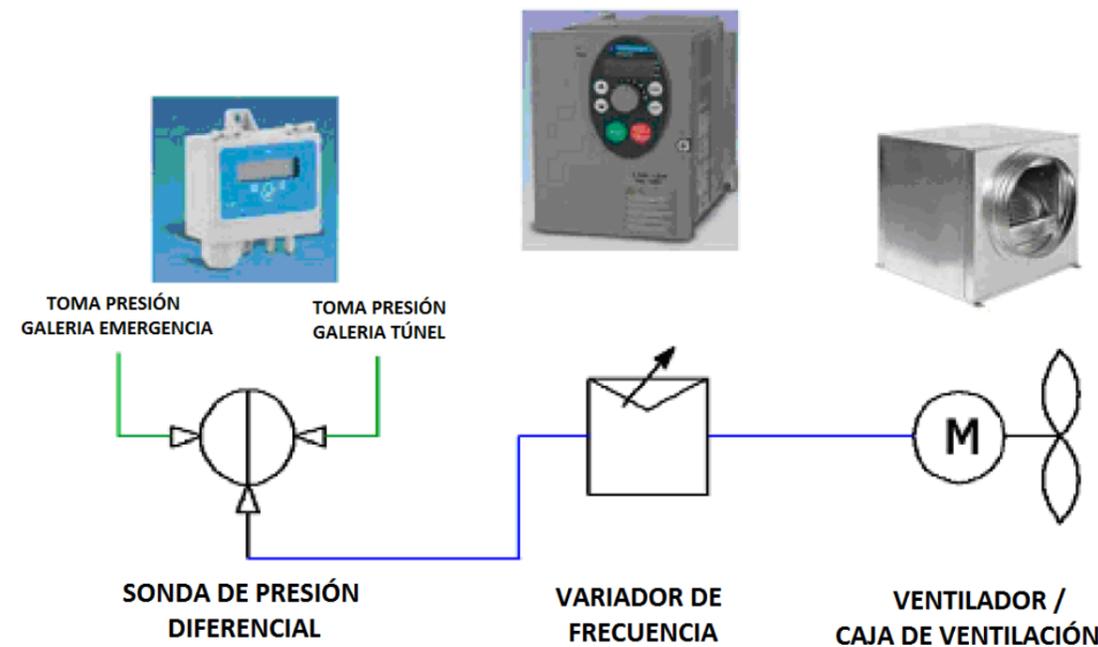


Ilustración 5.- Esquema presurización.

18.6.2.4.3. Metodología de cálculo

Para la definición de todos los parámetros y equipos que componen los sistemas de presurización de las salidas de emergencia será necesario realizar las siguientes acciones para cada una de las zonas a presurizar:

- Cálculo del caudal para hipótesis de puertas cerradas.
- Cálculo del caudal para hipótesis de puertas abiertas.
- Cálculo de pérdidas y dimensionado de conductos a partir del caudal más desfavorable.
- Selección de equipos a partir del caudal y presión más desfavorables de los anteriormente calculados.

Para determinar el caudal de impulsión necesario para dicho escenario, se considerarán unas rendijas perimetrales en las puertas de 2,00 mm de anchura.

Basándose en la tabla 3. " Datos de fuga de aire a través de puertas" de la UNE 12101-6 (Pág. 90), se estimará la máxima área de fuga y a partir del diferencial de presión se fijará un caudal de escape.

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

Tabla 3.- " Datos de fuga de aire a través de puertas" UNE 12101-6.

Además, y atendiendo a la norma, se incrementará este valor en un 50% para cubrir fugas no previstas, más un 15% adicional por posibles fugas a través de los conductos. Para el caso de puertas abiertas, el condicionante es que la velocidad a través de ellas sea suficiente para impedir la entrada de humos, como ya se ha comentado anteriormente. Nuevamente, se incrementará dicho valor en un 15% para cubrir posibles fugas a través de los conductos.

Una vez dimensionados los conductos, se procederá a la selección de los ventiladores teniendo en cuenta diversos factores:

- Caudal en el punto de diseño.
- Presión en el punto de diseño.
- Dimensiones y peso.
- Magnitud y tipología del consumo eléctrico.
- Características de control.

Al tratarse de equipos empleados en situación de emergencia, el ruido generado y las características acústicas no serán un factor determinante para la selección del equipo.

18.6.2.4.4.4. Solución Adoptada

En las salidas de emergencia se instalará un sistema independiente de presurización, compuesto por:

- Un variador de frecuencia y sensor de presión diferencial.
- Una caja de ventilación, que aspire aire del exterior y lo introduzca en el espacio protegido.
- Red de conductos.
- Rejilla y compuerta cortafuegos, para la entrada del aire limpio.
- Rejilla de sobrepresión.
- Sistema de control que permita su actuación automática por detección de incendio en cualquiera de los tubos.

Funcionamiento puertas cerradas

A continuación, se detalla el modo de operación del sistema.

En el momento que se reciba una señal de incendio desde la central de alarma, se activarán de manera automática los siguientes mecanismos:

- El ventilador se pondrá en marcha aportando el caudal necesario ya predeterminado.

- Cuando se supere la sobrepresión deseada de los 50 Pa, el variador de frecuencia adaptará el funcionamiento del ventilador a otro punto de trabajo, garantizando la fácil apertura de puertas en todo momento.
- El sistema quedará presurizado de manera que se evitará la entrada de humos a través de las rendijas de las puertas y se permitirá la fácil apertura de las puertas.

Funcionamiento puertas abiertas

El sistema entrará en esta etapa cuando se abra cualquiera de las puertas que dan acceso a la vía de evacuación. En el momento en que cualquiera de las puertas se abra, la presión caerá rápidamente, cambiando la lectura del sensor de presión diferencial. Será a partir de esta lectura de presión que el variador de frecuencia forzará al ventilador a trabajar en otro punto de diseño.

El sistema quedará así protegido frente a la entrada de humos de la siguiente manera:

- Puertas abiertas simultáneamente. Se conseguirá una velocidad de escape del aire de 0,75m/seg en cada puerta.

Fuerza de empuje sobre puertas

La fuerza necesaria para la apertura de las puertas será inferior a 100 N s/ UNE EN 12101-6. Esto se satisface para las dimensiones de las puertas de evacuación seleccionadas y las diferencias de presión entre ambos lados de la puerta de 50 Pa.

Alimentación eléctrica

Dada la importancia del funcionamiento de sus componentes, la alimentación eléctrica debe asegurarse incluso en situaciones de emergencia.

Interfaces del Sistema con la Protección Contra Incendio

El sistema de ventilación de las vías de evacuación tendrá la correspondiente conexión con la protección contra incendios, puesto que su actuación será automática cuando se detecte fuego.

18.6.2.4.5. Iluminación normal

18.6.2.4.5.1. Estado actual

Según el Informe de evaluación "INFORME DE EVALUACIÓN DE INSPECCIÓN Y PROPUESTA DE MEJORA TÚNEL DEL BRUC", con fecha del 24 de abril de 2020, que aparece en la BIT 2.1, cuya web es <https://www.bit2.es/> (Base de datos de inventario, incidencias e inspecciones en túneles de la R.C.E.), el túnel de El Bruc cuenta con un sistema de iluminación normal que emplea un sistema simétrico, compuesto por luminarias instaladas en el interior de los tubos en ambos hastiales del túnel.

El sistema de iluminación del túnel se controla mediante dos luminancímetros en cada una de las bocas, situados en los báculos de las luminarias exteriores.

Según este informe de evaluación, la medida de iluminación está por debajo del 70% de los valores necesarios en proyecto o en su defecto de las recomendaciones del Ministerio de Fomento para iluminación de túneles, con los siguientes valores:

- Uniformidad global < 0,3.
- Uniformidad longitudinal < 0,5.

Se recomienda una relación de uniformidad global de 0,4 y una relación de uniformidad longitudinal de 0,6 a lo largo del eje de cada carril, de acuerdo con la publicación CIE nº 115-1995.

Por lo tanto, se contempla la sustitución del alumbrado normal existente en el interior de los dos tubos para que se cumpla la normativa vigente, considerándose una actualización de la instalación puesto que el alumbrado existente está en buena parte constituido por luminarias VSAP y un sistema de control que no es de última generación. Las luminarias VSAP se están dejando de fabricar, aparte de tener estas un mayor consumo energético. Además, uno de los tubos existentes cambia de sentido con la ejecución del nuevo tercer tubo, y el alumbrado normal habría que reposicionarlo en el caso de que el sistema actual se mantuviera. Se aprovecharán las luminarias LED actualmente existentes en ambos tubos.

Según el informe de evaluación, para el alumbrado exterior de las bocas de entrada se tomaron unas medidas de 1,6 y 1,8 cd/m² en sentido Barcelona y Lleida respectivamente, por lo que la luminancia se considera correcta y no se considera su sustitución.

Se aporta un estudio de iluminación para la determinación del predimensionado de la iluminación normal en los tubos existentes y el de futura construcción. El resultado dirección Barcelona se adopta para los dos tubos existentes y el relativo a dirección Lleida para el tubo de futura construcción, así como para el nuevo falso túnel de tres carriles en la calzada dirección Lleida.

El valor de luminancia necesario al comienzo de la entrada del túnel (zona de umbral) tiene que basarse en el valor de luminancia de la zona de acceso (L₂₀) a una separación delante del túnel igual a la distancia de parada (SD).

Es necesario conocer el valor máximo de L₂₀ que se presenta con una frecuencia suficiente durante la mayor parte del año. Esta luminancia será, además, específica de la entrada de cada túnel y su zona de alrededor, puesto que, a iguales condiciones de luz diurna, túneles con distintas zonas de aproximación y alrededores presentarán L₂₀ distintas. A la hora de fijar esta luminancia en la zona de acceso al túnel se va a emplear la metodología L₂₀ que está descrito en la Orden Circular 36/2015 de 24 de febrero, sobre criterios a aplicar en la iluminación de carreteras a cielo abierto y túneles. Tomo II, Recomendaciones para la iluminación de túneles del MITMA.

La luminancia L₂₀ en la zona de acceso se define como la medida de los valores de luminancia medidos en un campo de visión cónico, que subtende un ángulo de 20º (2x10º), por un observador situado en el punto de referencia y mirando hacia un punto centrado a una altura igual a una cuarta parte de la altura de la abertura del túnel.

Esta luminancia media es considerada tradicionalmente como representativa del estado de adaptación del ojo de un conductor que se aproxima a la entrada del túnel cuando se encuentra en el punto de referencia y es usada como una base para calcular la luminancia en la zona de entrada.

En este método, la evaluación de L₂₀ se obtiene a partir de un croquis de los alrededores de la entrada del túnel y se calcula con ayuda de la fórmula:

$$L_{20} = \gamma \cdot L_c + \rho \cdot L_R + \varepsilon \cdot L_E + \tau \cdot L_{th}$$

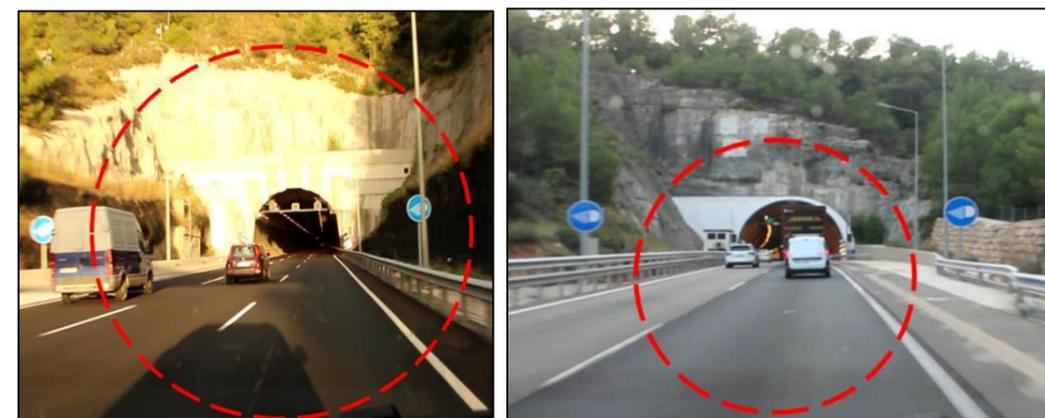
Donde:

- L_c: luminancia de cielo;
- g= % de cielo;
- L_R: luminancia de calzada;
- ρ= % de calzada;
- L_E: luminancia de entorno;
- e= % de entorno;
- L_{th}: luminancia de zona de umbral;
- τ= % de entrada de túnel;

cumpléndose:

$$\gamma + \rho + \varepsilon + \tau = 1$$

De acuerdo con las características del Túnel de El Bruc, su distancia de parada (SD) es de 91 metros en sentido Barcelona y de 107 metros en sentido Lleida. Con este valor, el croquis obtenido en ambas bocas se adjunta a continuación:



Se obtienen, por tanto, los siguientes valores de L₂₀ para ambas bocas del Túnel de El Bruc:

- L₂₀ boca Lleida: 3416,40 cd/m²
- L₂₀ boca Barcelona: 3260,00 cd/m²

A la hora de obtener el valor de luminancia umbral (valor que se comparará con las mediciones realizadas en el túnel), según la Orden Circular 36/2015 del Ministerio de Fomento se debe clasificar el túnel según su intensidad y tipo de tráfico.

Dado que el Túnel de El Bruc tiene unas IMD diarias de 7.236 y 9.979 vehículos/día/carril, se puede considerar que su intensidad de tráfico en la hora punta estimada (IH 100) es media (998 vehículos/hora carril):

Intensidad de tráfico	Tráfico unidireccional (vehículos/hora·carril)	Tráfico bidireccional (vehículos/hora·carril)
Alta	>1.500	>700
Media	500-1500	200-700
Baja	<500	<200

Tabla 4.- Clasificación del túnel según la intensidad de tráfico.

Según el tipo de tráfico, se consideran dos tipos distintos de túnel:

- A: Sólo tráfico motorizado
- M: Tráfico mixto, incluyendo bicicletas

En el caso del Túnel de El Bruc, dado que no está permitido el tráfico de bicicletas, se considera tráfico de tipo A. Por tanto, según las dos clasificaciones mencionadas, el alumbrado del Túnel de El Bruc es de clase 2:

Intensidad de tráfico	Alta		Media		Baja	
	M	A	M	A	M	A
Tipo de tráfico						
Clase de túnel	4	3	3	2	2	1 (guiado)

Tabla 5.- Clasificación del alumbrado del Túnel de El Bruc.

Para determinar finalmente el valor de la luminancia de umbral L_{TH} , se debe establecer el valor del coeficiente k (relación entre L_{TH} y L_{20}). Para ello, se consultó la siguiente tabla:

Clase de túnel	Distancia de parada D_p^* (m)		
	≤ 60	100	≥ 160
4	0,05	0,06	0,1
3	0,04	0,05	0,07
2	0,03	0,04	0,05
1	No hay requisitos (solamente orientación del alumbrado)		

Tabla 6.- Valor de k para el Túnel de El Bruc.

Por tanto, una vez obtenidos el valor de L_{20} y del coeficiente k , el valor de luminancia umbral para cada una de las bocas del Túnel de El Bruc es de:

- L_{TH} boca Lleida: 136,65 cd/m²
- T_H boca Barcelona: 130,40 cd/m²

Por último, en la OC 36/2015 se establecen los niveles de luminancia media para la zona interior de los túneles, según la clase de alumbrado que dispongan:

Clase de túnel	Distancia de parada D_p^* (m)		
	≤ 60	100	≥ 160
4	3	6	10
3	2	4	6
2	1,5	2	4
1	**	0,5	1,5

Tabla 7.- Luminancia media mínima en zona interior del Túnel de El Bruc.

18.6.2.4.5.2. Instalación proyectada

La instalación de alumbrado normal, tanto en los tubos existentes como en el tubo nuevo a ejecutar y el nuevo falso túnel, se proyecta para dar cumplimiento a las exigencias del RD 635/2006. Para el diseño de la propuesta, se han tenido en cuenta la Norma UNE 14380 y las Recomendaciones para la iluminación de carreteras y túneles del MITMA (Orden Circular 36/2015). Se ha adoptado el criterio más restrictivo cuando no han sido coincidentes.

Se plantea la iluminación mediante proyectores LED. Para conseguir los diferentes niveles de iluminación exigidos para cada túnel, se ha contemplado un sistema de control adaptativo de la iluminación gestionado en conexión con el SCADA ubicado en el centro de control. Compuesto por un ordenador industrial y dos PLC, uno para los inputs y el otro que gestiona las interfaces del sistema de controladores DALI/1-10 V, que se regirá en función de los valores recogidos por los luminancímetros situados en cada boca del túnel y en su interior, complementados por un reloj astronómico.

El control de los diferentes estados de iluminación de los túneles se realizará en función de la meteorología exterior y de la franja horaria, y se realizará gestionando los *drivers* de cada uno de los proyectores de los diferentes circuitos con un porcentaje fijo de regulación.

18.6.2.4.6. Iluminación de seguridad

Al sustituirse el alumbrado normal de los tubos existentes en el túnel de El Bruc, la iluminación de seguridad de estos se verá afectada en consecuencia, teniendo que proyectarse un nuevo sistema tanto para los tubos existentes como para el tubo nuevo y el nuevo falso túnel.

La instalación de alumbrado de seguridad se proyecta para dar cumplimiento a las exigencias del RD 635/2006.

Las luminarias del alumbrado de seguridad del túnel se proyectan que sean de tipo LED, al igual que las de alumbrado normal. De este modo el sistema de control adaptativo gestionado por el SCADA tendrá una mayor flexibilidad frente a posibles incidencias o averías. Asimismo, se simplifican las operaciones de mantenimiento, así como la gestión de repuestos.

Se contempla la conexión de las luminarias del alumbrado de seguridad por medio de cableado resistente al fuego (de alta seguridad aumentada AS+) con clase de reacción al fuego mínima Cca-s1b,d1,a1, para asegurar su funcionamiento en caso de incendio. Además, se contará con Sistema de Alimentación Ininterrumpida (SAI) para su funcionamiento en caso de fallo del suministro eléctrico.

18.6.2.4.7. Iluminación de emergencia

18.6.2.4.7.1. *Estado actual*

Según el Informe de evaluación "INFORME DE EVALUACIÓN DE INSPECCIÓN Y PROPUESTA DE MEJORA TÚNEL DEL BRUC", con fecha del 24 de abril de 2020, que aparece en la BIT 2.1, cuya web es <https://www.bit2.es/> (Base de datos de inventario, incidencias e inspecciones en túneles de la R.C.E.), el túnel de El Bruc dispone de un sistema de luminarias de emergencia que se iluminan en caso de fallo de suministro eléctrico. Debido a la gran interdistancia existente entre estas se registran valores de 0 lux en el punto medio entre ellas, lo cual se encuentra por debajo de lo que marca la normativa (10 lux). Por tanto, no se cumple con lo establecido en el punto 2.10.3 del RD 635/2006.

18.6.2.4.7.2. *Instalación proyectada*

Para el nuevo falso túnel y para el tercer tubo nuevo que se ejecutará en el Túnel de El Bruc, así como para la sustitución del sistema de alumbrado de emergencia en los tubos existentes, la instalación de alumbrado de emergencia se proyecta para dar cumplimiento a las exigencias del RD 635/2006, en cuyo apartado 2.10.3 del Anexo I prescribe: "La iluminación de emergencia, estará a una altura no superior a 1,5 metros y deberá proyectarse de modo que permita guiar a los usuarios del túnel para evacuarlo a pie con un mínimo de 10 lux y 0,2 cd/m²."

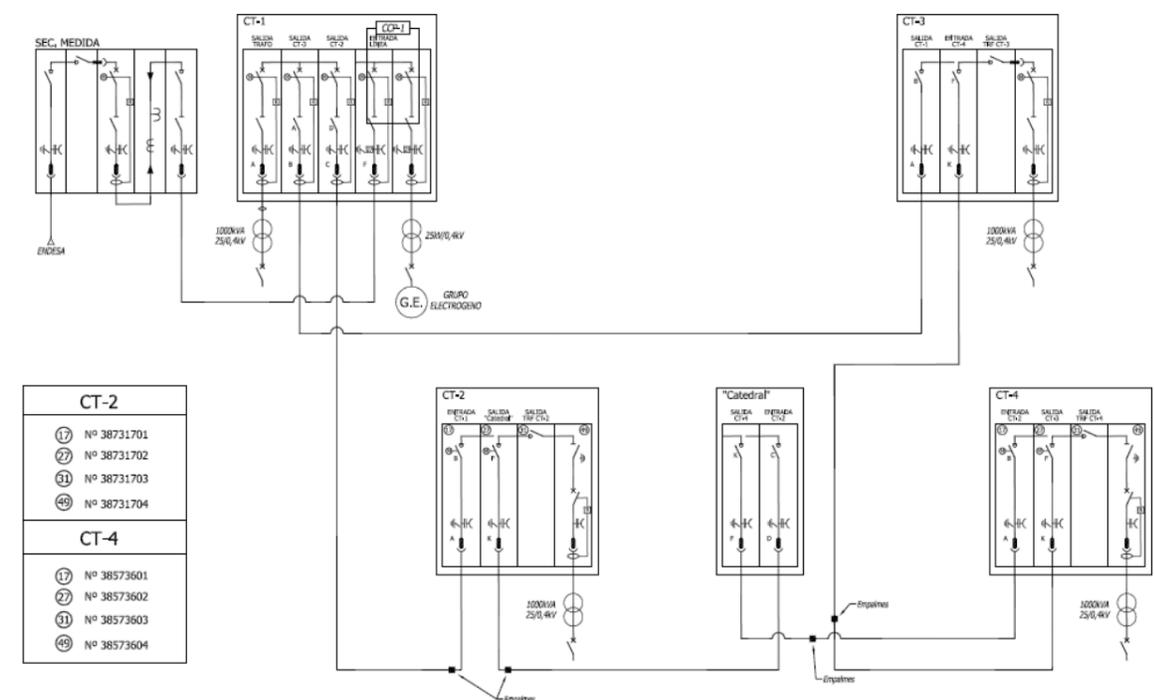
Se proyectan luminarias de emergencia LED de 2.400 Lm en ambos hastiales de los tubos de los túneles. A una interdistancia de 12,50 metros y una altura de 0,90 metros. El cableado será resistente al fuego (AS+), con una clase de reacción al fuego mínima Cca-s1b,d1,a1.

Las luminarias vendrán equipadas con un *driver*, lo cual permitirá su conexión a un PLC o a una ERU, mediante controladores de luminarias (tipo DALI, 1-10V, etc.). El PLC, a su vez, se conectará al SCADA del centro de control del túnel. De este modo, las luminarias serán telemandadas desde el centro de control, recomendándose la automatización de su encendido en caso de incidente y que además pueda dar servicio en caso de fallo del suministro eléctrico durante una hora, mediante batería autónoma incorporada a la propia luminaria.

18.6.2.4.8. Doble suministro eléctrico e instalación eléctrica en AT y BT

18.6.2.4.8.1. *Estado actual*

El suministro de energía es proporcionado actualmente a través de una doble línea de alimentación en alta tensión (25 KV) de la empresa suministradora, procedente de la misma subestación eléctrica de compañía, que suministra al centro de control y a los CT de 1.000 KVA cada uno situados en las bocas de los tubos existentes, los cuales están interconectados por un anillo de alta tensión a 25 KV. Su esquema unifilar en alta tensión es el siguiente:



El hecho de que ambas acometidas a los CT del túnel provengan de la misma subestación eléctrica no implica en absoluto que no estemos ante un doble suministro. Para ello no hay más que contemplar los modelos, tanto de explotación como de arquitectura (estructura topológica) de las redes de alta tensión que aplican las empresas distribuidoras de electricidad de ámbito nacional. Los cuales afectan a los esquemas tipo y modo de explotación de las subestaciones, así como a los criterios de seguridad de la red.

La estructura de la red será mallada, siendo su explotación siempre mallada para el caso de redes de tensión de 132 y 220 kV, y preferentemente mallada para las redes de 66 y 45 kV, ya que en este tipo de redes circunstancias como la superación de la intensidad nominal o de cortocircuito de algún elemento, o la existencia de recirculaciones debidas a mallas paralelas pueden ser motivos suficientes para que sean explotadas de forma radial. Su arquitectura cumplirá los siguientes criterios de fiabilidad:

a) Ante el fallo simple de un elemento (situación N-1), entendiéndose por un elemento una línea o un transformador, y ante una condición de carga lo más desfavorable posible la red deberá ser capaz de abastecer a todo el mercado, sin superar nunca el 120% de la corriente nominal tanto el caso de las líneas aéreas de 132, 66 y 45 kV como en el caso de transformadores de tensión primaria 132, 66 y 45 kV, el 115% de la corriente nominal en líneas aéreas de 220 kV, el 110% de la corriente nominal en transformadores con tensión primaria de 220 kV, ni se deberá superar el valor de corriente nominal en las líneas subterráneas.

b) En el supuesto de fallo de barras, para el caso de una subestación con barra simple este fallo se cubrirá mediante equipos móviles y mediante el apoyo de redes de tensión inferior. Si el fallo se produce en una subestación de doble barra, la barra que está disponible podrá asumir todo el servicio ya que el diseño de la apartamentación permitirá pasar toda la explotación a la barra que no ha sufrido el fallo.

c) En caso de fallo de más de un elemento (situación de fallo superior a N-1) se podrá recuperar un mínimo del 60% del mercado a través de media tensión.

Existen una serie de estructuras preferentes que se emplearán para alcanzar los objetivos descritos anteriormente: puente, antena, bucle o derivación en T. La descripción de las mismas puede consultarse en la bibliografía técnica especializada.

En el caso de fallo de transformadores AT/MT –entendiendo por MT tensiones de 30KV o inferiores, pero superiores a 1KV, siendo 20KV la tensión preferente– se puede recurrir también al apoyo de la red de MT de la empresa suministradora. La estructura de la red de MT tendrá carácter mallado en zonas urbanas (normalmente con cables subterráneos) mientras que para el caso de zonas rurales su topología será radial (normalmente con líneas aéreas). La explotación de la red será, por motivos de seguridad y de simplicidad en la operación, radial en ambos casos.

Lo anterior puede sintetizarse en que las subestaciones, para cumplir las diversas regulaciones sobre seguridad en el suministro eléctrico, ofrecen *per se* una seguridad superior a la de un doble suministro. Es decir, aseguran un 100% de seguridad de suministro para caso de fallo de un transformador (N-1) y un mínimo del 60% para el caso de fallo de más de un elemento (fallo N-2 o superior). No se mejoraría la situación exigiendo que las dos acometidas provengan de transformadores o embarrados distintos de la subestación.

El anillo que interconecta los CT tiene la finalidad de que, si se produce un corte en la línea de alimentación, la corriente eléctrica disponga de un camino alternativo para alimentar eléctricamente a los diferentes equipos de los túneles y del centro de control. Está compuesto por conductores de aluminio de 4x150 mm² (18/30 KV). El control del sistema se efectúa mediante un software específico que realiza las conmutaciones de modo automático.

El actual sistema de energía del túnel está formado por cuatro transformadores de 1.000KVA y un grupo electrógeno que actúa en caso de fallo de suministro eléctrico, con 1.600 KVA de potencia. El grupo electrógeno es capaz de mantener en servicio los circuitos de alumbrado permanente (iluminación de seguridad según RD635/2006) de los dos tubos existentes, alimentar en modo degradado los ventiladores instalados y suministrar la energía necesaria al centro de control. El

generador trabajará a 400 V y un transformador elevador dejará la energía a 25 KV, con lo que se podrá alimentar de forma ordinaria el anillo de interconexión de los CT, cuando falle el suministro de la red de la compañía suministradora y la duración de la anomalía sea superior a 500 milisegundos.

Además, en cada CT hay un SAI de 40 KVA Dual, para cubrir los servicios mínimos de suministro en caso de corte o microcorte en la red eléctrica.

No se dispone de batería de condensadores, y se proyecta la colocación de un sistema de compensación de energía reactiva puesto que los valores del factor de potencia se encuentran por debajo de 0,95.

El sistema de suministro eléctrico existente carece de cableado resistente al fuego para los servicios críticos.

18.6.2.4.8.2. Balance de potencias

Consideraciones, criterios e hipótesis de partida:

- Número de transformadores y unidades de autogeneración

Se optará por fraccionar la potencia en varias unidades antes que optar por unidades de gran potencia, dentro de parámetros económicos aceptables.

- Elementos BT (ventiladores longitudinales y otras cargas significativas)

- Ventiladores longitudinales

Los cálculos tendrán en cuenta el funcionamiento simultáneo del 100% de los mismos en el tubo existente en funcionamiento nominal. Se considerará un arranque con un factor de 2.5 veces la corriente nominal. Se tendrá en cuenta el algoritmo de puesta en marcha de la ventilación.

Se tendrá en cuenta la limitación de potencia punta considerando el factor de potencia en el arranque, así como la caída de tensión provocada por la aparición brusca de la sobrecorriente.

En base al dimensionado de la ventilación y a la experiencia acumulada se estima una potencia en el CT del nuevo túnel de 1.250 KVA.

18.6.2.4.8.3. Dimensionado de transformadores

Para la elección de la potencia asignada del transformador se tendrá en cuenta la máxima demanda estimada de potencias activa y reactiva con las baterías de condensadores desconectadas, añadiendo a las mismas las pérdidas del transformador en potencia activa y reactiva.

En el caso de transformadores que proporcionen servicio a motores, y con el fin de evitar que el transformador sufra una caída de carga significativa durante el transitorio de arranque, se procederá al sobredimensionamiento del mismo entre un 15-20%.

La estimación de potencias se realiza de acuerdo con las siguientes expresiones:

- Potencia activa requerida en el primario,

$$P_p = \frac{S_N \cdot \cos\varphi}{\eta}$$

Donde:

- S_N : potencia aparente nominal

- Pérdidas reactivas en el hierro,

$$Q_{Fe} = \frac{S_N \cdot I_{q6}}{100}$$

- Pérdidas reactivas en el cobre,

$$Q_{Cu} = \frac{S_N \cdot u_{CC}}{100}$$

- Potencia reactiva requerida en el primario,

$$Q_p = Q_s + Q_{Fe} + Q_{Cu}$$

$$Q_s = S_N \cdot \sin\varphi$$

- Ratio de potencia demandada,

$$F = \frac{\sqrt{(P_p)^2 + (Q_p)^2}}{S_N}$$

- Potencia aparente máxima permitida en el secundario,

$$S_{max} = \frac{S_N}{F \cdot \left(1 + \left(\frac{R}{100}\right)\right)}$$

En base al dimensionado de la ventilación y a la experiencia en el proyecto reciente de numerosos túneles, estimamos que será necesario un C.T. de 1.000 KVA para el nuevo (tercer) tubo y de 630 KVA para el falso túnel.

18.6.2.4.9. Generadores de emergencia

18.6.2.4.9.1. *Instalación actual*

Según el Informe de evaluación "INFORME DE EVALUACIÓN DE INSPECCIÓN Y PROPUESTA DE MEJORA TÚNEL DEL BRUC", con fecha del 24 de abril de 2020, que aparece en la BIT 2.1, cuya web es <https://www.bit2.es/> (Base de datos de inventario, incidencias e inspecciones en túneles de la R.C.E.), actualmente, el Túnel de El Bruc dispone de un grupo electrógeno de 1.600 kVA, que hace la función de suministro alternativo de energía. El grupo electrógeno instalado proporciona una alimentación a 400V, la cual mediante un transformador aumentador 0,4 / 10 Kv, inyecta la electricidad en el anillo de Media Tensión. Este grupo se encuentra instalado en una sala independiente.

En este informe de evaluación, se confirma que este grupo electrógeno es conforme, teniendo una autonomía superior a 6 horas.

18.6.2.4.9.2. *Instalación proyectada*

Para el tercer tubo que se ejecutará en el Túnel de El Bruc, así como para el nuevo falso túnel, se describe a continuación la instalación a proyectar.

Las cargas alimentadas desde los grupos electrógenos serán aquellas que admitan un tiempo de interrupción igual o superior a 15 segundos y que sean requeridas durante la emergencia de la instalación.

Se instalarán grupos electrógenos trifásicos para potencia ISO "Limited Time Running Power" (LTP), es decir, potencia para servicio de emergencia (ISO 8528-1).

Se adoptarán las siguientes consideraciones, hipótesis y criterios de partida:

- No será necesario sobredimensionar el grupo por posibles interferencias en el alternador debido a distorsión armónica.
- El motor del grupo podrá operar hasta 1.500 m sin "desclasificación". Tampoco será "desclasificado" por humedad o temperatura ambiente. El alternador del grupo será "desclasificado" según la temperatura atendiendo a la siguiente tabla:

Ambiant temperature						
ALTITUDE	25 °C	40 °C	45 °C	50 °C	55 °C	60 °C (*)
0 to 1000 m	1.045	1	0.97	0.94	0.91	0.88
1001 to 1500 m	1.01	0.97	0.94	0.91	0.88	0.85
1501 to 2000 m	0.98	0.94	0.91	0.88	0.86	0.83
2001 to 2500 m	0.95	0.91	0.88	0.86	0.83	0.8
2501 to 3000 m	0.91	0.87	0.84	0.82	0.79	0.77

Tabla 8.- Temperatura ambiente en función de la altitud.

- La potencia necesaria del grupo contemplará tanto la potencia activa como aparente de la carga, así como la limitación de inserción de carga en primer escalón. Para ello se tiene en cuenta el consumo de las cargas, tanto en arranque como en funcionamiento continuo, así como la simultaneidad de las mismas.

Se integrará el control del sistema de energía del túnel en la actual aplicación de control.

Se plantea, tanto para el tercer tubo como para el falso túnel, un generador en BT independiente del sistema de generación existente. El aprovechamiento del esquema existente requeriría cambiar el generador existente de 1.600KVA así como el CT elevador de tensión existente, lo cual es mucho más costoso que instalar un generador directamente conectado al CGBT del nuevo tubo o del falso túnel, según corresponda.

En base al dimensionado de la ventilación y a la experiencia en el proyecto reciente de numerosos túneles, estimamos que será necesario un generador de 800KVA para el nuevo (tercer) tubo y de 500 KVA para el falso túnel.

18.6.2.4.10. Sistema de Alimentación Ininterrumpida (SAI)

18.6.2.4.10.1. Instalación actual

Según el Informe de evaluación “INFORME DE EVALUACIÓN DE INSPECCIÓN Y PROPUESTA DE MEJORA TÚNEL DE EL BRUC”, con fecha del 24 de abril de 2020, que aparece en la BIT 2.1, cuya web es <https://www.bit2.es/> (Base de datos de inventario, incidencias e inspecciones en túneles de la R.C.E.), actualmente, el Túnel de El Bruc dispone de un SAI para cada uno de los cuadros, de 40 kVA, para evitar el corte de suministro a los equipos de control y sistemas críticos durante la transición entre el suministro principal y el alternativo.

Según este informe, este sistema de alimentación ininterrumpida funciona correctamente.

18.6.2.4.10.2. Instalación proyectada

Para el tercer tubo nuevo que se ejecutará en el Túnel de El Bruc, se instalará un sistema de alimentación ininterrumpida (SAI) de 80KVA (potencia estimada en base a proyectos recientes similares) para suministrar energía eléctrica a los equipos críticos –alumbrado de seguridad, SCADA, circuitos de señalización y control. DAI, comunicaciones, etc. – en caso de corte o microcorte de la red eléctrica.

Para el falso túnel que se ejecutará en la calzada dirección Lleida, se instalará un sistema de alimentación ininterrumpida (SAI) de 60KVA (potencia estimada en base a proyectos recientes similares) para suministrar energía eléctrica a los equipos críticos –alumbrado de seguridad, SCADA, circuitos de señalización y control. DAI, comunicaciones, etc. – en caso de corte o microcorte de la red eléctrica.

18.6.2.4.11. Detectores de CO, Opacímetros y Anemómetros

18.6.2.4.11.1. Instalación actual

Según el Informe de evaluación “INFORME DE EVALUACIÓN DE INSPECCIÓN Y PROPUESTA DE MEJORA TÚNEL DEL BRUC”, con fecha del 24 de abril de 2020, que aparece en la BIT 2.1, cuya web es <https://www.bit2.es/> (Base de datos de inventario, incidencias e inspecciones en túneles de la R.C.E.), actualmente, el Túnel de El Bruc dispone de 4 sensores que miden tanto el nivel de CO como la opacidad, solo existiendo incoherencia en los valores medidos por los detectores de CO u opacímetros en menos de un 25% de los equipos, dando la conformidad a este sistema.

Asimismo, el túnel dispone de 2 anemómetros interiores en cada uno de los tubos existentes.

18.6.2.4.11.2. Instalación proyectada

Para el nuevo falso túnel dirección Lleida y para tercer tubo nuevo que se ejecutará en el Túnel de El Bruc se proyectará un sistema de detección de gases.

Detectores de CO. Descripción del sistema

Para la detección de CO se instalarán sensores electroquímicos. Es un sistema basado en la medición de la concentración de esos gases mediante la aspiración del aire del túnel, que se lleva hasta una cámara analizadora que da como salida la concentración de CO del gas aspirado. Dentro de la cámara, que tiene dos electrodos, se producen reacciones electroquímicas. La concentración de los gases influye sobre la corriente eléctrica entre los electrodos variando la corriente. Estos detectores enviarán la información a la Estación Remota Universal, la cual a su vez la reenviará al Centro de Control.

Este conjunto de sensores que se ubicarán en los distintos puntos de muestreo del túnel se completará con un armario concentrador de señal que centraliza las señales de medida para transmitirla al PLC (controlador lógico programable). De modo más concreto, se situarán los filtros de chapa embutido con elementos filtrantes en los puntos de muestreo previstos, uniendo el filtro de toma de muestra con el armario detector por medio de tubo de aspiración de PVC de 4 x 8 mm de diámetro. El armario detector quedará situado en el nicho en el hastial del túnel.

La altura de instalación de dichos equipos será a 1,5 m aproximadamente sobre el nivel del suelo. Para alimentar a estos equipos se dispondrá de una fuente de alimentación de 12 a 30 Vcc para cada punto de muestreo, la cual es alimentada desde el cuadro eléctrico ubicado en el cuarto técnico.

La señal de medida (4 a 20 mA) de los detectores de gases de los puntos de muestreo será recogida por un concentrador de señal. Este concentrador estará conectado a un bus RS-485 apantallado que

conectará con el PLC. La transmisión de la información de los sensores llegará al Centro de Control a través de la red de comunicaciones prevista.

Opacímetros. Descripción del sistema

Los opacímetros tienen por objeto medir la cantidad de partículas sólidas en suspensión en el aire.

Para medir la calidad del aire de los distintos tramos en el interior del túnel, se ubicará en el punto intermedio del túnel, en el hastial derecho en función de la marcha de los vehículos, un opacímetro, situándose a una altura comprendida entre 3,5m y 4,5m sobre la acera. El montaje se realizará mediante soporte mural incorporado en una placa vertical sobre el hastial mediante cuatro tornillos.

El opacímetro contará con un sistema de calentamiento de aire de modo que evite falsas alarmas motivadas por nieblas. Cada dispositivo de medición estará equipado con una caja de conexión que permitirá asignar los cables a los respectivos bornes.

Desde cada caja de conexión saldrá un cable de 3 x 1,5 mm² que conectará con la fuente de alimentación de 12 a 30 Vcc y con el concentrador de señal de los puntos de muestreo común a los sensores de gas. El concentrador de señal se conectará al bus RS 485 que conecta con el PLC correspondiente.

Anemómetros

Para la detección de la velocidad y la dirección del aire en el interior del túnel se emplearán anemómetros de ultrasonidos.

Principio de funcionamiento

El anemómetro previsto operará según el principio de la medición diferencial del tiempo de propagación del ultrasonido. Las unidades de transmisión/recepción se montan en los dos lados de un túnel en un determinado ángulo de inclinación respecto al flujo.

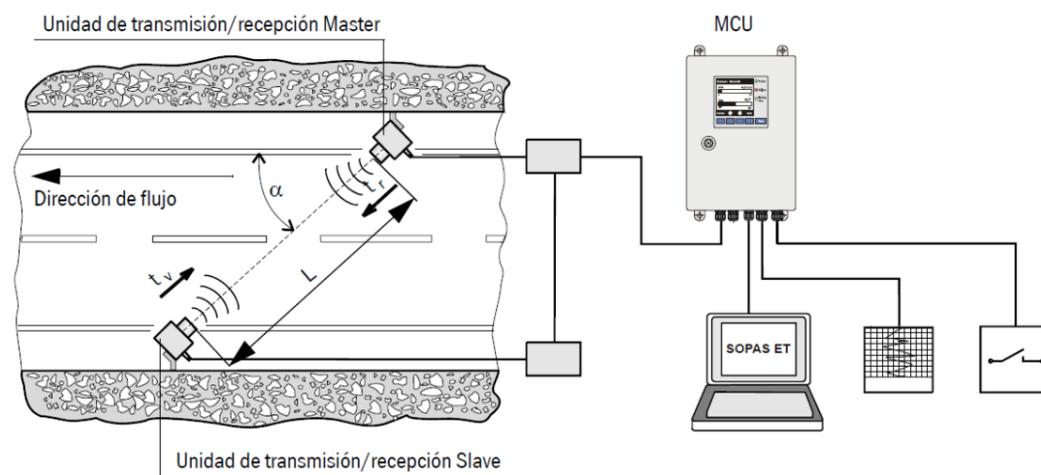


Ilustración 6.- Principio funcionamiento anemómetros.

Las unidades de transmisión/recepción contienen transductores ultrasónicos piezoeléctricos, que operan alternativamente como transmisor y receptor. Los impulsos de sonido se emiten en el ángulo α respecto a la dirección de flujo. Dependiendo del ángulo α y de la velocidad de flujo resultan diferentes tiempos de propagación debido a "efectos de arrastre y frenado" para la respectiva dirección del sonido. Los tiempos de propagación de los impulsos de sonido se diferencian cada vez más, cuanto más alta sea la velocidad de flujo y cuanto menor sea el ángulo respecto a la dirección de flujo.

La velocidad de flujo "v" se calcula a partir de la diferencia de ambos tiempos de propagación independientemente del valor de la velocidad del sonido. Por lo tanto, las alteraciones de la velocidad del sonido a causa de variaciones de presión o temperatura no tienen influencia en la velocidad de flujo calculada con este método de medición.

Arquitectura del sistema

Para medir la velocidad y dirección del aire de los distintos tramos en el interior del túnel, se ubicará en el punto intermedio del túnel, en ambos hastiales, un conjunto de anemómetro situando a una altura comprendida entre 3,5m y 4,5m sobre la acera. El montaje se realizará mediante soporte que sirve tanto para el montaje de la unidad de transmisión/recepción, como para permitir alinear el equipo entre sí con la precisión exigida. El soporte se fija en la pared del túnel mediante tornillos.

Cada conjunto de anemómetros está compuesto por:

- 2 unidades de transmisión/recepción.
- 2 soportes para la unidad de transmisión recepción.
- 1 unidad de control.
- Cables de conexión.
- Pequeñas piezas de montaje.

Desde cada caja de conexión saldrá un cable que conectará con la unidad de control la cual conectará con el PLC, para de este modo obtener la información.

18.6.2.4.12. Cable para Detección de incendios

18.6.2.4.12.1. *Instalación actual*

Según el Informe de evaluación "INFORME DE EVALUACIÓN DE INSPECCIÓN Y PROPUESTA DE MEJORA TÚNEL DEL BRUC", con fecha del 24 de abril de 2020, que aparece en la BIT 2.1, cuya web es <https://www.bit2.es/> (Base de datos de inventario, incidencias e inspecciones en túneles de la R.C.E.), actualmente, el Túnel de El Bruc dispone de un sistema de detección de incendios.

En el Túnel de El Bruc se encuentra instalado un cable sensor de incendios para la detección de incendios. Es un sistema de cable sensor con temperatura de funcionamiento de -40°C a 85°C, con

detección de hasta 200°C en un corto periodo de tiempo. Este sistema se exige de acuerdo con la clasificación del túnel otorgada por el RD 635/2006.

Se cuenta con 11 zonas de detección en sentido Barcelona y 8 en sentido Lleida. Estas zonas se controlan mediante una centralita situada en el local de baja tensión del local Técnico 1.

Aunque se disponga de zonas en el interior del túnel, el cable sensor dispone de sensores cada 8 metros. En cada uno de los locales técnicos del Túnel de El Bruc se encuentra instalado un sistema de detección de incendios, con detectores de humos y pulsadores.

Según este informe de evaluación, este sistema de detección de incendios en los locales técnicos funciona correctamente.

18.6.2.4.12.2. Instalación proyectada

Para el nuevo falso túnel dirección Lleida y para el tercer tubo nuevo que se ejecutará en el Túnel de El Bruc, se contempla la instalación de un sistema de detección lineal de incendios en el interior del túnel, capaz de detectar la presencia de un incendio y el punto donde se está produciendo.

El sistema elegido es un cable sensor, sellado herméticamente, que contiene pequeños circuitos híbridos. Su cubierta es sin halógenos y no es propagador de la llama. En caso de incendio, no se produce goteo de material.

Los circuitos híbridos están compuestos por un circuito integrado con una dirección definida y un sensor de temperatura semiconductor. Los híbridos están conectados eléctricamente por un cable plano flexible

El cable plano flexible, así como los puntos de medida de temperatura están recubiertos por un relleno que, a su vez, está protegido por una pantalla de aluminio, haciéndole inmune contra las interferencias electromagnéticas (EMI), y acabado por una cubierta externa, ignífuga y sin halógeno, la cual completa la estructura totalmente sellada del cable sensor.

El cable puede medir temperaturas desde -40°C hasta +85°C (incluso hasta +200°C durante un periodo corto), con una resolución de 0,1°. Al no necesitar mantenimiento, ni instalación específica, el cable sensor puede ser utilizado en lugares sin acceso o difícilmente accesibles durante su funcionamiento. La unidad de control interroga constantemente a los sensores de temperatura, de modo que se realiza un chequeo funcional constante del sistema.

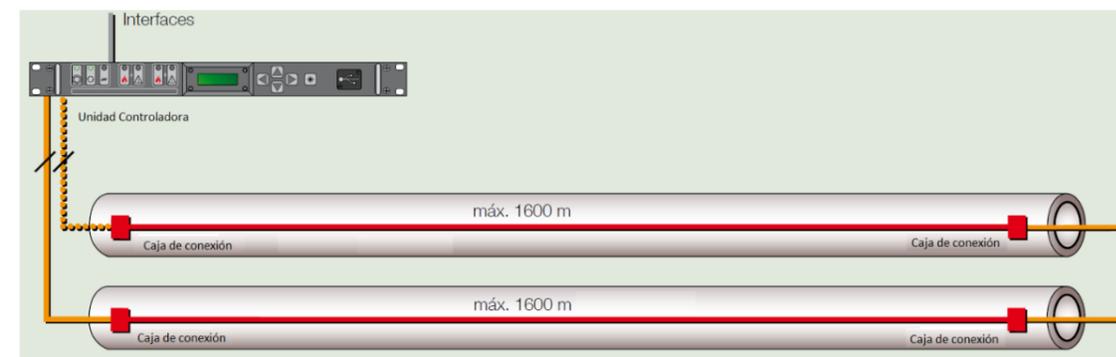


Ilustración 71.- Pictogramas señalización de evacuación en los túneles.

Para la instalación del cable se utilizarán clavijas de autocierre a una interdistancia de un metro. Esto es posible gracias a la rigidez del cable. El sistema permite una detección rápida del incendio en el túnel (lectura constante e información en 10 segundos) así como precisa, ya que cada sensor del cable tiene su propia dirección IP y permite por lo tanto la localización precisa del incendio.

Es un sistema adecuado a las condiciones adversas de instalación en un túnel; esto es: polvo, humedad, grasa, suciedad, humos, etc. Puede ampliarse en caso de ser necesario. La temperatura máxima de operación para la unidad controladora es de + 70° C. Esta se ubicará en un cuarto técnico. Las alarmas detectadas por el sistema de detección lineal se integran en el sistema de gestión del túnel o SCADA, de modo que pongan en funcionamiento ciertos protocolos como el de ventilación de incendios.

18.6.2.4.13. Detección automática de incidentes

18.6.2.4.13.1. *Instalación actual*

Según el Informe de evaluación "INFORME DE EVALUACIÓN DE INSPECCIÓN Y PROPUESTA DE MEJORA TÚNEL DEL BRUC", con fecha del 24 de abril de 2020, que aparece en la BIT 2.1, cuya web es <https://www.bit2.es/> (Base de datos de inventario, incidencias e inspecciones en túneles de la R.C.E.), actualmente, el Túnel de El Bruc dispone de Sistema DAI, el cual funciona correctamente.

18.6.2.4.13.2. *Instalación proyectada*

Introducción

Como complemento a la instalación de CCTV y con el fin de mejorar la seguridad dentro del túnel, para el nuevo falso túnel dirección Lleida y para el tercer tubo nuevo a ejecutar en el Túnel de El Bruc, se ha previsto la instalación de una ampliación y/o renovación del sistema existente de detección automático de incidencias (DAI) mediante procesamiento de imágenes, utilizando la señal de CCTV.

Para la detección por vídeo, el sistema contará con una serie de cámaras instaladas a lo largo de un túnel sujeto a supervisión. A continuación, se instalarán los módulos de procesamiento de imágenes de vídeo o analizadores cuya función es analizar la señal de vídeo. Estos analizadores se podrán ubicar en campo, como podría ser en los racks instalados en los cuartos técnicos del túnel, o en las galerías, así como en el Centro de Control. Esta información/imágenes/video de cada uno de los módulos

analizadores se transferirá a través de la red IP al servidor. El software establecerá una comunicación con el servidor para verificar que todos los datos, alarmas y eventos de tráfico están disponibles dentro del centro de control. De esta manera, el operador podrá acceder a la información sobre alarmas o secuencias de vídeo.

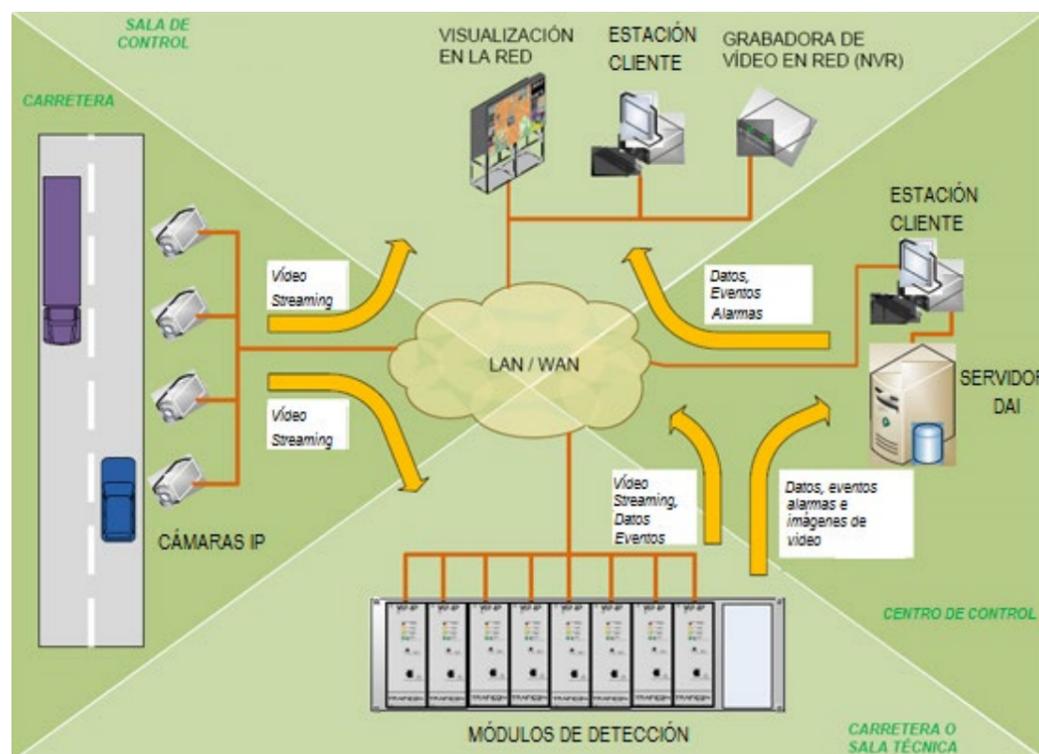


Ilustración 82.- Arquitectura General del Sistema DAI

Las funcionalidades que presentará el sistema DAI serán las siguientes:

- Detección de incidentes

Para las cámaras fijas, el sistema deberá detectar los incidentes siguientes en el campo de visión de las cámaras:

- Vehículo parado
- Vehículo parado en congestión
- Vehículo en sentido contrario
- Ralentización de tráfico
- Vehículo lento
- Peatón recorriendo el vial auxiliar

- Pérdida de visibilidad
- Para las cámaras móviles:
- Vehículo parado (sin configuración o calibración de máscaras)

Las alarmas tendrán que ser en formato visual y sonoro. El sistema distinguirá automáticamente entre tráfico fluido y congestionado para filtrar eventuales alarmas superfluas como vehículos parados en tráfico congestionado. Tendrá una funcionalidad específica para que el operador pueda configurar el intervalo de disparo de la alarma en tráfico congestionado. El sistema deberá tener una alarma específica para los vehículos parados en tráfico congestionado. Esta alarma representará la parada normal de un vehículo en tráfico congestionado.

El procedimiento de configuración del sistema deberá permitir modificar automáticamente los parámetros de detección según que las cámaras sean las exteriores, las más cercanas a las bocas de entrada y salida, o las situadas en el interior del túnel. Se deberá poder ajustar la sensibilidad de las alarmas.

- El sistema podrá ser explotado por medio de dos tipos de interfaces:

a) La interfaz Workstation permitirá:

- Visualizar las cámaras en alarma
- Extraer las imágenes en tiempo real de la cámara en alarma o extraer la secuencia del incidente
- Visualizar el estado de todos los componentes del sistema
- Acceder a la configuración de las máscaras
- Extraer los ficheros de grabaciones permanentes (24h)
- Activar escarrio de desactivación de las cámaras
- Manejo y motorización de las cámaras móviles

b) Comunicación con un sistema exterior (SCADA): Las alarmas de tráfico pueden ser transmitidas a un sistema global de gestión.

- Secuencias de incidentes

Las unidades de Detección Automática de Incidentes guardarán en una memoria provisional circular el último 1 minuto de imágenes para cada cámara. En caso de detección de un incidente, las unidades de Detección Automática de Incidentes generarán una secuencia de vídeo que consista en una secuencia de imágenes un minuto antes de la detección del incidente y 2 minutos después de la detección del incidente. Estos intervalos de tiempo serán configurables.

El operador podrá extraer y después visualizar la secuencia para permitir una respuesta más rápida en caso de incidente.

- Se podrá posicionar la secuencia en un determinado momento desplazando la barra de navegación o escribiendo manualmente la hora del incidente.
- Por razones de seguridad las grabaciones tienen que ser en un formato propietario. Se deberá poder convertirlas automáticamente en un formato abierto.

- Base de datos de secuencias sobre incidente

Las secuencias de vídeo deberán ser transferidas sobre el servidor automáticamente.

- Grabación permanente

Las unidades de Detección Automática de Incidentes guardarán en memoria las imágenes de las últimas 24 horas por cada cámara.

- Seguridad

El acceso a las funcionalidades de la interfaz será regulado por medio de una contraseña con diferentes niveles de acceso.

Solución DAI para el nuevo falso túnel y para el tercer tubo del Túnel de El Bruc

La solución diseñada para el nuevo falso túnel dirección Lleida y para el nuevo tercer tubo del Túnel de El Bruc consiste en la instalación de un módulo de detección para cada cámara prevista en el túnel. Los módulos de detección, que se ubicarán en módulos enracables que permiten agrupar hasta 8 tarjetas, y que se instalarán sobre los racks alojados en los cuartos técnicos que se ubican cerca de las bocas del túnel.

Desde el Puesto de Operador se podrá realizar la supervisión de los sistemas de detección por vídeo, y el software procesará toda la información que le llega a través de las comunicaciones Ethernet TCP/IP. De este modo, la detección de las alarmas se producirá en el centro de control, donde podrán visualizarse las imágenes de las cámaras CCTV.

Las comunicaciones con el Centro de Control se realizarán mediante fibra óptica monomodo. Las cámaras de CCTV deben ser compatibles con el sistema DAI a instalar.

18.6.2.4.14. Puestos de emergencia

18.6.2.4.14.1. *Instalación actual*

Según el Informe de evaluación "INFORME DE EVALUACIÓN DE INSPECCIÓN Y PROPUESTA DE MEJORA TÚNEL DEL BRUC", con fecha del 24 de abril de 2020, que aparece en la BIT 2.1, cuya web es <https://www.bit2.es/> (Base de datos de inventario, incidencias e inspecciones en túneles de la R.C.E.), actualmente, el Túnel de El Bruc dispone de 11 puestos de socorro de interior en sentido Barcelona y de 8 postes SOS en sentido Lleida, uno adicional en el exterior de cada boca y uno adicional en cada

vestíbulo de las galerías de conexión. Estos puestos de socorro de interior disponen de dos extintores de incendios dentro el armario.

Según este informe de evaluación, se cumple con lo dispuesto en el punto 2.12.3 del RD 635/2006 sobre los Postes SOS y el sistema funciona correctamente.

18.6.2.4.14.2. *Instalación proyectada*

Para el nuevo falso túnel dirección Lleida y para el tercer tubo nuevo que se ejecutará en el Túnel de El Bruc, se proyecta una red de postes de emergencia, en el exterior del túnel, en el interior del túnel y cada una de las salidas de emergencia. Los puestos de emergencia del interior del túnel dispondrán de dos extintores y un teléfono a una distancia no superior a 250 m según el apartado 2.12 del Anexo I del RD 635/2006.

Del mismo modo, se dispondrán postes SOS en las nuevas salidas de emergencia. Los puestos de emergencia irán ubicados en armarios de acero inoxidable. Cada puesto de emergencia estará compuesto por dos extintores y un teléfono.

Las puertas del armario dispondrán de un contactor conectado a la red de control, de forma que se pueda conocer su manipulación desde el Centro de Control, con el fin de establecer las medidas oportunas. El funcionamiento consiste en que el operador de consola a través del ordenador central recibe un aviso al ser accionado el pulsador de llamada desde cualquier poste, este aviso sonoro es recibido por el operador, a quien se le indica desde qué poste ha sido accionado el pulsador y se genera una conversación para dar la información necesaria.



Ilustración 9.- Puesto de emergencia interior.



Ilustración 10.- Puesto de emergencia exterior.

18.6.2.4.15. Señalización de salidas y equipamiento de emergencia

18.6.2.4.15.1. *Instalación actual*

Según el Informe de evaluación "INFORME DE EVALUACIÓN DE INSPECCIÓN Y PROPUESTA DE MEJORA TÚNEL DEL BRUC", con fecha del 24 de abril de 2020, que aparece en la BIT 2.1, cuya web es <https://www.bit2.es/> (Base de datos de inventario, incidencias e inspecciones en túneles de la R.C.E.), actualmente, el Túnel de El Bruc dispone de señalización de equipamiento y evacuación.

Existe señalización retroiluminada de los puestos de emergencia, mostrando iconos de los postes SOS y extintores. La señalización para las tomas de la red húmeda consta de una placa fotoluminiscente.

Se dispone de señalización fotoluminiscente en el túnel, que indica la distancia a las dos salidas más próximas en el hastial izquierdo cada 25 metros.

Y se dispone de señalización para las puertas de las galerías de conexión, consistente en pórticos de acero inoxidable, con iluminación permanente, carteles retroiluminados y fotoluminiscentes. Esta señalización cumple con lo dispuesto en el apartado 1.1 del Anexo III del RD 635/2006 respecto a la altura.

Según este informe de evaluación, la señalización en los dos tubos del Túnel de El Bruc existentes es conforme.

18.6.2.4.15.2. *Instalación proyectada*

Para el nuevo falso túnel dirección Lleida y para el tercer tubo nuevo que se ejecutará en el Túnel de El Bruc, se proyecta instalar la señalización de evacuación en ambos hastiales para cumplir las exigencias del RD 635/2006.

Cada 25 metros se instalarán conjuntos de señales fotoluminiscentes detallando la presencia de salidas de emergencia. Dichos pictogramas indicarán la distancia a la más próxima tanto en el sentido de la marcha como en el contrario, a la salida de emergencia. Se dispondrán a una altura de 1,5 metros.

Los pictogramas, dado que detallan sentidos opuestos, deberán estar separados 0,6 m, de acuerdo con el siguiente croquis:

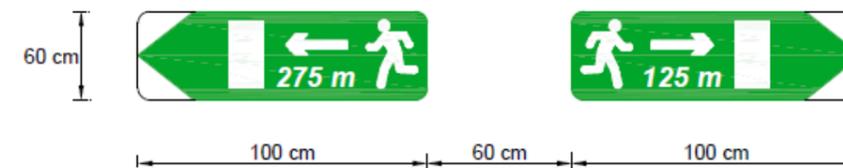


Ilustración 113.- Pictogramas señalización de evacuación en los túneles.

Además, se proyecta señalización de evacuación en puertas y galerías de emergencia, y señalización de los puestos de emergencia, con los indicativos de teléfono, extintor y de distancia y sentido al puesto de emergencia más cercano.

La salida de emergencia dispondrá de dos señales de 1,5 m a ambos lados:

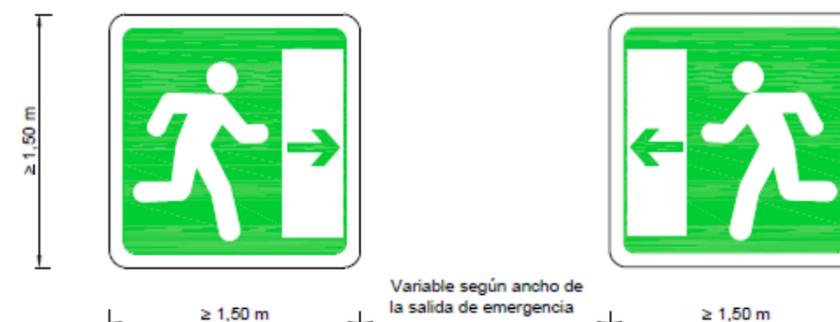


Ilustración 12.- Pictogramas de señalización de salidas de emergencia a ambos lados de la puerta.

La señal de salida de emergencia sobre la puerta se colocará a una altura de 2,20 m en el hastial y será de 25 x 25 cm. Esta señal será fotoluminiscente y visible por ambas caras.

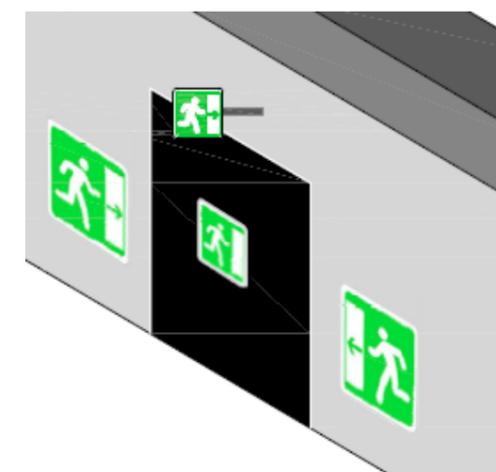


Ilustración 134.- Disposición de señalización de salidas de emergencia.

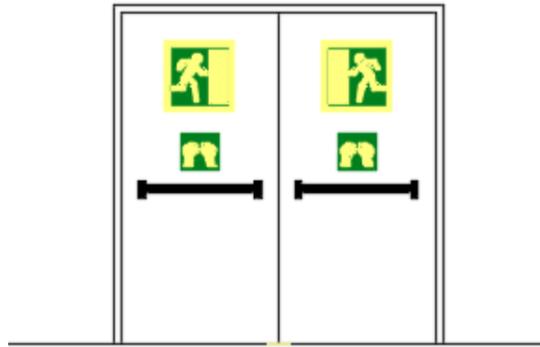


Ilustración 5.- Disposición de señalización de puertas de emergencia en sentido de la evacuación.

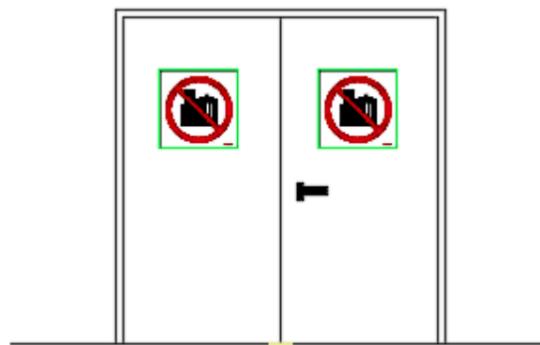
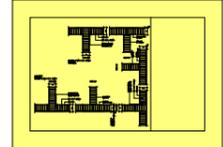


Ilustración 14.- Disposición de señalización de puertas de emergencia en sentido contrario a la evacuación.

Se utilizarán las siguientes señales para la evacuación en el interior del túnel:

PICTOGRAMA	DESCRIPCIÓN
	<p>"Salida de Emergencia más próxima izquierda"</p> <p>Señal fotoluminiscente para indicar direcciones, sentidos y distancias de evacuación dentro de los túneles a la salida de emergencia más cercana hacia la izquierda.</p> <p>Dimensiones 60 x 100 x 0,1 cm.</p> <p>Se coloca a lo largo de todo el recorrido de los túneles en ambos hastiales cada 25 m.</p>
	<p>"Salida de Emergencia próxima derecha"</p> <p>Señal fotoluminiscente para indicar direcciones, sentidos y distancias de evacuación dentro de los túneles a la salida de emergencia más cercana hacia la derecha.</p> <p>Dimensiones 60 x 100 x 0,1 cm.</p> <p>Se coloca a lo largo de todo el recorrido de los túneles en ambos hastiales cada 25 m.</p>

PICTOGRAMA	DESCRIPCIÓN
	<p>"Señal de salida de emergencia en puerta"</p> <p>Señal fotoluminiscente de 22,4 x 22,4 cm indicando salida de emergencia en puertas de emergencia.</p>
	<p>"Señal de salida de emergencia sobre puerta"</p> <p>Señal fotoluminiscente de 25 x 25 cm visible por ambas caras, indicando salida de emergencia.</p>
	<p>"Señal de salida de emergencia a ambos lados de la puerta"</p> <p>Señal fotoluminiscente de 150 x 150 cm, a ambos lados de la puerta indicando salida de emergencia.</p>
	<p>"Señal de evacuación en sentido ascendente"</p> <p>Señal fotoluminiscente de 32 x 16 cm, indicando la ruta de evacuación en sentido ascendente.</p>
	<p>"Apoyar para abrir"</p> <p>Señal de acero de dimensiones 22,4x2,24x0,1 cm.</p> <p>Se coloca una señal en cada hoja de puerta de salida de emergencia que disponga de un mecanismo de apertura de barras antipánico. Se coloca justo encima del mecanismo de apertura.</p>
	<p>"No obstruir"</p> <p>Señal de acero para indicar que deben quedar libres de obstáculos las salidas de emergencia, vías de evacuación y accesos a equipos PCI.</p> <p>Dimensiones 22,4x22,4x 0,1 cm.</p> <p>Se coloca en la cara posterior al sentido de la evacuación de cada puerta de Salida de Emergencia o inicio de Vía de Evacuación. Se colocará a ambos lados de las puertas de salida de emergencia en caso de que se puedan utilizar en los dos sentidos.</p>
	<p>"Usted está aquí"</p> <p>Plano de acero de dimensiones DIN A-2.</p> <p>Se colocan dos planos en cada galería de evacuación, inmediatamente después de cada puerta de salida de emergencia.</p> <p>Cada plano debe incluir la situación y salidas más próximas y la ubicación de un teléfono o pulsador de emergencia, y el texto "Permanezca tranquilo. Espere a ser evacuado".</p>
	<p>"Identificación Exterior Numérica de Salidas de Emergencia"</p> <p>Señal de dimensiones de 90 cm X 50 cm. por cada dígito y espesor de 1 mm.</p> <p>Se coloca en el frontal visible de las Salidas de Emergencia en el lado de circulación de vehículos. Se ubican junto a puertas de emergencia o galerías de evacuación. En el caso de Galerías</p>

PICTOGRAMA	DESCRIPCIÓN
	de intercomunicación se pondrá una letra para diferenciar las Salidas.
	<p>"Identificación Interior Numérica de Salidas de Emergencia" Señal de dimensiones 42 cm x 29,7 cm. por cada dígito y espesor de 1 mm. Se coloca en el interior de las galerías cerca de las Salidas de Emergencia o de sus puertas correspondientes. Se ubica junto a puertas o Salidas de Galerías zonas de circulación de vehículos. En el caso de Galerías de intercomunicación se pondrá una letra para diferenciar las Salidas a un tubo o a otro.</p>

Tabla 1. Tabla 9.- Señalización de evacuación.

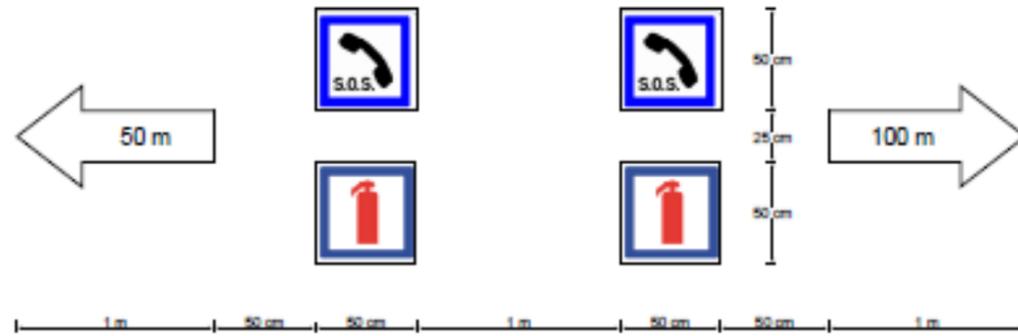


Ilustración 15.- Disposición de las señales de los puestos de emergencia.

Asimismo, se instalará un letrero luminoso, para cada poste SOS de las nuevas salidas de emergencia donde se indique la ubicación del mismo tal y como lo exige la norma 8.1-IC.

PICTOGRAMA	DESCRIPCIÓN
	<p>"Señal de extintor" Señal fotoluminiscente de 50 x 50 cm indicando la disposición de un extintor.</p>
	<p>"Señal de teléfono de emergencia" Señal fotoluminiscente de 50 x 50 cm indicando la disposición de un teléfono de emergencia.</p>

PICTOGRAMA	DESCRIPCIÓN
	<p>"Señal de indicación de puesto de emergencia más cercano" Señal en forma de flecha indicando la distancia y sentido al puesto de emergencia más cercano.</p>
	<p>"Señal de indicación de puesto de emergencia" Letrero luminoso, para cada puesto de emergencia donde se indique la ubicación del mismo.</p>

Tabla 10.- Señalización de emergencia.

18.6.2.4.16. Megafonía

18.6.2.4.16.1. Instalación actual

Según el Informe de evaluación "INFORME DE EVALUACIÓN DE INSPECCIÓN Y PROPUESTA DE MEJORA TÚNEL DEL BRUC", con fecha del 24 de abril de 2020, que aparece en la BIT 2.1, cuya web es <https://www.bit2.es/> (Base de datos de inventario, incidencias e inspecciones en túneles de la R.C.E.), actualmente, el Túnel de El Bruc dispone de sistema de megafonía con seis zonas de envío, entre las que se cuenta con cada uno de los tubos, las dos zonas exteriores y las dos galerías. El sistema de megafonía es exigido según la clasificación otorgada por el RD 635/2006.

Según este informe de evaluación, este sistema funciona correctamente.

18.6.2.4.16.2. Instalación proyectada

Para el nuevo falso túnel dirección Lleida y para el tercer tubo nuevo que se ejecutará en el Túnel de El Bruc se proyecta megafonía, así como en las salidas de emergencia. La instalación consiste en los siguientes elementos:

- 1 módulo de alimentación y 12 amplificadores de 360W con 6 tarjetas con dos salidas de supervisión de impedancia de línea y estado de etapas de potencia. Estos equipos se encuentran instalados en local técnico del túnel.
- 1 matriz digital microprocesadora de audio, 1 pupitre con micrófono para mensajes de voz, 1 ordenador mediante el cual el operador puede gestionar y emitir los mensajes pregrabados en las distintas zonas. Estos equipos se encuentran instalados en local técnico del túnel.
- 1 pupitre con micrófono para mensajes de voz, 1 ordenador mediante el cual el operador puede gestionar y emitir los mensajes pregrabados en las distintas zonas. Estos equipos están instalados en el Centro de Control.
- En el interior del túnel irán instalados altavoces exponenciales de 30W repartidos a lo largo del mismo, formando zonas de megafonía.

- Altavoces exponenciales de 30W en las salidas de emergencia, uno por cada salida.

Desde los amplificadores hasta los diferentes altavoces la conexión se realiza mediante cable trenzado de 2x1,5 mm².

18.6.2.4.17. Extinción de incendios

18.6.2.4.17.1. *Instalación actual*

Según el Informe de evaluación "INFORME DE EVALUACIÓN DE INSPECCIÓN Y PROPUESTA DE MEJORA TÚNEL DEL BRUC", con fecha del 24 de abril de 2020, que aparece en la BIT 2.1, cuya web es <https://www.bit2.es/> (Base de datos de inventario, incidencias e inspecciones en túneles de la R.C.E.), actualmente, en el Túnel de El Bruc, existe la siguiente instalación en cuanto a extinción de incendios se refiere:

En el interior del túnel existen nueve tomas a lo largo del tubo sentido Barcelona y ocho tomas en sentido Lleida. Estas tomas son de tipo siamesas de 70 mm de diámetro con racor Barcelona. Y en las bocas del túnel, hay hidrantes de suelo.

Y anclada al hastial, se encuentra vista una red de columna húmeda.

La interdistancia media entre las tomas siamesas es variable a lo largo del túnel, siendo la mayor distancia entre tomas de 203 m, y el R.D 635/2006 marca la máxima en 250 metros.

Según normativa, dichas tomas siamesas, por normativa, no se pueden considerar como hidrantes, por lo que no cumplirían las prescripciones del R.D. 635/2006.

El abastecimiento de agua a la red de contra incendios se efectúa mediante un grupo de bombeo que consta de una bomba jockey para presurizar la red por pérdidas de pequeñas fugas y una potencia de 1,8 kW, una bomba eléctrica principal y una bomba secundaria diésel con una altura de 80 m.c.a. y un caudal de 110 m³/h cada una.

Según el informe de evaluación, este grupo de bombeo se encuentra operativo.

Anexo al local de bombeo se dispone de dos depósitos de agua de poliéster reforzado, que hacen la función de reserva de agua para el sistema contra incendios del túnel. Estos aljibes disponen de una capacidad total de 240 m³.

Complementariamente a la red húmeda, la extinción de incendios en el túnel se puede realizar mediante el empleo de extintores de polvo ABC de 6 kg ubicados en cada uno de los puestos de emergencia interiores. Hay instalados 2 extintores en cada puesto de emergencia, 22 en sentido Barcelona y 16 en sentido Lleida, y otros 4 en cada una de las galerías, (2 por acceso).

Tal y como se ha visto, la instalación existente de PCI en el Túnel de El Bruc compuesto por 2 tubos, no cumple con normativa, por lo que será necesaria la sustitución o ampliación de las bocas siamesas por hidrantes de acuerdo a normas.

Dadas las características del falso túnel y del tercer tubo nuevo a proyectar, estos han de disponer también de una Red de PCI a base de hidrantes.

A continuación, se detalla la instalación proyectada para el nuevo falso túnel dirección Lleida y para el tercer tubo nuevo que se ejecutará en el Túnel de El Bruc, y las modificaciones a realizar sobre la instalación existente en este.

18.6.2.4.17.2. *Normativa*

Se ha tenido en cuenta la siguiente normativa y recomendaciones técnicas

- Real Decreto 635/2006 de 26 de mayo sobre requisitos mínimos de seguridad en los túneles de carreteras del estado.
- Directiva 2004/54/CE del parlamento europeo y del consejo de 29 de abril de 2004 sobre requisitos mínimos de seguridad para túneles de la red transeuropea de carreteras.
- Real Decreto 2177/1996, de 4 de octubre, por el que se aprueba la Norma Básica de la Edificación "NBE-CPI/96: Condiciones de protección contra incendios de los edificios".
- Real Decreto 379/2001, de 6 de abril, por el que se aprueba el Reglamento de almacenamiento de productos químicos y sus instrucciones técnicas complementarias MIE APQ-1, MIE APQ-2, MIE APQ-3, MIE APQ-4, MIE APQ-5, MIE APQ-6 y MIE APQ-7.
- Real Decreto 2267/2004 de 3 de diciembre, por el que se aprueba el reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales.
- Normas UNE.

18.6.2.4.17.3. *Instalación proyectada*

Se proyecta la sustitución de las bocas siamesas existentes en los tubos actuales por hidrantes de acuerdo a normas. Y, por otro lado, una nueva red de hidrantes para el nuevo falso túnel dirección Lleida y para el tubo nuevo, las cuales compartirán los depósitos de acumulación e instalación de bombeo existentes.

Los hidrantes escogidos son de tipo columna, con 2 salidas de 70 mm y una de 100 mm con racores BCN según UNE 23400. Se han proyectado hidrantes junto a las bocas de los tubos, así como en el interior de los mismos. Los hidrantes irán situados en los nichos existentes del túnel. La distancia entre ellos no será en ningún caso superior a 250 metros, según lo indicado en el R. D. 635/2006.

18.6.2.4.17.4. *Justificación del sistema de hidrantes*

El RD 2267/2004, de 3 de diciembre, sobre el Reglamento de Seguridad contra incendios en los establecimientos industriales, indica sobre los sistemas de abastecimiento de agua contra incendios que: "Cuando en una instalación de un establecimiento industrial coexistan varios de estos sistemas, el caudal y reserva de agua se calcularán considerando la simultaneidad de operación mínima que establece en la siguiente tabla":

TIPO DE INSTALACIÓN	BIE [1]	HIDRANTES [2]	ROCIADORES AUTOMÁTICOS [3]	AGUA PULVERIZADA [4]	ESPUMA [5]
[1] BIE	Q_B/R_B	(a) Q_H/R_H (b) Q_B+Q_H/R_B+R_H $0,5 Q_H + Q_{RA} 0,5 R_H + R_{RA}$	Q_{RA}/R_{RA}		
[2] HIDRANTES	(a) Q_H/R_H (b) $Q_B + Q_H/R_B + R_H$ $0,5 Q_H + Q_{RA} 0,5 R_H + R_{RA}$	Q_H/R_H	Q mayor R mayor (una instal.)	$0,5 Q_H + Q_{AP}$ $0,5 R_H + R_{AP}$ $Q_{AP} + Q_E R_{AP} + R_E$	Q mayor, R mayor (una instalación)
[3] ROCIADORES AUTOMÁTICOS	Q_{RA}/R_{RA}	Q mayor R mayor (una instal.)	Q_{RA}/R_{RA}	Q mayor, R mayor (una instalación)	Q mayor, R mayor (una instalación)
AGUA PULVERIZADA [4]		$0,5 Q_H + Q_{AP}$ $0,5 R_H + R_{AP}$	$Q_{AP} + Q_E$ Q mayor, R mayor (una instalación)	Q_{AP}/R_{AP}	$Q_{AP} + Q_E$ $R_{AP} + R_E$
ESPUMA [5]		Q mayor R mayor (una instal.)	$Q_{AP} + Q_E$ Q mayor, R mayor (una instalación)	$Q_{AP} + Q_E$ $R_{AP} + R_E$	Q_E/R_E

Tabla 11.- Categoría de Abastecimiento (según norma UNE 23.500)

Para un sistema en el que coexisten hidrantes y BIEs existen dos casos:

- **Caso a:** para edificios con plantas al nivel de rasante se escoge el caudal de agua requerido por el sistema de hidrantes (Qh) y la reserva de agua necesaria para el sistema de hidrantes (Rh).
- **Caso b:** para edificios con plantas sobre rasante se utilizará la suma de caudales requeridos para BIE (Qb) y para hidrantes (Qh); y la suma de reserva de agua necesaria para BIE (Rb) y para hidrantes (Rh).

Para el caso de los túneles objeto de este proyecto, se considera que se clasifican dentro del grupo A (edificios con plantas al nivel de rasante). Por lo tanto, para el diseño de la red de hidrantes+BIEs se parte del caudal y la reserva de agua que debería dar una red de hidrantes proyectada en el interior de los túneles.

18.6.2.4.17.5. Abastecimiento de agua

La instalación de la red de hidrantes dispondrá de un aljibe de reserva de agua para alimentar al grupo de presión proyectado. Actualmente existen dos depósitos de agua de 120 m3 cada uno, que da suministro a la red de tomas existente. A la hora de proyectar la nueva red de hidrantes, el volumen de este depósito es suficiente para cumplir las exigencias marcadas según normativa, por lo que no se proyecta un nuevo depósito.

Justificación de la capacidad del aljibe

La capacidad del aljibe se calcula según lo indicado en el R.D. 2267/2004 sobre el reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales. El túnel se caracteriza como un local tipo D según indica el punto 2 del Anexo I del R.D. 2267/2004.

Para calcular el riesgo intrínseco se va a considerar que la situación más desfavorable es que en caso de incendio, el túnel queda congestionado completamente por vehículos. Este hecho se puede asimilar, para determinar la densidad de carga de fuego, a la actividad de aparcamiento que según la tabla.2 del Anexo I, que tiene un valor de 200 MJ/m2 (Automóviles, garajes y aparcamientos) con un coeficiente de corrección del grado de peligrosidad igual a 1.

Además, el Documento Básico de Seguridad Contra Incendios (DB SI) del Código Técnico de la Edificación (CTE) en su tabla B.6 establece que la carga de fuego para uso de aparcamiento es de 280 MJ/m2.

Se ha supuesto que para el cálculo de la densidad para un aparcamiento se ha realizado considerando:

- La carga de fuego viene proporcionada directamente por los vehículos
- El espacio del recinto que no tiene vehículos tiene una carga de fuego despreciable
- El espacio ocupado por los vehículos se estima en un 60 % del total de la superficie del aparcamiento

En el caso del túnel, los vehículos ocupan el 100 % de espacio por lo que se puede estimar que la densidad de carga de fuego es la siguiente (sea considerado en caso más desfavorable el dato del DB SI del CTE):

$$280 \frac{MJ}{m^2} = q_{veh} \cdot 0,6 + 0 \frac{MJ}{m^2} \cdot 0,4$$

Donde:

$$q_{veh} = \frac{280 \frac{MJ}{m^2}}{0,6} = 466,67 \frac{MJ}{m^2}$$

Aplicando la fórmula para calcular el riesgo intrínseco:

$$Q_s = \frac{\sum_i q_{si} S_i C_i}{A} R_a \text{ (MJ/m}^2\text{)}$$

Donde:

Q_s =densidad de carga de fuego, ponderada y corregida, del sector o área de incendio, en MJ/m².

S_i = A; es el área del túnel.

C_i (coeficiente del grado de peligrosidad) = 1,6 (gasolina)

R_a (coeficiente de corrección del grado de peligrosidad) = 1.

Se obtiene que $Q_s= 746,67 \text{ MJ/m}^2$ que corresponde a un riesgo bajo según la tabla 1.3 del Anexo I del RSCIEI.

Nivel de riesgo intrínseco	Densidad de carga de fuego ponderada y corregida		
	Mcal/m ²	MJ/m ²	
BAJO	1	$Q_s \leq 100$	$Q_s \leq 425$
	2	$100 < Q_s \leq 200$	$425 < Q_s \leq 850$
MEDIO	3	$200 < Q_s \leq 300$	$850 < Q_s \leq 1275$
	4	$300 < Q_s \leq 400$	$1275 < Q_s \leq 1700$
	5	$400 < Q_s \leq 800$	$1700 < Q_s \leq 3400$
ALTO	6	$800 < Q_s \leq 1600$	$3400 < Q_s \leq 6800$
	7	$1600 < Q_s \leq 3200$	$6800 < Q_s \leq 13600$
	8	$3200 < Q_s$	$13600 < Q_s$

Tabla 12.- Nivel de Riesgo en función de la carga de fuego ponderada.

Si consideramos la posibilidad de circulación de vehículos con mercancías peligrosas por los túneles carreteros y éstos pudieran quedar atrapados en un incidente en el interior del túnel, se debería aumentar la densidad de carga de fuego. Dado que ese aumento no es fácil de estimar (depende de la mercancía transportada) y como el cálculo realizado anteriormente se observa que el valor de la densidad de la carga de fuego está cerca del valor límite con el riesgo medio, se podría considerar que el nivel intrínseco de riesgo se podría elevar a riesgo medio en caso de considerar el paso de mercancías peligrosas.

Con esta clasificación, la red de hidrantes deberá cumplir con lo indicado en el punto 7 del anexo III del RSCIEI que indica que:

CONFIGURACIÓN DEL ESTABLECIMIENTO INDUSTRIAL	NIVEL DE RIESGO INTRÍNSECO					
	BAJO		MEDIO		ALTO	
TIPO	CAUDAL (L/MIN)	AUTON. (MIN)	CAUDAL (L/MIN)	AUTON. (MIN)	CAUDAL (L/MIN)	AUTON. (MIN)
A	500	30	1000	60		
B	500	30	1000	60	1000	90
C	500	30	1500	60	2000	90
D y E	1000	30	2000	60	3000	90

Tabla 13.- Clasificación de la red de hidrantes.

La presión mínima en las bocas de salida de los hidrantes será de cinco bar cuando se estén descargando los caudales indicados.

Por tanto, la red de hidrantes cumplirá que:

- Caudal de diseño (Q_d) = 2.000 l/min
- Tiempo servicio: 60 minutos

$$V_{\text{aljibe}} = h * Q_d * t$$

Donde;

h: número de hidrantes funcionando simultáneamente.

Q_d : caudal del hidrante (l/min)

t: tiempo de funcionamiento (min)

$$V_{\text{aljibe}} = 2 \text{ hidrantes} * 1000 \frac{\text{l}}{\text{min}} * 60 \text{ min} = 120.000 \text{ l} = 120 \text{ m}^3$$

Este sería el volumen teórico que debería tener el depósito. Por lo que la instalación actual cumple sobradamente.

18.6.2.4.17.6. Grupo de presión

El grupo de presión existente se compone de dos bombas principales, una de tipo diésel y otra de tipo eléctrica, y una bomba jockey, que mantendrá la presión en la red. El grupo se diseña para cumplir con la normativa indicada en los apartados anteriores.

Para determinar el grupo de bombas se tiene en cuenta el caudal que aportan dos hidrantes actuando simultáneamente y el cálculo de las pérdidas de carga en la nueva red de tuberías del túnel. Estos parámetros se justifican mediante los cálculos hidráulicos.

El caudal necesario que debe aportar el grupo de presión para dos hidrantes actuando a la vez es el siguiente:

$$Q_{GP} = 2 \text{ hidrantes} * 1000 \frac{\text{l}}{\text{min}} = 2000 \frac{\text{l}}{\text{min}} = 120 \text{ m}^3/\text{h}$$

Por lo tanto, el grupo de presión aportará un caudal de 120 m³/h y una presión a determinar en fase de proyecto. En principio, se considera que el grupo existente cumplirá estos requerimientos.

18.6.2.4.17.7. Red de tuberías

Se proyecta una nueva red de tuberías aérea que alimente al sistema de hidrantes proyectado para el tubo nuevo. Las tuberías tendrán un diámetro DN-200, y las derivaciones de los hidrantes serán de

diámetro DN-100. Las tuberías irán situadas a lo largo de uno de los hastiales en cada tubo, a una altura en el que no se encuentren objetos que obstaculicen su recorrido (entre 2 y 4 metros como mínimo).

La red de tuberías será de material fundición gris revestida de cemento según normativa UNE 10255. Las tuberías se les aplicará dos capas de pintura antioxidante y otras dos capas de pintura normalizada rojo bombero, siguiendo las indicaciones marcadas por el fabricante.

La red de tuberías dispondrá de válvulas de compuerta para seccionar la red en varios tramos y así asegurar el mantenimiento de las distintas zonas en caso de fallo o rotura. Los hidrantes exteriores dispondrán de válvulas de compuerta situados en arquetas registrables para su aislamiento.

18.6.2.4.18. Sistema de radiocomunicaciones para servicios de emergencia

18.6.2.4.18.1. *Instalación actual*

Según el Informe de evaluación "INFORME DE EVALUACIÓN DE INSPECCIÓN Y PROPUESTA DE MEJORA TÚNEL DEL BRUC", con fecha del 24 de abril de 2020, que aparece en la BIT 2.1, cuya web es <https://www.bit2.es/> (Base de datos de inventario, incidencias e inspecciones en túneles de la R.C.E.), se describe a continuación el Sistema de Radiocomunicaciones que existe actualmente.

El túnel dispone de sistema de radiocomunicaciones por medio de cable radiante, el cual se encuentra instalado en el túnel colgado mediante sus correspondientes soportes de la bandeja que discurre por la clave del túnel, siendo este sistema necesario según el R.D. 635/2006.

18.6.2.4.18.2. *Instalación proyectada*

El túnel contará con la instalación de un repetidor para mejorar las comunicaciones de Bomberos y Emergencias Sanitarias en el interior de los túneles. Dispondrán de instalación de cable radiante, que proporciona cobertura en el interior del túnel.

Por otro lado, el túnel también dispondrá de cobertura TETRA. Los equipos de radiocomunicaciones TETRA estarán instalados en el local técnico del túnel. La cobertura TETRA en el interior de los tubos será proporcionada por las antenas instaladas en los hastiales del túnel.

El túnel estará dotado de mensajería por canales de radio para usuarios, completando el sistema de radiocomunicaciones. Para ello, se instalará la consola de inserción de mensajes de emergencia en los canales de FM en el Centro de Control, la cual será controlada por el operador. En el local técnico del túnel, se instalará un amplificador FM (*rack* maestro) y una antena FM en el exterior. En la salida, se instalará el amplificador remoto FM (*rack* esclavo).

En el interior del túnel se instalarán antenas: la mitad se conectarán al rack maestro y las restantes se conectarán al rack esclavo. Estas antenas darán cobertura FM en el interior del túnel, permitiendo la emisión de los mensajes de emergencia a los usuarios en los canales de FM.

Esta instalación dará cobertura tanto a los tres tubos del Túnel de El Bruc como al nuevo falso túnel proyectado, dada su proximidad.

18.6.2.4.19. Mensajería de emergencia por canales de radio para usuarios

18.6.2.4.19.1. *Instalación actual*

Según el Informe de evaluación "INFORME DE EVALUACIÓN DE INSPECCIÓN Y PROPUESTA DE MEJORA TÚNEL DEL BRUC", con fecha del 24 de abril de 2020, que aparece en la BIT 2.1, cuya web es <https://www.bit2.es/> (Base de datos de inventario, incidencias e inspecciones en túneles de la R.C.E.), no se describe mensajería de emergencia por canales de radio para usuarios existente en el Túnel de El Bruc.

18.6.2.4.19.2. *Instalación proyectada*

Introducción

El nuevo tubo que se ejecutará en el Túnel de El Bruc, así como el nuevo falso túnel dirección Lleida, dispondrán de un sistema de mensajería de emergencia por canales de radio comerciales para usuario. De acuerdo con el RD 635/2006, los túneles de más de 1.000 metros deberán disponer de un Sistema de Radiocomunicación para servicios de emergencia.

Al tratarse de un túnel de longitud mayor a 1.000 metros, así como de un falso túnel perteneciente a un grupo de túneles de longitud superior a 1.000 m, se proyecta un sistema de mensajería de emergencia por canales de radio comerciales para usuarios que dará cobertura a ambos túneles, dada su proximidad. En este apartado se va a describir la solución para el sistema radio de cobertura Tetra/VHF/FM con inserción de mensajes de emergencia que se va a implantar.

En la imagen siguiente se muestra un esquema general de la arquitectura de un sistema radio con estas características para un túnel de carreteras:

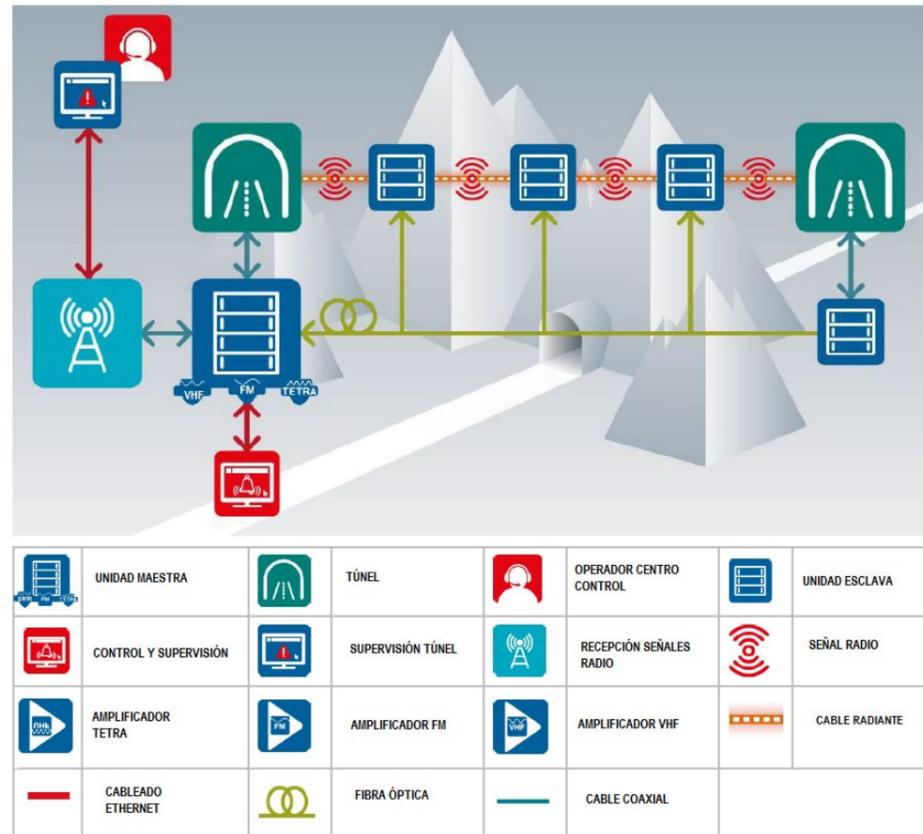


Ilustración 166. - Arquitectura General de un Sistema Radio para un túnel de carreteras.

La función principal de la unidad maestra consiste en recoger las señales de radio recibidas a través de las antenas, realizar el procesamiento digital para ajustar su potencia y filtrar aquellas señales no deseadas, y posteriormente, entregar las señales a las unidades esclavas, a las que se conecta mediante fibra óptica. La función de las unidades esclavas es recoger las señales ópticas que parten de la unidad maestra y amplificarlas para entregarlas al cable radiante con una potencia adecuada. El cable radiante actúa como una antena distribuida que entrega las señales radio al usuario de manera uniforme a lo largo del túnel.

A continuación, se describe la unidad maestra, la unidad esclava y el bloque de inserción de mensajes de emergencia.

UNIDAD MAESTRA

La figura siguiente muestra un diagrama de bloques de la unidad maestra. La estación maestra consiste en un rack de 42U, en el que se instalan los amplificadores radio. Los tres bloques de procesamiento digital de la señal, uno por servicio (Tetra/VHF/FM), procesan cada servicio independientemente. Las señales no deseadas son filtradas, y la potencia de salida es ajustada para su transmisión.

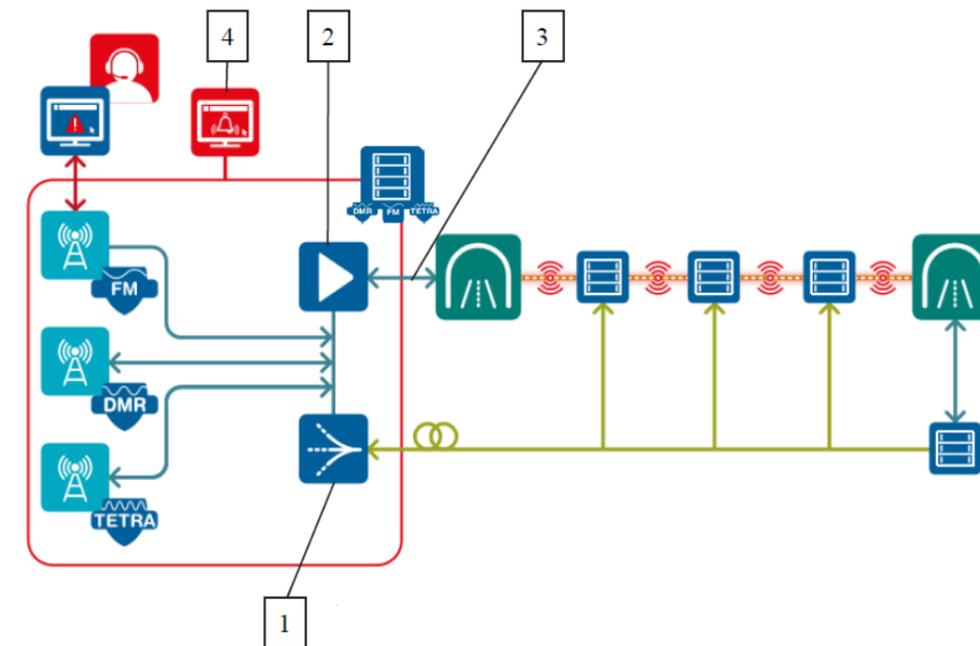


Ilustración 17. - Diagrama de bloques de una unidad maestra.

Las señales se combinan y se transmiten vía fibra óptica a las unidades esclavas en el bloque de transmisión óptica y acoplamiento (1). Las señales también se amplifican, servicio a servicio, y a continuación se combinan (2). Posteriormente, las señales combinadas se transmiten en el túnel a través del cable radiante (3).

Las señales ópticas se procesan en las unidades esclavas en el sentido contrario. Se convierten de nuevo a RF y se envían a su correspondiente bloque de procesamiento mediante el bloque de transmisión óptica y acoplamiento.

El siguiente esquema muestra los elementos que componen la Unidad Maestra:

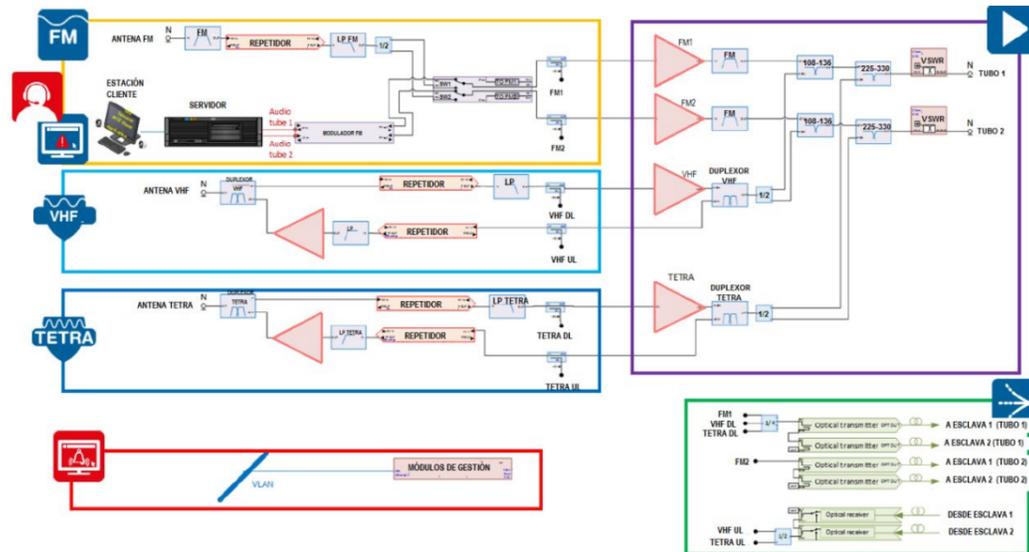


Ilustración 18.- Diagrama de Bloques de la Unidad Maestra

En la figura siguiente se muestra el rack con los elementos que componen la Unidad Maestra:

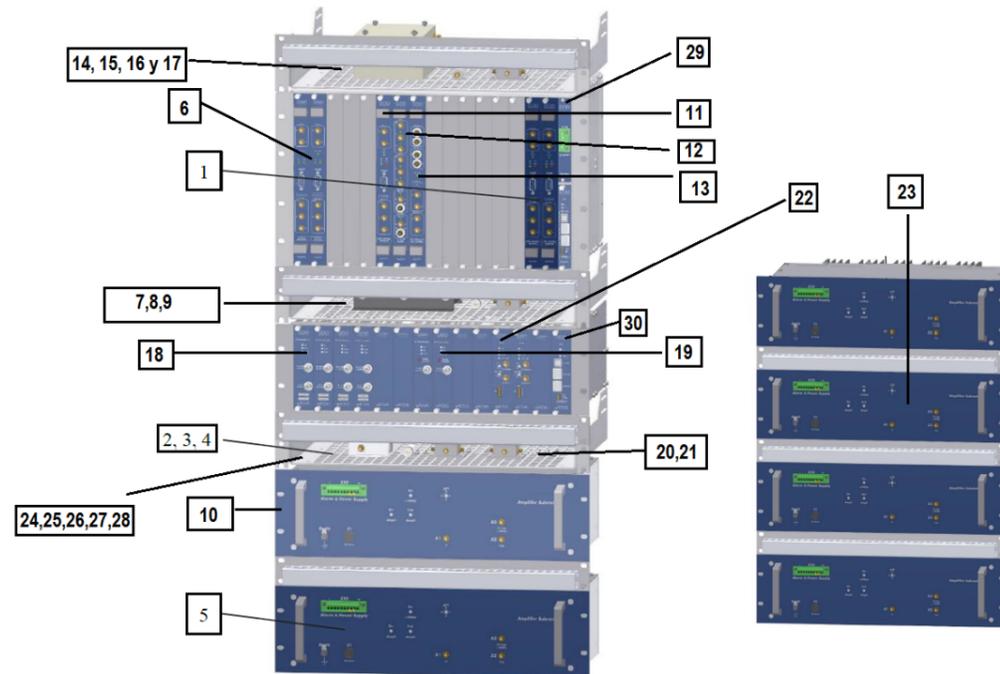


Ilustración 19. - Equipos en Rack Maestro instalado en Cuarto Técnico del Túnel

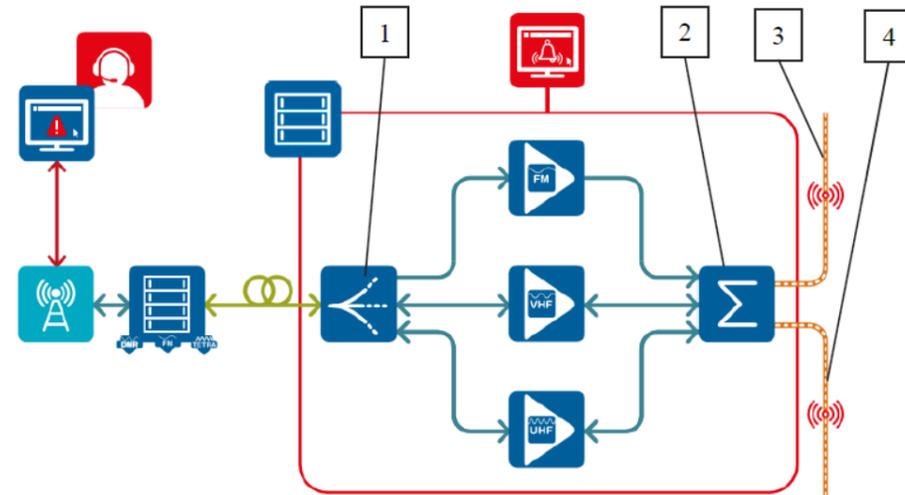
Los equipos numerados en la figura anterior se corresponden con:

Nº	Elemento
BLOQUE TETRA	
1	Repetidor Tetra
2	Duplexor UHF
3	Filtro Paso Bajo UHF
4	Acoplador
5	Amplificador
BLOQUE VHF	
6	Repetidor VHF
7	Duplexor VHF
8	Filtro Paso Bajo VHF
9	Acoplador
10	Amplificador
BLOQUE FM	
11	Repetidor FM
12	Switch Dual FM
13	Modulador FM
14	Filtro Paso Banda FM
15	Filtro Paso Bajo FM
16	Splitter ½
17	Acoplador
TRANSMISIÓN ÓPTICA Y ACOPLAMIENTO	
18	Transmisor óptico
19	Receptor óptico
20	Splitter ½
21	Splitter ¼
UNIDAD MAESTRA	
22	VSWR
23	Amplificadores FM/TETRA/VHF
24	Duplexor UHF
25	Duplexor VHF
26	Filtro Paso Banda FM
27	Splitter 1/2
28	Diplexer
ALARMAS Y MONITORIZACIÓN	
29	Tarjeta gestión y monitorización
30	Interfaz de alarmas

Tabla 14.- Descripción elementos del rack maestro.

UNIDAD ESCLAVA

La siguiente figura muestra el diagrama de bloques de una unidad esclava. Una unidad esclava consiste en una serie de equipos, que se explicarán a continuación, instalados en un rack de 42U.



	UNIDAD MAESTRA		TÚNEL		PUESTO DE OPERADOR		UNIDAD ESCLAVA
	CONTROL Y MONITORIZACIÓN		SUPERVISIÓN DEL TÚNEL		RECOGIDA DE SEÑALES		SEÑAL RADIO
	ACOPLADOR Y AMPLIFICADOR RF		AMPLIFICADOR FM		AMPLIFICADOR VHF		AMPLIFICADOR TETRA
	ACOPLAMIENTO Y TRANSMISIÓN ÓPTICA		ACOPLAMIENTO		CABLE ETHERNET		CABLE RADIANTE
	FIBRA ÓPTICA		CABLE COAXIAL				

Ilustración 20. - Diagrama de bloques de una unidad esclava

En el enlace descendente, la unidad de acoplamiento y transmisión óptica recibe las señales ópticas de una Unidad Maestra, las convierte a RF, y envía las señales radio a la etapa de amplificación correspondiente (1), una por servicio. Después, todas las señales se acoplan para enviarlas al cable radiante (2). La unidad esclava alimenta 2 secciones de cable radiante: una para asegurar la cobertura en la sección siguiente del túnel (3) y otra, para asegurar la redundancia de la señal transmitida en la sección anterior del túnel (4).

En el enlace ascendente, simplemente, las señales son amplificadas en el módulo de acoplamiento y transmisión óptica (1) para ser enviadas con potencia suficiente, y con un nivel de ruido lo más bajo posible, a la Unidad Maestra.

La siguiente figura muestra los elementos que componen una unidad esclava:

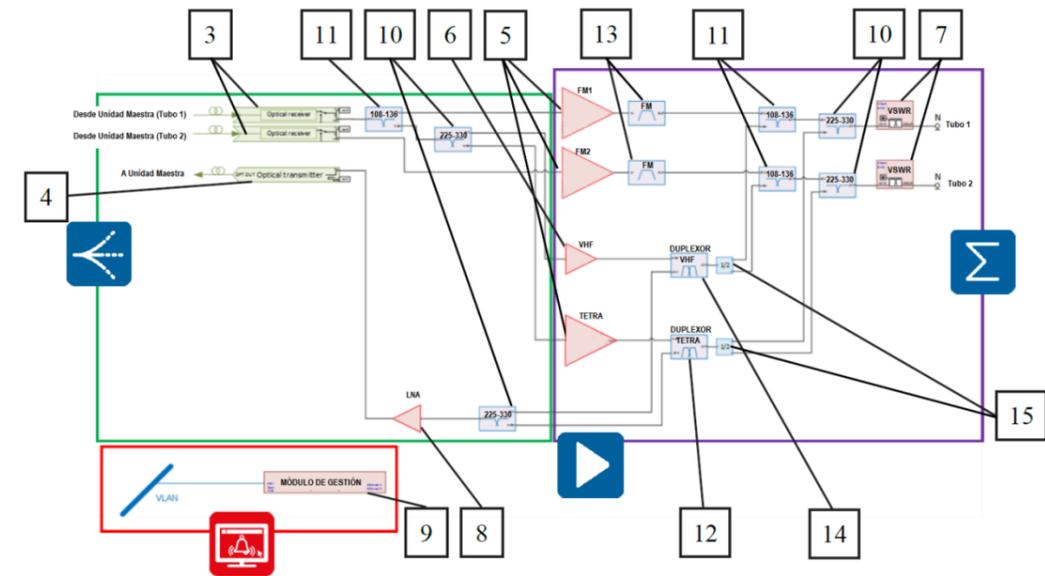


Ilustración 21. - Esquema Elementos de la Unidad Esclava

Los elementos incluidos dentro del rectángulo verde muestran los transmisores y receptores ópticos que reciben y transmiten señales hacia/desde la unidad maestra. En el enlace descendente, los diplexores (10,11) que se ubican después de los receptores permiten separar las señales radio para cada servicio. Esta operación es necesario realizarla antes de amplificar (5) las señales para cada servicio.

En el enlace ascendente, el amplificador (8) permite amplificar las señales con el menor ruido posible. Previamente las señales han pasado por los correspondientes diplexores (10,11) del rectángulo que contiene la etapa de potencia y acoplamiento.

A continuación, se detallan los elementos numerados en la figura anterior y siguiente:

Nº	Elemento
1	Receptor óptico
2	Transmisor óptico
3	Filtro Bajo Ruido
4, 5	Diplexores
6	Amplificador
7	VSWR
8	Amplificadores FM/VHF/TETRA

Nº	Elemento
9	Tarjeta Gestión y Monitorización
10	Duplexor UHF
11	Filtro FM
12	Duplexor VHF
13	Splitter ½

Tabla 15.- Descripción de elementos en la unidad esclava.

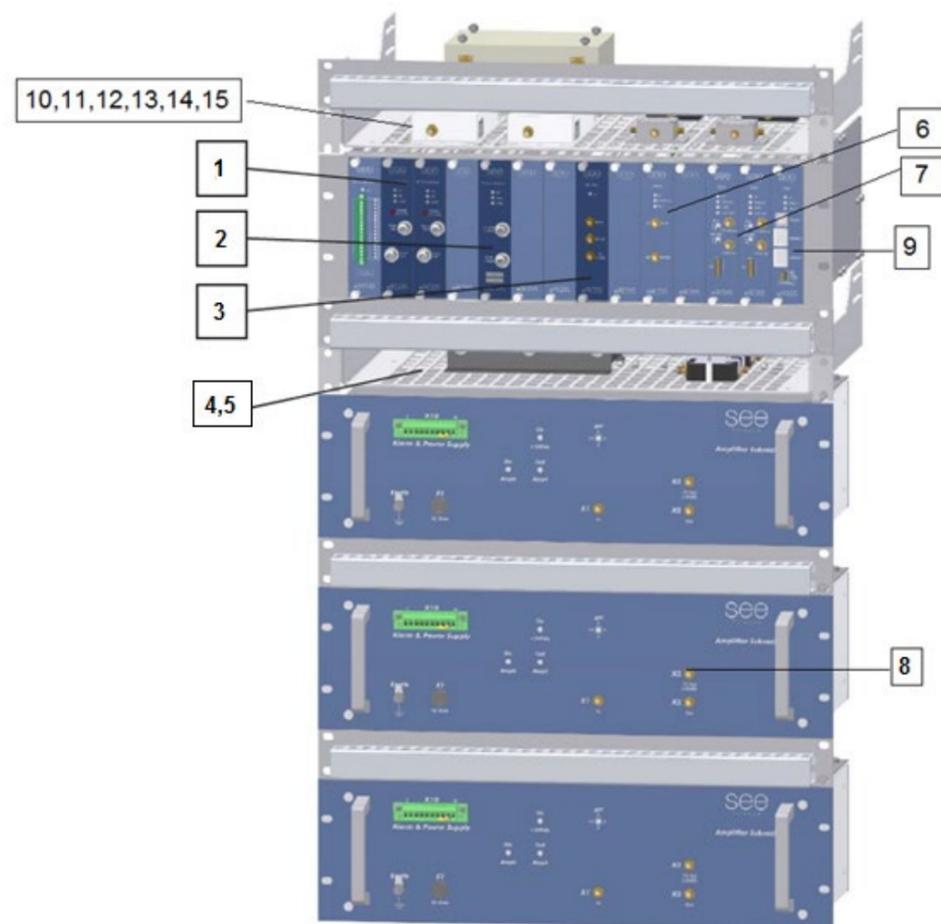


Ilustración 22. - Rack Unidad Esclava

BLOQUE DE INSERCIÓN DE MENSAJES DE EMERGENCIA

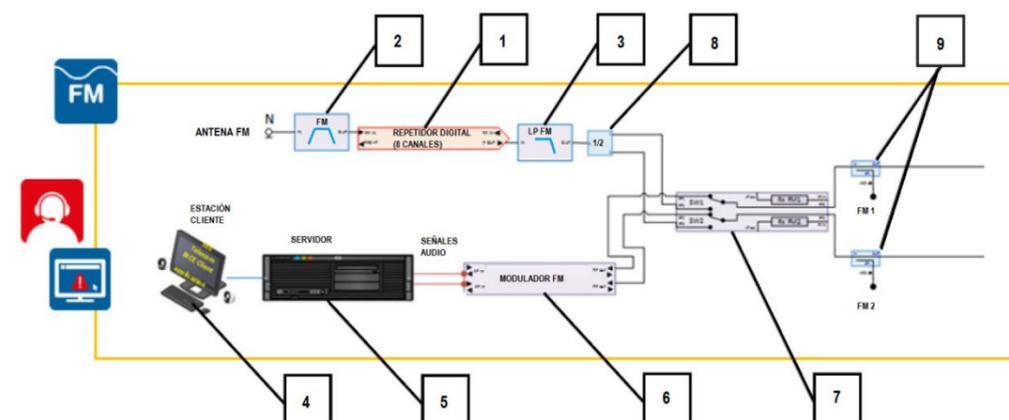


Ilustración 23.- Diagrama de bloques de FM e inserción de mensajes de emergencia

La figura anterior muestra el procesado de la señal digital FM que incluye la inserción de mensajes de emergencia sobre FM. Las entradas del sistema son, las señales comerciales de FM que se recogen y son filtradas y amplificadas (1 y 2), y el mensaje de emergencia que el operador del túnel requiera transmitir (4 y 5). La salida de este bloque es una señal RF FM que va a ser transmitida en el túnel, directamente a la unidad maestra y mediante el bloque de transmisión óptica y acoplamiento a las estaciones esclavas.

El número de portadoras y la definición de la banda de frecuencias de trabajo del sistema radio, condiciona completamente el diseño y el presupuesto de este sistema, por este motivo, lo apuntado es a modo de estimación previa.

La recepción de señales procedentes de repetidores exteriores radio se efectúa en las proximidades del cuarto técnico, mediante un grupo de antenas (una para la banda Tetra, una para la banda FM, y una para la banda VHF) que se instalarán sobre un mástil que se ubicará en el entorno del cuarto técnico.

Las señales captadas por las antenas o bien la señal que contiene el mensaje de emergencia a transmitir y que parte del centro de control, son transmitidas en el interior del túnel mediante el cable radiante. Las señales radio se transmitirán desde las antenas al cable radiante a través de los amplificadores FM/VHF/Tetra del rack maestro y/o del rack esclavo. Es necesario que el nivel de las señales recibidas en el exterior del túnel sea adecuado para poder retransmitirlas en el interior del túnel con una calidad suficiente.

Los usuarios del túnel pueden sintonizar los canales de radiodifusión FM retransmitidos en el interior del túnel. La consola de inserción de mensajes de emergencia en estos canales será controlada por el operador del Centro de Control del túnel.

Seguridad de las comunicaciones en el túnel

Uno de los requisitos fundamentales de los sistemas de comunicaciones en el interior de los túneles es su fiabilidad en condiciones extremas. Para ello, se pueden definir diferentes niveles de redundancia, que permitan garantizar el servicio ante distintas situaciones de fallo o caída de equipos.

Los casos de fallo que no soportaría el sistema y que provocarían una interrupción de las comunicaciones en el interior del túnel, son:

- Caída de la unidad maestra, por avería o fallo de corriente eléctrica.
- Rotura del cable radiante por dos o más puntos. En este caso, el tramo de cable radiante comprendido entre los dos lugares en los que se presenta la rotura queda sin servicio.

Validación del cable radiante

La elección de un tipo de cable u otro depende de dos parámetros a tener en cuenta:

- El primer parámetro, la longitud del cable radiante del túnel. Este valor influirá en la atenuación de la señal.
- El segundo de los parámetros, la frecuencia de mayor valor, que se corresponde con la banda de Tetra, y cuya frecuencia de emisión se encuentra en las proximidades del valor de 390 MHz. Para este valor de frecuencias se fijan unos límites mínimos de señal recibida, dependiendo del modo de funcionamiento del sistema.

Para el diseño radio se han fijado los siguientes niveles mínimos de potencia recibida por los equipos que se tienen que garantizar:

- Modo de funcionamiento nominal, sin roturas en el cable. Nivel mínimo de recepción de señal en el interior del túnel: valor superior a - 96,00 dBm con un fading marginal de 10dB.
- Modo de funcionamiento degradado, con el cable radiante roto por un único lugar o pérdida de una unidad esclava. Nivel mínimo de recepción de señal en el interior del túnel: valor superior a - 96,00 dBm.

18.6.2.5. ANALISIS DE RIESGOS TÚNELES DEL BRUC

En el Apéndice 1, se incluye el Análisis de Riesgos realizado para los túneles del Bruc, donde se han analizado, tanto la posibilidad mantener únicamente los dos tubos existentes como la posible necesidad de proyectar un tercer tubo.

Tras comprobar que en la alternativa con dos tubos se obtenían resultados que no eran compatibles con la seguridad y obtener resultados adecuados para la alternativa con un tercer tubo, se adoptó esta configuración en el Anteproyecto, tal y como estableció la modificación de la Orden de Estudio de fecha 28 de octubre de 2020.

18.7. PASOS DE MEDIANA

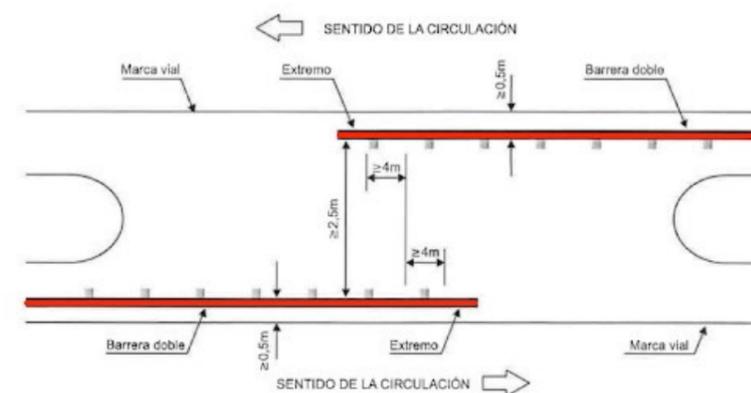
Un paso de mediana es la interrupción en la separación física entre los dos sentidos de circulación de una carretera de calzadas separadas, que facilita la comunicación entre ambas en casos singulares y de emergencia.

Se dispondrán de pasos a través de la mediana en carreteras de calzadas separadas, a intervalos aproximados de dos kilómetros (≈2 km), y a unos doscientos metros (200 m) de los extremos de los túneles de longitud superior a quinientos metros (>500 m), y de las obras de paso de longitud superior a cien metros (>100 m) medida entre estribos.

La longitud mínima libre de los pasos de mediana se ha definido tomando como base lo expuesto en la norma de Trazado, 3.1.-IC en el apartado 8.13, *Pasos de Mediana y Terciana*, en función del trazado en planta y alzado de las posibles trayectorias de los vehículos que puedan atravesarlos, adoptando como valor mínimo libre cuarenta metros (≥40 m). para permitir el paso entre calzadas a una velocidad de 80km/h. Así mismo, a ambos lados de los pasos de mediana se dispondrá un tramo de transición en una longitud mínima de sesenta metros (≥60 m) para que el usuario pueda hacer el cambio progresivo de calzada.

Con carácter general, los pasos de mediana no se han dispuesto en puntos bajos de la rasante, con el objetivo de garantizar el drenaje superficial del paso de mediana.

El firme proyectado en los pasos de mediana tendrá la misma sección estructural que el firme proyectado en la autovía, en la cual se ha se ha propuesto mantener la misma sección estructural del firme existente que es la 0031.



Como elemento delimitador de las dos calzadas se prevé disponer una barrera metálica doble y desmontable, de clase de contención alta, H2, con anchura de trabajo W7, D=2,70, en una longitud mínima de cuarenta metros (40 m) para permitir la permeabilidad y que se puedan realizar las funciones propias del paso de mediana.

En función de la actuación en cada caso prevista en el trazado del tronco, y dado que en algunos tramos se han llevado a cabo rectificaciones de alguna de sus alineaciones, ha sido preciso reconfigurar los pasos de mediana existentes, resultando los pasos definidos en la siguiente tabla resumen.

ID	PK (centro)	Longitud (m)	Longitud entre pasos (m)
1	551+300	40.00	1,600.00
2	552+900	40.00	1,900.00
3	554+800	40.00	2,300.00
4	557+100	40.00	2,450.00
5	559+550	40.00	920.00
6	560+470	40.00	1,530.00
7	562+000	40.00	4,500.00
8	566+500	40.00	670.00
9	567+170	40.00	1,530.00
10	568+700	40.00	1,800.00
11	570+500	40.00	1,200.00
12	571+700	40.00	2,000.00
13	573+700	40.00	1,800.00
14	575+500	40.00	1,800.00
15	577+300	40.00	1,885.00
16	579+185	40.00	1,890.00
17	581+075	40.00	1,925.00
18	583+000	40.00	--
Distancia media entre pasos:			1,864.71

Pasos de mediana proyectados

18.8. REORDENACIÓN DE ACCESOS

La reordenación de accesos se trata en el anejo nº 11 "Reordenación de Accesos", en el que se incluye la propuesta de reposición de los diferentes caminos vecinales, generalmente de carácter agrícola y resto de viales afectados por las obras proyectadas. Además, en el documento nº 2 "Planos", se representa la reposición de caminos que se ven afectados por el viario proyectado.

Para su reordenación se ha tenido en cuenta la cartografía catastral de modo que los caminos mantengan el acceso a todas las parcelas próximas al viario.

18.9. VIALIDAD INVERNAL. ÁREAS DE ESTACIONAMIENTO DE EMERGENCIA

Con la intención de solucionar los problemas que genera, durante la época invernal, las nevadas y los cortes de tráfico debido a las inclemencias climatológica, que obligan a los conductores de vehículos pesados a circular en unas condiciones de extrema prudencia y en las que se hace necesario, incluso, plantearse la retirada de la circulación de los vehículos pesados por razones de seguridad vial, se proyectan dos áreas de estacionamiento de emergencia para camiones. A continuación, se describen cada una de ellas.

La Autovía A-2 es una de las principales vías de conexión entre España y Francia, incluido dentro de itinerarios de carácter internacional para el transporte de mercancías, resultando imprescindible la presencia de aparcamientos de emergencia en zonas estratégicas. Consecuentemente, se deberá facilitar y hacer más operativas las situaciones de restricción a la circulación en casos de condiciones climatológicas adversas, así como el estacionamiento ordenado de los vehículos.

Las áreas de estacionamiento de emergencia se han ubicado en la zona del puerto del Bruc, que es la zona más problemática cuando se producen fenómenos meteorológicos invernales adversos y en las proximidades del enlace de Esparraguera Norte. De esta forma, se dan alternativas para el aparcamiento de vehículos pesados, a ambos lados del puerto, cuando haya que recurrir a la prohibición de la circulación de este tipo de vehículos, debido al elevado riesgo que supone su circulación cuando se acumula nieve en la calzada por la posibilidad de bloqueo de la vía

Tal y como solicita el Ministerio de Fomento en sus "Instrucciones a tener en cuenta para la mejora de la vialidad invernal en las carreteras de la red del Estado" de julio de 2017, se ha evitado que el acceso al nuevo aparcamiento de emergencia proyectado se realice por enlaces que sean también utilizados por los equipos quitanieves para acceder al Centro de Conservación y Explotación.

Para ambos aparcamientos el estudio de firmes y pavimentos se ha desarrollado a partir de los resultados del estudio de tráfico que permite establecer que la categoría de tráfico a aplicar en el diseño del firme es del tipo T2.

Se ha considerado una categoría de explanada E3 constituida por:

- 0.30 m Suelo estabilizado tipo 3
- 0.30 m Suelo seleccionado tipo 2

SECCIÓN TIPO EN RELLENO	Material	Espesor (m)
Explanada tipo E3	S EST 3	0,30
	S SEL 2	0,30
Núcleo y cimiento de terraplén	Suelo Tolerable (0)	Var (min. 1 m)

La elección de una sección de firme de tipo rígido se considera óptima desde el punto de vista técnico puesto que se conoce que son las que tienen un mejor comportamiento ante las cargas tangenciales inducidas por el giro de vehículos pesados a bajas velocidades.

Dada la naturaleza de los aparcamientos de vialidad invernal y la práctica constructiva habitual, se hace necesario considerar exclusivamente el empleo de firmes con pavimento de hormigón. En esta línea para una categoría de tráfico pesado representativa T31 y una explanada E3, el único paquete de firme propuesto es un 3134 formado por 20 cm de zahorra artificial y pavimento de hormigón en masa con juntas sin pasadores HF-4,0 de 21 cm (según el apartado “6.2.3. Pavimento de hormigón” de la Norma 6.1-IC).

CAPAS	3134HF (20 cm de zahorra artificial + 21 cm de HF)	
	Espesor	Descripción de la unidad
Pavimento	21 cm	<ul style="list-style-type: none"> - Hormigón de firme en masa con juntas sin pasadores HF-4,0 - Resistencia característica mínima a flexotracción a 28 días = 4,0 MPa - Cemento clase resistente 32,5N o 42,5N - Dosificación cemento $\geq 300\text{kg/m}^3$. Relación agua-cemento a/c $\leq 0,46$ - Árido grueso: TMA $\leq 40\text{mm}$, LA < 35, FI < 35 - Árido fino: Partículas silíceas $\geq 30\%$ (PSV $\geq 44\%$)
Riego		- Imprimación: Emulsión C50BF4 IMP, dotación 1,00 Kg/m ²
Subbase	20 cm	<ul style="list-style-type: none"> - Zahorra artificial - No plástico - EA > 40 - Coeficientes de Los Ángeles < 30.

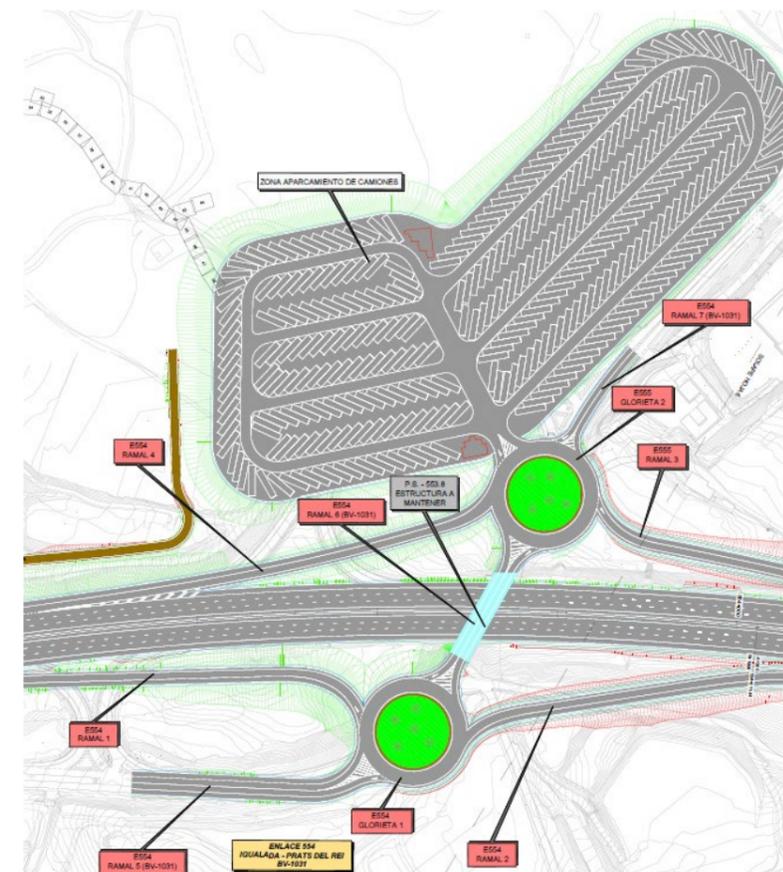
18.9.1. ESTACIONAMIENTO DE EMERGENCIA SITUADO EN PK 553+800

Se sitúa en la zona norte de la Autovía A-2 en el entorno del enlace 554 - Igualada-Prats del Rei (BV-1031). La glorieta superior del enlace da acceso al aparcamiento, el cual tiene una superficie de 43.480m², con una capacidad de 348 plazas de aparcamiento para vehículos pesados, y cuenta con dos zonas de higiene y descanso habilitadas para los conductores y acompañantes.

El trazado a lo largo del aparcamiento se ha realizado mediante carriles de un único sentido y 6 metros de anchura. La gran parte del recorrido se realiza en trayectorias rectas. La transición entre las diferentes rectas de todo el recorrido se produce mediante curvas de radio superior a 11,5 metros.

En cuanto a las Instalaciones, se han considerado una instalación de alumbrado público formado por luminarias tipo led dispuestas cada 25 metros, situando los báculos en las aceras que delimitan los distintos carriles y plazas de aparcamiento de la explanada de proyecto.

En la siguiente imagen se muestra la distribución de dicho aparcamiento:



Estacionamiento de Emergencia propuesto PK 553+800

Por otra parte, en la mayor parte del perímetro del aparcamiento se ha previsto la disposición de un cerramiento conformado por barreras rígidas de hormigón homologada para asegurar un adecuado nivel de contención para la circulación de vehículos pesados.

Sobre las barreras se anclará una valla metálica de acero galvanizado de triple torsión, con postes tubulares de 1,20 m. de altura separados 4 m.

Se ha previsto la disposición de accesos para entrada y de salida en los viales de acceso al aparcamiento que tienen su origen y final en la rotonda de la gasolinera existente.

18.9.2. ESTACIONAMIENTO DE EMERGENCIA SITUADO EN PK 575+000

El estacionamiento proyectado se sitúa en la zona norte de la Autovía A-2, en el PK 575+000, en torno al enlace 576 - Esparraguera Norte. Se tiene acceso al aparcamiento desde ambos sentidos del tronco de la Autovía A-2 a través del enlace 581 Olesa. Dicho aparcamiento tiene una superficie de 44.956 m², con una capacidad de 358 plazas de aparcamiento para vehículos pesados y las instalaciones auxiliares necesarias para su correcta explotación. También cuenta con dos zonas de higiene y descanso habilitadas para los conductores y acompañantes.

El trazado a lo largo del aparcamiento se ha realizado mediante carriles de un único sentido y 6 metros de anchura. La gran parte del recorrido se realiza en trayectorias rectas. La transición entre las diferentes rectas de todo el recorrido se produce mediante curvas de radio 11,5 metros. La recta de máxima pendiente de la totalidad del aparcamiento es de un 4%.

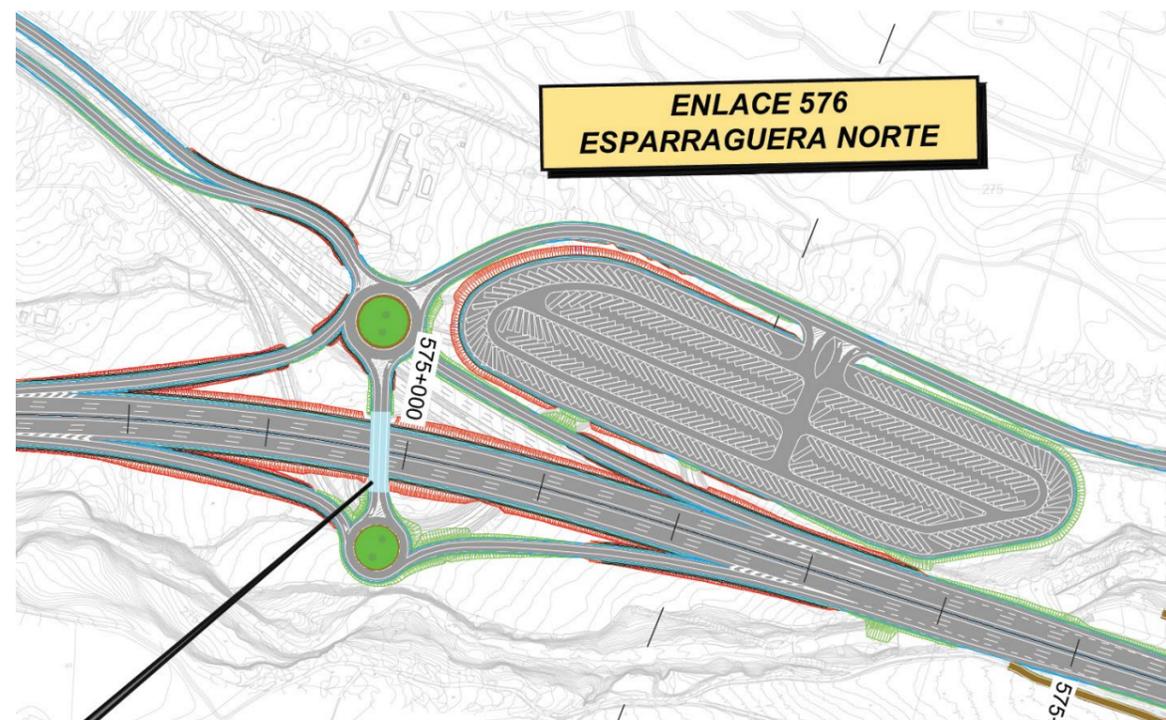
Del mismo modo que en el estacionamiento descrito anteriormente, se ha considerado una instalación de alumbrado público formado por luminarias tipo led dispuestas cada 25 metros, situando los báculos en las aceras que delimitan los distintos carriles y plazas de aparcamiento de la explanada de proyecto.

Por otra parte, en la mayor parte del perímetro del aparcamiento se ha previsto la disposición de un cerramiento conformado por barreras rígidas de hormigón homologada para asegurar un adecuado nivel de contención para la circulación de vehículos pesados.

Al igual que en el otro aparcamiento de emergencia, sobre las barreras se anclará una valla metálica de acero galvanizado de triple torsión, con postes tubulares de 1,20 m. de altura separados 4 m.

Se ha previsto la disposición de puertas de entrada y de salida en los viales de acceso al aparcamiento.

Para la toma de estas decisiones, así como del presupuesto, se ha tomado como referencia el proyecto "Aparcamiento de emergencia en la autovía A-2 en el P.K. 580, junto al enlace con la C-1414. Clave: 39-B-4450".



Estacionamiento de Emergencia propuesto PK 575+000

18.10. LECHO DE FRENADO

Según la nueva Norma de Carreteras Norma 3.1-IC *Trazado*, de febrero de 2016, en su apartado 8.12 se indica que en tramos de carreteras donde existan pendientes fuertes y prolongadas, y los vehículos puedan perder el control por avería en los frenos, se implantarán lechos de frenado, para facilitar la detención de dichos vehículos.

Puesto que se trata de una vía existente, se ha comprobado la existencia de estos sistemas, y se ha verificado que actualmente existe un lecho de frenado en el entorno del PK 577+800 de la Autovía A-2 el cual, considerando las características del trazado proyectado, el cual se ubicaría en un tramo curvo, la intensidad de vehículos pesados que circulan por la misma, y la proximidad del enlace 580 - Esparraguera, por seguridad vial se hace necesario no mantenerlo y proponer uno nuevo.



Lecho de frenado existente. Imágenes de Google earth



Lecho de frenado existente. Imágenes de Google earth

Como se ha indicado anteriormente, en la nueva Norma de Carreteras Norma 3.1-IC *Trazado*, de febrero de 2016, en su apartado 8.12, se exponen las condiciones y características de los lechos de frenado que se han de cumplir.

En primer lugar, se establece que para disponer un lecho de frenado se tienen que cumplir simultáneamente las dos siguientes condiciones:

$$i > 5$$

$$i^2 \cdot l > 60$$

Siendo:

- i = pendiente media de la rasante descendente (expresado en tanto por ciento)
- l = longitud del tramo descendente (expresada en kilómetros)

Apartado 8.12 de Norma 3.1-IC "Trazado"

En este proyecto, existen cuatro tramos diferenciados en los que existe una pendiente longitudinal superior al 5%. No obstante, de los cuatro tramos analizados, únicamente en uno de ellos podría ser necesario incluir un lecho de frenado, ya que cumple la segunda condición en la que se debe cumplir que: $i^2 \cdot l > 60$.

TRAMO	Pk Inicio	Pk Fin	Long (m)	Long (Km)	Pend media (%)	Pend máx (%)	i > 5%	i ² ·l	i ² ·l > 60	Necesario Lecho de frenado
Tramo 1	552+307.076	552+647.076	340.00	0.3400	5.754	6.000	SI	11.26	NO	--
Tramo 2	554+367.076	555+127.076	760.00	0.7600	-5.000	-5.000	SI	19.00	NO	--
Tramo 3	561+885.164	562+847.076	961.91	0.9619	5.609	5.750	SI	30.26	NO	--
Tramo 4	567+807.076	569+047.129	1,240.05	1.2401	-5.800	-6.000	SI	41.71	NO	--
Tramo 5	572+007.076	574+747.076	2,740.00	2.7400	-5.492	-5.500	SI	82.64	SI	SI
Tramo 6	580+067.08	580+287.08	220.00	0.2200	-5.490	-5.500	SI	6.63	NO	--

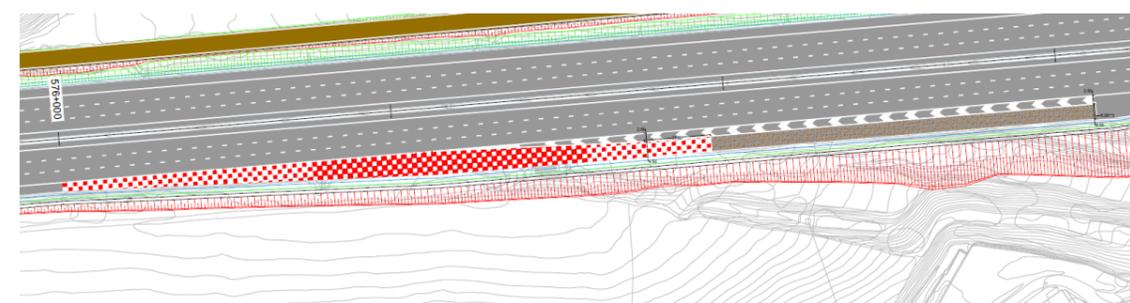
Por tanto, se analiza el tramo comprendido entre los PKs 572+007 y 574+747, teniendo en cuenta que los lechos de frenado se deben ubicar en tramos donde puedan ser distinguidos claramente, incluso en condiciones nocturnas, evitando que los vehículos puedan penetrar inadvertidamente en él. A tales efectos, se tomarán las siguientes medidas:

- Se localizarán preferentemente en tramos rectos.
- Se evitará que la salida al lecho de frenado coincida con una sección de elevada curvatura horizontal.
- No se situarán inmediatamente después de un acuerdo vertical convexo.
- Se deberán divisar con antelación suficiente para que los vehículos que deseen acceder a él, puedan realizar la maniobra de entrada.

En el tramo objeto de análisis (572+007 - 574+747) existe un tramo recto comprendido entre los PKs 572+496.73 y 574+007.08. No obstante, analizando la viabilidad de la implantación del lecho de frenado en este tramo, se detectan las siguientes condiciones para impedir su correcta ejecución:

- Proximidad al viaducto de Can Dalmases 2 (PK 574+500)
- Proximidad al Enlace 576 Esparraguera Norte.

Por ello, analizando el trazado y la continuidad de la pendiente descendente elevada, se proyecta el lecho de frenado en el PK 576+000. No obstante, la ubicación del lecho de frenado será objeto de un estudio pormenorizado analizando todos los condicionantes en la fase de proyecto de construcción.



Lecho de frenado proyectado entre los PKs 576+000 - 576+400

La disposición del lecho de frenado y sus dimensiones, van a estar condicionadas por el trazado proyectado:

- En cuanto a su localización, éste se ubicará de manera adyacente a la plataforma de la carretera con una separación al borde de la calzada equivalente al ancho del arcén, con un valor de 2,50m.
- El ancho del lecho de frenado será mayor o igual que cuatro metros y cincuenta centímetros ($\geq 4,50$ m).

FIGURA 8.27

LECHOS DE FRENADO

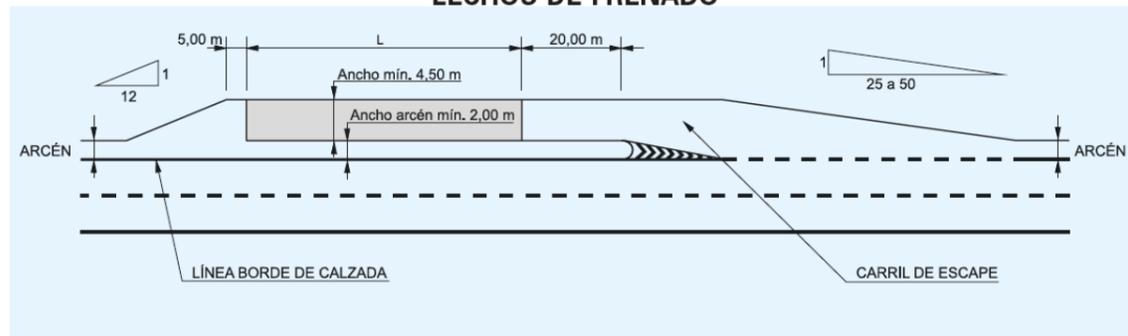


Figura 8.27. Apartado 8.12 de Norma 3.1-IC "Trazado"

- La longitud del lecho de frenado se define aplicando la tabla 8.4 de la Norma 3.1-IC "Trazado" dónde se define la longitud del lecho de frenado "L" en función de la velocidad a la entrada al lecho.

Así mismo, se considerará lo indicado en el apartado 8.12 de Norma 3.1-IC "Trazado"

Cuando en el lecho de frenado se disponga gravilla rodada suelta de tamaño 5/10 mm con una profundidad mayor o igual que cincuenta centímetros (≥ 50 cm), se podrá adoptar como longitud (L) del lecho de frenado la indicada en la Tabla 8.4, la cual se aumentará en un tres por ciento (3 %) por cada uno por ciento (1 %) de pendiente descendente de la rasante del lecho de frenado sobre la pendiente nula (horizontal).

TABLA 8.4

LONGITUD DEL LECHO DE FRENADO

VELOCIDAD DE ENTRADA AL LECHO DE FRENADO (km/h)	LONGITUD (L) DEL LECHO DE FRENADO (m)
120	165
100	115
85	85
70	60
60	45
50	35

Tabla 8.4. Apartado 8.12 de Norma 3.1-IC "Trazado"

Por tanto, los valores tomados son los siguientes:

- Velocidad de entrada al lecho = 100 km/h; L = 115 m
Esta longitud hay que aumentarla un 3% por cada 1% de pendiente respecto a la pendiente nula.

Se tiene un 5,5%, por tanto, $5,5\% \times 3\% = 16,5\%$

Se aumenta un 16,5% la longitud de 115 m = 133,97 m \rightarrow **L = 134 m**

- Las cuñas serán para un ancho de lecho de 4,50 m:

- Cuña de entrada:

- o 25 a 1 \rightarrow 112,5 m Mínimo
- o 50 a 1 \rightarrow 225,0 m Máximo

Entre las distintas opciones estudiadas entre ambos valores se adopta la longitud mínima de 112,5 m ya que así el inicio de la cuña de entrada al lecho de frenado se ubica en un tramo recto prolongado.

De este modo, el vehículo que necesite utilizar el lecho de frenado podrá hacerlo con una trayectoria marcada por un radio mayor, el que permite la cuña de entrada al mismo con la consiguiente mejora de seguridad vial en este punto.

- Cuña de salida: 12 a 1 \rightarrow 54 m

Aunque puntualmente la pendiente de la rasante entre los PKs 576+000 – 576+400 sea de 2.50%, el análisis del lecho de frenado se ha realizado para una pendiente de 5.50% porque ésta pendiente es la que se corresponde con la del tramo previo y se decide proyectar para la pendiente máxima en el tramo siendo esta 5.50%. No obstante, en la siguiente fase de proyecto de construcción se resolverá la ubicación definitiva del lecho de frenado.

El lecho estará constituido por una cama de material disgregado, de tal forma que se consiga la detención del vehículo al hundirse sus ruedas en el material granular.

La capa granular estará formada a base de gravas naturales limpias de partículas redondeadas no procedentes de machaqueo de tamaño 5/10 mm.

Se asegurará la capacidad drenante del material granular con la instalación de un dren longitudinal de diámetro mínimo 200 mm conformando el dispositivo de drenaje necesario para impedir la retención de agua, que en caso de helarse reduciría notablemente la función desaceleradora del lecho de frenado. Así mismo, a la entrada del lecho se ha proyectado una rejilla-sumidero. Dichos elementos se detallan en el Anejo nº 4 "Climatología, hidrología y drenaje".

El material de relleno del lecho estará contenido entre muretes laterales y sobre una solera de hormigón de 30 cm de espesor, con una inclinación transversal del 2%.

El espesor del material de relleno aumentará progresivamente durante el primer cuarto de longitud del lecho, desde unos 10 cm, a la entrada del lecho, hasta un espesor de 50 cm que se mantendrá en la parte central del lecho de frenado. En el último cuarto de longitud irá perdiendo profundidad para volver a alcanzar los 10 cm. Esta disposición tiene por objeto permitir una transición suave en la entrada, facilitar la salida y el hundimiento progresivo del vehículo y, al mismo tiempo, que se logre una pendiente suficiente para facilitar el drenaje.

Se dispondrán señales S-16 a 1.000 m, a 500 m y a 50 m del principio del lecho de frenado, indicando en un panel complementario esa distancia para facilitar su percepción:



Zona de frenado de emergencia
S-16

La disposición del lecho y sus dimensiones, se incluyen en el documento de Planos, colección 12. *Obras Complementarias*.

18.11. ZONAS DE INSTALACIONES AUXILIARES

En el presente apartado se han definido zonas de instalaciones auxiliares con la superficie necesaria para el parque de maquinaria, las distintas casetas de obra, así como zona de acopio de tierras y materiales.

Dichas zonas se han definido valorando la facilidad de acceso a estas instalaciones, la idoneidad ambiental de los espacios afectados, así como la mínima interferencia con los servicios y parcelas existentes.

Por una parte, es importante que estas zonas se encuentren en una zona dotada de buena accesibilidad, tanto desde la red viaria existente como desde los diferentes tajos de obra. Por otra, es conveniente que las zonas destinadas a las instalaciones de obra se encuentren prácticamente horizontales, a fin de facilitar los movimientos internos, tanto del personal como de la maquinaria, dentro del recinto, así como la ubicación de las distintas instalaciones (planta de hormigón, planta de tratamiento de áridos, laboratorio de obra, etc.).

Debido a la abrupta orografía de la zona de proyecto, existe dificultad para localizar zonas amplias y llanas adecuadas para la ubicación de las instalaciones, próximas a las zonas de obra y que tengan buena comunicación.

Teniendo en cuenta estas consideraciones, se han proyectado cinco zonas de instalaciones auxiliares:

- ZIA 01: con superficie de 15,928.4850 m², está ubicada en las proximidades del Enlace 554 Igualada – Prats de Rei, BV-1031 en la margen derecha del Tronco en el entorno del PK 554+010. El acceso a este punto se realizará a través del camino existente localizado bajo el ramal proyectado E554 – Ramal 2.
- ZIA 02: con superficie de 29,255.096 m², está ubicada en la margen derecha del Tronco en el entorno del PK 556+240. El acceso a este punto a través de los caminos colindantes existentes.
- ZIA 03: con superficie de 27,855.489 m², está ubicada próxima al Enlace 561 Castellolí Oeste por la margen derecha del Tronco en el entorno del PK 560+600. El acceso a este punto se podrá realizar desde la A-2 y caminos de acceso.
- ZIA 04: con superficie de 35,608.460 m², está ubicada anexa al paso inferior 569.9 por la margen derecha del Tronco en el entorno del PK 570+000. El acceso a este punto se realizará a través del Ramal 10.
- ZIA 05: con superficie de 84,480.460 m², está en la margen izquierda del Tronco en el entorno del PK 577+780. El acceso a este punto se realizará a través de las vías existente anexas al tronco (C. de la Cerdanya).

ZIA	SUPERFICIE (m ²)
ZIA 01	15,928.4850
ZIA 02	29,255.096
ZIA 03	27,855.489
ZIA 04	35,608.460
ZIA 05	85,480.460

Dado el carácter temporal de estas plataformas, se ha proyectado en tierras y con una ligera pendiente transversal hacia el exterior de un 2% (bombeo) para facilitar el drenaje.

18.12. DEMOLICIONES

El presente apartado tiene por objeto localizar todos los elementos que se deberán demoler:

- m² de pavimento de la antigua traza.
- m³ de edificaciones afectadas por la nueva traza.
- m³ de estructuras a demoler.

18.12.1. DEMOLICIÓN DE PAVIMENTOS

Las mediciones de demolición de pavimento se han dividido en ramales de enlace y tramos del tronco:

- Algunos tramos a demoler son debidos al cambio de trazado en las zonas de variantes del tronco, así como al cambio de trazado de ciertos radios de curvatura en el tronco para el cumplimiento de los parámetros restrictivos tanto en planta como en alzado. Para ello se han separado en dos tramos; tronco antes de los túneles del Bruc y tronco después de los túneles del Bruc (ambos en sentido Barcelona).
- Otros tramos a demoler están provocados por los cambios realizados en los ramales de los enlaces. Se medirán los m² de pavimento a demoler por enlace.

18.12.2. DEMOLICIÓN DE EDIFICACIONES EXISTENTES

Todas las edificaciones a demoler, 47 a lo largo de la traza, son de carácter privado. Se contabilizan los m³ de demolición de las edificaciones considerando el área y una altura de 3,00 m, 6,00 m ó 9,00 m dependiendo del número de plantas, 1, 2 o 3 respectivamente. Del mismo modo que se ha hecho con la demolición del pavimento, se ha separado la medición en dos tramos; tronco antes de los túneles del Bruc y tronco después de los túneles del Bruc (ambos en sentido Barcelona). En la siguiente tabla se muestran las edificaciones que se van a demoler:

PK	SUPERFICIE (m ²)	ALTURA (m)	MEDICIÓN (m ³)
551+430	20.00	6.00	120.00
554+220	27.31	3.00	81.93
554+220	6.41	3.00	19.23
555+500	153.04	6.00	918.24
559+500	23.56	5.00	117.80
555+500	1.41	3.00	4.24
555+500	1.50	3.00	4.50
559+500	63.80	3.00	191.40
563+100	532.57	7.00	3,727.99
563+100	131.17	5.00	655.85
563+100	495.80	3.00	1,487.41
563+860	215.84	9.00	1,942.56
563+870	109.12	9.00	982.09
563+880	161.16	9.00	1,450.44
563+885	81.50	9.00	733.50
563+885	8.66	3.00	25.98
563+920	245.30	7.00	1,717.10
563+950	425.77	7.00	2,980.39
563+950	4.56	2.00	9.12
563+970	178.94	7.00	1,252.58

PK	SUPERFICIE (m ²)	ALTURA (m)	MEDICIÓN (m ³)
565+080	89.17	7.00	624.19
565+800	965.15	7.00	6,756.05
565+800	2,486.60	7.00	17,406.20
567+300	25.40	3.00	76.20
567+300	7.41	3.00	22.23
567+300	33.61	6.00	201.66
567+300	111.88	9.00	1,006.92
568+250	75.65	5.00	378.25
568+300	463.51	7.00	3,244.58
568+500	2.25	3.00	6.75
568+650	22.32	6.00	133.92
570+100	643.91	6.00	3,863.46
577+950	10.78	6.00	64.69
577+950	1.70	3.00	5.10
578+100	86.49	6.00	518.94
578+100	50.75	5.00	253.75
578+320	162.97	9.00	1,466.73
578+320	183.60	9.00	1,652.40
578+450	87.54	6.00	525.24
578+450	56.13	6.00	336.78
578+450	41.25	6.00	247.50
578+450	24.05	3.00	72.15
578+500	13.13	6.00	78.78
578+500	7.53	6.00	45.18
578+500	152.54	9.00	1,372.86
579+020	16.03	3.00	48.09
580+000	43.75	3.00	131.25
TOTAL			58,962.20

Demolición de edificaciones existentes

18.12.3. DEMOLICIÓN DE ESTRUCTURAS EXISTENTES

Las estructuras a demoler a lo largo de la traza se contabilizan en m³, considerando la longitud, el ancho y el canto de la estructura. Las mediciones se dividen en dos tramos; tronco antes de los túneles del Bruc y tronco después de los túneles del Bruc (ambos en sentido Barcelona).

En la siguiente tabla se muestran las estructuras que van a ser demolidas, bien sea porque no cumplen los requisitos estructurales, o bien por que el tramo va a quedar en desuso:

Estructura	Comentarios	Tipología (Existente)	Longitud (m)	Ancho (m)	Canto (m)
PS 551-6	Demolición y reposición	Vigas Artesa	71,00	11,00	1,75
PS 556-1	Demolición y reposición	Vigas Artesa	64,00	7,00	1,75
PS 556-7	Demolición y reposición	Vigas Artesa	68,00	11,00	1,75
PS 559-9	Demolición	Vigas Artesa	141,00	11,50	2,30
PS 563-2	Demolición y reposición	Vigas Artesa	44,00	11,00	1,75
PS 566-2	Demolición	Vigas Doble T	167,50	15,00	2,30
PS 566-9	Demolición	Vigas Doble T	170,00	15,00	2,30
PS 575-3	Demolición y reposición	Vigas Artesa	49,00	7,00	1,75
PS 576-7	Demolición y reposición	Vigas Artesa	44,00	7,00	1,75
PS 578-1	Demolición y reposición	Losa / Vigas Artesa	66,00	15,00	0,80
PS 578-4	Demolición y reposición	Vigas Artesa	87,00	7,00	1,75
PS 579-0	Demolición y reposición	Vigas Artesa	68,00	14,00	1,75
PS 579-6	Demolición y reposición	Vigas Artesa	69,00	14,00	1,75
PS 581-6	Demolición y reposición	Vigas Artesa	71,50	10,00	1,75
PS 581-9	Demolición y reposición	Vigas Artesa	62,00	14,00	1,75
PS 552-8	Demolición y reposición	Bóveda	49,00	9,00	0,30
PS 565-1	Demolición y reposición	Tablero nervado	12,50	7,00	0,90

Demolición de estructuras existentes

Los viaductos existentes en los dos tramos de variante (viaducto Torrent de la Puda, viaducto de la Cova del Sol y viaducto de Cal Mata) se van a demoler, ya que estos tramos quedan en desuso. El resto de las estructuras que se prevén demoler son pasos a distinto nivel (superiores e inferiores) que cruzan la traza y que serán repuestos.

La medición de la demolición de las estructuras se incluye en el anejo de estructuras.

18.13. TRASLADO DE PARADAS DE VEHÍCULOS DE TRANSPORTE COLECTIVO

En el siguiente apartado se ha realizado un análisis de las paradas de autobús existente a lo largo del corredor, su interferencia con las obras proyectadas y las actuaciones requeridas en cada caso.

De acuerdo con lo indicado en la Norma 3.1. de Trazado de la Instrucción de Carreteras (Orden FOM/273/2016), los vehículos de transporte colectivo no podrán detenerse en los carriles destinados a la circulación por lo que, en los lugares donde se permita, deberán establecerse parada mediante un ensanche de la plataforma adosado a la calzada.

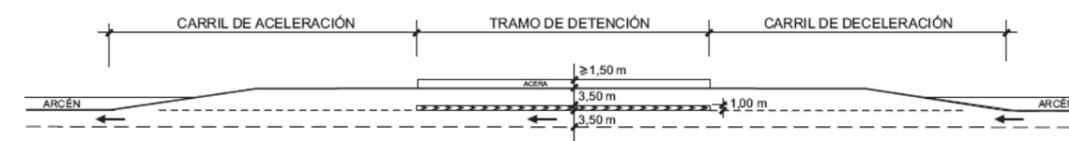
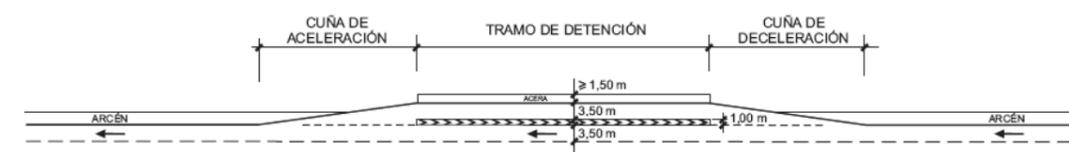
En relación con las paradas de vehículos de transporte colectivo existentes y afectadas por el trazado, su nueva ubicación se regirá por los siguientes criterios:

- En el tronco de autopistas, autovías y vías colectoras - distribuidoras no se dispondrán.
- En las plataformas o carriles para vehículos de transporte colectivo se dispondrán, salvo excepciones justificadas, adosadas a las mismas. En ausencia de dichas plataformas o carriles, se ubicarán de forma preferente en vías de servicio.

- En las proximidades de un enlace, se dispondrán en la vía o carretera secundaria con las que se conecte o en sus ramales, debiendo exigirse en este caso, que se sitúe a más de doscientos cincuenta metros (> 250 m) medidos en el ramal desde la sección característica de un metro (1,00 m) del carril de cambio de velocidad.
- En carreteras convencionales o multicarril, se dispondrán adosadas a la propia carretera.

Los vehículos de transporte colectivo detenidos en las paradas deberán ser divisados por los conductores a una distancia mayor o igual que la correspondiente a la visibilidad de parada, para la velocidad de proyecto (Vp) de la carretera, debiendo su implantación ser analizada conjuntamente con el trazado en planta y alzado.

El ancho total de las paradas en el tramo de detención será de cuatro metros y cincuenta centímetros (4,50 m) con la siguiente distribución: tres metros y cincuenta centímetros (3,50 m) de parada propiamente dicha y un metro (1,00 m) de cebreado de separación del carril. En el tramo de detención se dispondrá, además, para resguardo de los peatones, una acera con un ancho mínimo de un metro y cincuenta centímetros ($\geq 1,50$ m), sin contar el ensanche que pueda ser necesario para disponer tanto una marquesina como el desembarco de una pasarela si existiese.



Disposición de los carriles de detención

Las paradas y sus carriles o cuñas de cambio de velocidad se dispondrán con la misma pendiente transversal que los arcenes de la calzada principal.

La longitud del tramo de detención en las paradas, teniendo en cuenta la frecuencia de uso ²⁵ y el tipo de vehículos que la utilizan (rígidos o articulados), será:

- Si no fuera frecuente la coincidencia de dos vehículos de transporte colectivo en una parada:
 - o Mayor o igual que quince metros ($\geq 15,00$ m) si todos los vehículos son rígidos.
 - o Mayor o igual que veinte metros ($\geq 20,00$ m) si hay vehículos articulados.

Nota ²⁵: Si se desconocen los horarios de los vehículos de transporte colectivo, se podrá considerar simultáneamente que una parada no es de uso frecuente (con bajas posibilidades de detención simultánea de dos vehículos de transporte colectivo), cuando el número de detenciones en la franja horaria de mayor tráfico es menor de quince (> 15).

En el siguiente cuadro se presenta una relación de paradas que están actualmente en funcionamiento, y que se ven afectadas por el nuevo trazado, así como su nueva ubicación:

PARADAS DE BUS						
ID	PK	Municipio	Ubicación	Actuación	Nueva	Observaciones
			Actual		Ubicación	
Parada BUS 1A	560,560	Castellolí	Junto pasarela peatonal en carril de incorporación hacia Lleida	Desaparece	-----	En el anteproyecto se prevé un trazado distinto del actual
Parada BUS 2A / 2B	561,380	Castellolí	Junto pasarela peatonal en vías de servicio de ambas márgenes	Traslado	En los ramales del enlace 561 Castellolí Oeste	En el anteproyecto se prevé un trazado distinto del actual
Parada BUS 3	567,650	El Bruc	En vía de servicio de margen izquierda	Traslado	Se desplaza al nuevo ramal del enlace 569 Coll del Bruc, próximo a la rotonda	En el anteproyecto se prevé un trazado distinto del actual y coincide ubicación con Enlace 569-G1-Collbató 20
Parada BUS 4A	570,940	El Bruc	En isleta de vía de servicio de margen izquierda	Mantiene	Se mantiene ubicación	Se amplía un carril calzada izquierda con posible modificación vía de servicio
Parada BUS 5A	571,740	El Bruc	En isleta de vía de servicio de margen izquierda	Mantiene	En la vía de servicio de la Autovía en el PK 571+690	Se amplía un carril calzada izquierda con posible modificación vía de servicio
Parada BUS 6B	571,900	Collbató	Vía de Servicio hacia Enlace de Collbató desde calzada derecha	Mantiene	Se traslada en la misma vía de servicio al PK 572+060	Se amplía un carril calzada derecha. Habría que buscar nueva ubicación
Parada BUS 7A	572,500	Collbató	Esquipa en incorporación a vía de servicio margen izquierda	Mantiene	Se mantiene ubicación	No se ve afectada por el nuevo trazado

PARADAS DE BUS						
ID	PK	Municipio	Ubicación	Actuación	Nueva	Observaciones
			Actual		Ubicación	
Parada BUS 7B	572,460	Collbató	Esquipa en incorporación a vía de servicio margen derecha	Mantiene	Se mantiene ubicación	No se ve afectada por el nuevo trazado
Parada BUS 8B	573,240	Collbató	En vía de servicio de margen derecha	Mantiene	Se mantiene ubicación	No se ve afectada por el nuevo trazado
Parada BUS 9A	573,540	Collbató	En vía de servicio de margen izquierda	Mantiene	Se desplaza 10 m hacia el norte en el mismo PK, ya que el nuevo trazado pasa por encima de la actual	Se amplía un carril en calzada derecha con posible modificación vía de servicio
Parada BUS 10A	581,250	Abrera	En ramal bajo paso inferior en enlace de Abrera, margen derecha.	Mantiene	Se mantiene ubicación	No se ve afectada por el nuevo trazado

Relación de paradas de autobús afectadas

18.14. ILUMINACIÓN

18.14.1. OBJETO

El criterio a seguir para determinar las obras complementarias relacionadas con las instalaciones de iluminación es el de reponer la iluminación existente en el tramo de proyecto y por otro lado, analizar la necesidad de proyectar nuevas instalaciones de alumbrado en los tramos de nueva ejecución, concretamente en los enlaces.

Por ello, a continuación se va a justificar la probable necesidad de instalaciones de alumbrado en el Anteproyecto y Estudio de Viabilidad de Adecuación, Reforma y Conservación de la Autovía A-2. Tramo: Igualada - Martorell. P.K. 550,6 al P.K. 585,5.

La iluminación se trata en el anejo nº 17 "Reposición De Servicios", en el que se incluye la propuesta de reposición de los diferentes servicios afectados, además de los referentes a servicios, se describe y propone la reposición de la iluminación existente y postes SOS. Además, en el Documento nº 2 "Planos", se representa la reposición de caminos que se ven afectados por el viario proyectado.

El objetivo fundamental de la iluminación de carreteras es permitir una visión segura y confortable durante la noche. Estas cualidades de la visión pueden facilitar y mejorar el tráfico, proporcionando beneficios económicos y sociales tales como:

- Reducción de accidentes nocturnos (daños humanos y pérdidas económicas).
- Ayuda a la protección policial y la seguridad ciudadana.
- Promoción del transporte y desplazamiento durante horas nocturnas.

El alumbrado debe proporcionar al conductor no sólo confort visual, si no la visibilidad necesaria para distinguir los obstáculos y el trazado de la carretera con el tiempo preciso para efectuar las maniobras que garanticen su seguridad.

Este apartado consiste en analizar, y en su caso establecer y justificar los datos técnicos necesarios para implantar un sistema de alumbrado en los nuevos enlaces proyectados.

Para ello se ha seguido la normas y recomendaciones indicadas en el apartado anterior y como criterio adicional, se han tenido en cuenta las zonas que actualmente se encuentran iluminadas.

18.14.2. NORMAS Y RECOMENDACIONES

En la redacción del anteproyecto se han tenido en cuenta las normas y recomendaciones siguientes, actualmente en vigor:

- Real Decreto 1890/2008 de 14 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior y sus Instrucciones técnicas complementarias de EA-01 a EA-07.
- Orden Circular 36/2015 de 24 de febrero, sobre criterios a aplicar en la iluminación de carreteras a cielo abierto y túneles, Tomos I y II.
- Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión e Instrucciones Técnicas Complementarias (Real Decreto 842/2002 de 2 de agosto, B.O.E. nº 224 de 18 de septiembre de 2002) y en especial la instrucción ITC BT 009 – Instalaciones de Alumbrado Público.
- Reglamento de Eficiencia Energética en Instalaciones de Alumbrado Exterior (Real Decreto 1890/2008)
- Real Decreto 401/1989 de 14 de abril, por el que se modifican determinados artículos del Real Decreto anterior (B.O.E. de 26-4-89). (Derogado parcialmente por: Real Decreto 846/2006, de 07-07-2006, por el que se derogan diferentes disposiciones en materia de normalización y homologación de productos industriales (BOE.Nº 186. 05-08-2006), en todo lo coincidente con lo incluido en la Directiva 89/106/CEE para estos productos).
- Real Decreto 846/2006, de 7 de julio, por el que se derogan diferentes disposiciones en materia de normalización y homologación de productos industriales.

18.14.3. CAPACIDAD VISUAL

El entorno visual del conductor por la noche está formado principalmente por la calzada, la visibilidad de un obstáculo sobre la calzada dependerá de la diferencia de luminancias entre el obstáculo y la propia calzada.

La iluminación de carreteras produce, por norma general, contrastes negativos con objetos más oscuros que su fondo que se ven en silueta.

En la conducción nocturna se reduce la agudeza visual y la sensibilidad diferencial al contraste, así como una alteración importante en la apreciación de distancias, limitación en la percepción lateral de objetos y alteración en la visión cromática.

La iluminación de los propios faros del coche incide únicamente en un área limitada delante de ellos. En cambio, la iluminación del alumbrado público suministra luz tanto a la carretera como a sus alrededores, abriendo el campo de visión al conductor, lo cual puede llegar a ser crítico en determinadas condiciones de tráfico o del entorno, reduciendo el riesgo de accidentes.

18.14.4. CRITERIOS PARA ILUMINAR UN TRAMO DE CARRETERA

18.14.4.1. Criterios de la Orden Circular 36/2015

En base a la Orden Circular 36/2015 sobre criterios a aplicar en la iluminación de carreteras a cielo abierto y túneles, y concretamente en lo fijado en el capítulo 2 “Criterios para iluminar un tramo de carretera. Clases de Alumbrado”, se considera lo siguiente:

- AUTOVÍAS Y AUTOPISTAS: Estará justificado iluminarlas cuando discurren por suelo urbano (ambos márgenes) y concurra alguna de las siguientes circunstancias:
 - Autovías de intensidad media de vehículos igual o superior a 80.000 vehículos por día (IMD \geq 80.000 vehículos/día).
 - La intensidad media de vehículos sea igual o superior a 60.000 vehículos por día (IMD \geq 60.000 vehículos/día) y se produzcan más de 120 días de lluvia al año.
- CARRETERAS CONVENCIONALES: No se iluminarán en general, aunque podrá justificarse su iluminación en caso de que el tramo sea un TCA (Tramo de Concentración de Accidentes) y en los dos últimos años más del 50% de los accidentes se hayan producido en periodo nocturno.
- PUNTOS SINGULARES: Estará justificada la iluminación de los puntos singulares en los siguientes casos:
 - Glorietas situadas en carreteras convencionales, en las que por tener una importante intensidad de tráfico o por su peligrosidad no sea suficiente con una correcta señalización y balizamiento de la misma.
 - Enlaces situados en zonas interurbanas en los que la intensidad media de vehículos sea igual o superior a 80.000 vehículos por día (IMD \geq 80.000 vehículos/día).

- Enlaces situados en zonas interurbanas en los que la intensidad media de vehículos sea igual o superior a 60.000 vehículos por día ($IMD \geq 60.000$ vehículos/día) y se produzcan más de 120 días de lluvia al año.
- Cruces con glorietas e intersecciones a nivel, siempre que el tráfico de la carretera secundaria sea mayor que 10.000 vehículos por día, o bien sea un TCA con un porcentaje de accidentes nocturnos superior al 50% del total de accidentes durante los dos últimos años.

A estos efectos, la IMD que se debe tener en cuenta es la del año de puesta en servicio, que será el año 2025.

En cuanto a la iluminación, en el tronco principal se plantea reposición de la iluminación afectada y relación a los enlaces proyectados se analiza la necesidad de proyectar iluminación en los mismos.

Se proyectan un total de 18 enlaces que se enumeran a continuación:

1. Enlace 551: Igualada oeste N-IIa, BV-1038
2. Enlace 554: Igualada – Prats de Rei BV-1031
3. Enlace 555: Igualada – Òdena C-37
4. Enlace 557: Igualada este BV-1106
5. Enlace 558: Vilanova i la Geltrú – Manresa C-15
6. Enlace 561: Castellolí oeste
7. Enlace 564: Castellolí este – Coll del Bruc
8. Enlace 569: Coll del Bruc
9. Enlace 571: El Bruc
10. Enlace 572: Vía de servicio Collbató
11. Enlace 575: Collbató
12. Enlace 576: Esparreguera norte
13. Enlace 580. Esparreguera
14. Enlace 581. Olesa
15. Enlace 582. B-40
16. Enlace 583. Abrera
17. Enlace 584. C-55
18. Enlace 585. Final de actuación

En base al tipo de actuación proyectada y a los datos de tráfico del año de puesta en servicio que son los que se recogen en el anejo Nº 6 “Planeamiento y tráfico” del proyecto, existen cinco tramos con $IMD \geq 60.000$ vehículos/día (Tramos 13, 14, 15, 16 y 17), de los que los tres últimos tienen una $IMD \geq 80.000$ vehículos/día, como se puede comprobar en la siguiente tabla:

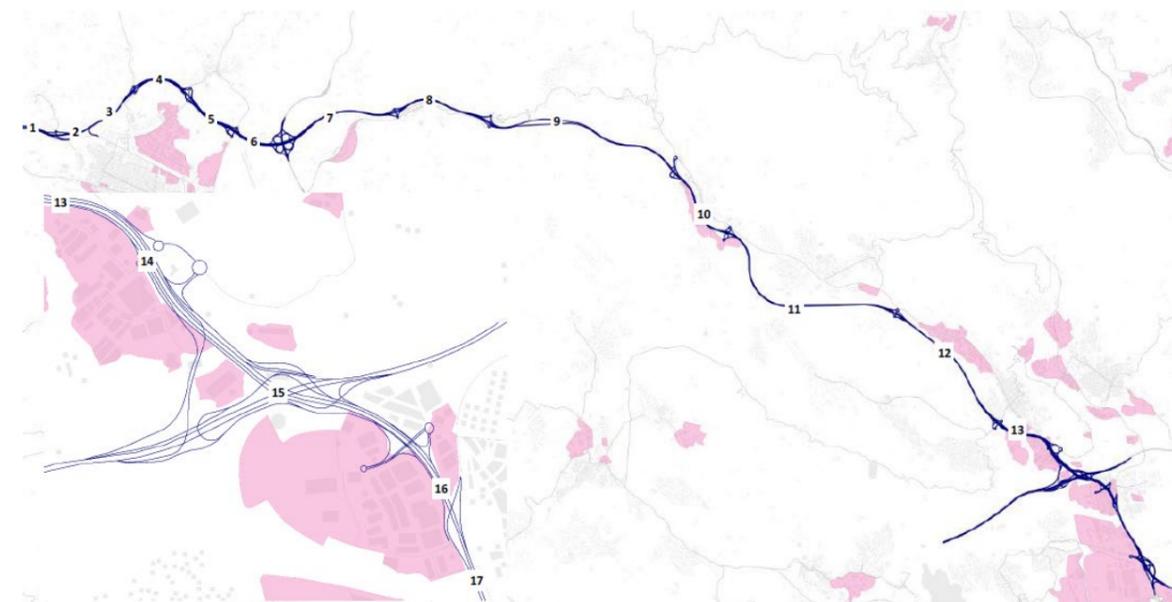
	TRONCO	Vía de Servicio	TOTAL
TRAMO 1	26.895	7.791	34.686
TRAMO 2	27.737	6.949	34.686
TRAMO 3	31.931	-	31.931
TRAMO 4	31.512	2.189	33.700
TRAMO 5	40.550	3.532	44.082

	TRONCO	Vía de Servicio	TOTAL
TRAMO 6	25.260	23.526	48.786
TRAMO 7	35.750	-	35.750
TRAMO 8	41.883	-	41.883
TRAMO 9	41.499	-	41.499
TRAMO 10	44.337	-	44.337
TRAMO 11	47.581	-	47.581
TRAMO 12	52.960	-	52.960
TRAMO 13	60.296	16.626	76.922
TRAMO 14	45.920	26.409	72.329
TRAMO 15	38.840	44.289	83.129
TRAMO 16	75.394	10.547	85.940
TRAMO 17	105.793	-	105.793

Resultados Asignación en IMD. Año de puesta en servicio (2025) extraída del anejo Nº 6 “Planeamiento y tráfico” del proyecto

En relación a los datos de precipitación que se recogen en el Anejo 05 “Climatología, Hidrología y Drenaje” del proyecto, el número de días de lluvia anual es inferior a 120 días.

Por tanto, no es preciso plantear la iluminación del viario proyectado en los tramos comprendidos entre el 1 y 14 dado que no concurren las circunstancias requeridas para la iluminación y en caso de iluminación existente afectada por las actuaciones se repondrá con las mismas características que las existentes.



Tramificación del modelo de simulación extraída del anejo Nº 6 “Planeamiento y tráfico” del proyecto

En cuanto a los tramos 15, 16 y 17, con IMDs superiores a 80.000 veh/día, los susceptibles de proyectar iluminación (Enlaces 582. B-40, 583. Abrera, 584. C-55 y final) actualmente estos tramos ya están iluminados, como también ocurre en algunos enlaces a lo largo de la actuación. Por ello, se ha adoptado el criterio de reponer y adaptar la iluminación existente a las nuevas condiciones del trazado, suponiendo un servicio afectado la iluminación en tramos de la autovía y enlaces que actualmente están iluminados.

Teniendo en cuenta lo anterior, se ha considerado la iluminación proyectada en el Anteproyecto como una reposición de un servicio, por lo que las actuaciones necesarias se tratan en el anejo nº 17 "Reposición de Servicios", en el que se incluye la propuesta de reposición.

18.15. ACERAS

Las aceras de este proyecto responden a las remodelaciones previstas en el proyecto, el acerado será afectado y repuesto en varios lugares.

La reposición del mismo constará de pavimento de baldosa hidráulica 40x40 cm² sobre capa de regularización de hormigón de 10 cm de espesor y un ancho de aproximadamente 2,00 m. Se repondrá la rigola de drenaje en los tramos en las que exista y se dispondrá bordillo no montable cuando la acera esté en contacto con la calzada. En el resto, se ha proyectado bordillo de encintado.

La ubicación de las reposiciones de acerado se refleja en la planta general y el detalle constructivo de las aceras se refleja en los planos 6.1. Secciones Tipo, del Documento nº2 Planos.

APENDICES

APENDICE Nº1. ANALISIS DE RIESGOS TÚNELES DEL BRUC

ÍNDICE

1. ANÁLISIS DE RIESGO DEL TÚNEL DE BRUC.....	3		
1.1. CASOS DE ESTUDIO	3		
1.2. INTRODUCCIÓN.....	3		
1.3. NORMATIVA.....	3		
1.4. ANÁLISIS DE RIESGO POR EL MÉTODO GENERAL.....	4		
1.4.1. Metodología	4		
1.4.2. Modelo de riesgo del túnel.....	4		
1.4.3. Modelo de ventilación.....	7		
1.4.4. Modelo de comportamiento de los usuarios	8		
1.5. ANÁLISIS DE RIESGO POR EL MÉTODO DE LAS MERCANCÍAS PELIGROSAS.....	10		
2. ANÁLISIS DE RIESGO DEL TÚNEL DE BRUC CON DOS TUBOS.....	11		
2.1. DATOS CARACTERÍSTICOS	11		
2.1.1. Datos de localización	11		
2.1.2. Datos principales	12		
2.1.3. Características geométricas.....	12		
2.1.4. Características de tráfico	12		
2.2. ANÁLISIS DE RIESGO POR EL MÉTODO GENERAL.....	13		
2.2.1. BRUC 1, SENTIDO BARCELONA (B-40100)	13		
2.2.1.1. Modelo de riesgo del túnel	14		
2.2.1.2. Modelo de ventilación forzada	15		
2.2.1.3. Modelo de comportamiento de usuarios	18		
2.2.2. BRUC 2, SENTIDO LLEIDA (B-40200)	30		
2.2.2.1. Modelo de riesgo del túnel	31		
2.2.2.2. Modelo de ventilación forzada	32		
2.2.2.3. Modelo de comportamiento de usuarios	35		
2.3. CONCLUSIONES.....	48		
3. ANÁLISIS DE RIESGO DEL TÚNEL DE BRUC CON TRES TUBOS.....	49		
3.1. DATOS CARACTERÍSTICOS	49		
3.1.1. Datos de localización	49		
3.1.2. Datos principales	50		
3.1.3. Características geométricas.....	50		
3.1.4. Características de tráfico	50		
3.2. ANÁLISIS DE RIESGO POR EL MÉTODO GENERAL.....	51		
3.2.1. BRUC 1, SENTIDO BARCELONA (B-40100)	52		
3.2.1.1. Modelo de riesgo del túnel	52		
3.2.1.2. Modelo de ventilación forzada	54		
3.2.1.3. Modelo de comportamiento de usuarios	56		
3.2.2. BRUC 2, SENTIDO BARCELONA (B-40200)	68		
3.2.2.1. Modelo de riesgo del túnel	69		
3.2.2.2. Modelo de ventilación forzada	70		
3.2.2.3. Modelo de comportamiento de usuarios	73		
3.2.3. BRUC 3, SENTIDO LLEIDA (NUEVO TUBO).....	86		
3.2.3.1. Modelo de riesgo del túnel	86		
3.2.3.2. Modelo de ventilación forzada	88		
		3.2.3.3. Modelo de comportamiento de usuarios	89
		3.3. CONCLUSIONES.....	103
4. RESUMEN DE RESULTADOS.....	105		
5. CONSIDERACIONES Y CRITERIOS	106		
5.1. FACTORES DE PONDERACIÓN	106		
5.2. CRITERIOS DEL FACTOR DE OTRAS MEJORAS	107		
5.3. CRITERIOS MODIFICADORES ADICIONALES	107		
5.4. CRITERIOS DE COLOCACIÓN DE SALIDAS DE EMERGENCIA EN EL TÚNEL VIRTUAL	108		

1. ANÁLISIS DE RIESGO DEL TÚNEL DE BRUC

El presente documento tiene como objetivo recoger el análisis de riesgos del túnel del Bruc, de acuerdo a lo establecido en el Real Decreto 635/2006 y siguiendo la Metodología de Análisis de Riesgo en túneles de la Red de Carreteras del Estado (MARTE) aprobada mediante Resolución de 30 de mayo de 2012.

1.1. CASOS DE ESTUDIO

En este documento se realiza el análisis del tubo del Bruc en dos situaciones. Ambos se estudiando con un tráfico 2055, año horizonte utilizado en el Anteproyecto:

- Dos tubos.

Se trata de la situación con los dos tubos existentes y se encuentra recogido en el apartado 2. El tubo sentido Lleida se estudia con una ampliación a 3 carriles.

- Tres tubos.

En el apartado 3, se considera una nueva situación en la que los tubos existentes (B-40100 y B-40200) serán ambos sentido Barcelona y contarán con dos carriles cada uno. Además, se estudia la proyección de un nuevo tubo sentido Lleida (Bruc 3).

Ambos análisis de riesgo se basan en el estado del túnel después de la incorporación del equipamiento y requerimientos descritos en el RD 635/2006.

Las conclusiones obtenidas de ambos análisis y el resumen de resultados se recogen en el apartado 4.

1.2. INTRODUCCIÓN

El Real Decreto 635/2006, de 26 de mayo sobre requisitos mínimos de seguridad en los túneles de la Red de Carreteras del Estado, establece la necesidad de elaborar análisis de riesgos en determinados casos para justificar variaciones respecto de los requisitos mínimos fijados, así como para permitir el paso de mercancías peligrosas por el túnel.

El concepto de evaluación del riesgo es un enfoque sistemático para analizar las secuencias de eventos y las relaciones entre los distintos incidentes posibles, identificando los puntos débiles del sistema y poniendo en evidencia las posibles medidas de mejora. En el proceso de evaluación de riesgos se caracterizan tres etapas:

- Análisis de Riesgo. La identificación de los riesgos y la evaluación de la probabilidad y de las consecuencias de cada riesgo.
- El enfoque sistemático a realizar, tiene por objetivo investigar el sistema en su conjunto mediante un proceso global que incluya todos los escenarios relevantes que pueden tener influencia en el riesgo del túnel, generando indicadores del riesgo para todo el sistema.

- Las principales variables son las probabilidades de accidentes y sus consecuencias para diferentes indicadores de daños (por ejemplo en términos de muertes, de heridos, de pérdidas materiales, etc.) y el riesgo resultante es estimado de forma cuantitativa mediante la adecuada consideración de los factores más importantes del sistema y su interacción.
- Cuantificación del riesgo. Está orientada principalmente a la aceptabilidad y al examen explícito de los criterios de seguridad.
- Análisis y valoración. Si el riesgo estimado es considerado no aceptable, se propondrán medidas de seguridad adicionales.

Los modelos de riesgos tratan de reflejar la realidad lo mejor posible y tratan de utilizar datos realistas, pero es difícil de prever verdaderos acontecimientos y tienen un grado de incertidumbre.

Para mejorar la robustez de las conclusiones se hace la evaluación de riesgos mediante comparación (con un túnel determinado de referencia).

Los casos contemplados para realizar los análisis de riesgo son:

1. Incumplimiento de requisitos estructurales
2. Excepcionalidad por técnicas innovadoras
3. Características especiales con relación a los parámetros de seguridad
4. Desviación con respecto a los requisitos mínimos
5. Pendientes superiores al 3%
6. Anchura de carril derecho inferior a 3,5 metros
7. Ventilación y demás medidas de seguridad insuficientes
8. Evaluación de viabilidad de apartaderos para túneles sin carril de emergencia
9. Viabilidad o no del transporte de mercancías peligrosas por el túnel
10. Evaluación de la necesidad de situar equipos de emergencia en el centro de control
11. Adelantamientos en los túneles

Para la realización de los análisis de riesgo, la Dirección General de Carreteras (Subdirección General de Conservación) ha desarrollado la Metodología de Análisis de Riesgo en Túneles de la Red de Carreteras del Estado (MARTE) según Resolución de 30 de mayo de 2012.

1.3. NORMATIVA

La Directiva 2004/54/CE, de 29 de abril de 2004, sobre requisitos mínimos de seguridad para túneles de la red transeuropea de carreteras, y el Real Decreto 635/2006 de 26 de mayo, sobre requisitos mínimos de seguridad en túneles de carreteras del Estado, establecen la necesidad de realizar Análisis de Riesgo en túneles para justificar determinadas variaciones respecto a los requisitos mínimos fijados, así como para permitir el paso de mercancías peligrosas por el túnel.

En concreto en el capítulo 4, artículo 11 del Real Decreto 635/2006, se encuentran las consideraciones a tener en cuenta en caso de ser necesario realizar un Análisis de Riesgos en determinadas circunstancias. En el Anexo 1.1.2 del Real Decreto 635/2006 se establecen la lista de parámetros a tener en cuenta como principales determinantes del riesgo asociado a la explotación de un túnel.

Los parámetros a tener en cuenta son:

- Longitud del túnel
- Número de tubos
- Número de carriles
- Geometría de la sección transversal
- Planta y alzado (especialmente la pendiente)
- Tipo de construcción
- Tráfico unidireccional o bidireccional
- Volumen de tráfico por tubo (incluida su distribución temporal)
- Riesgo de congestión (diaria o de temporada)
- Tiempo de acceso de los servicios de emergencia
- Presencia y porcentaje de vehículos pesados
- Presencia, porcentaje y tipo de tráfico de mercancías peligrosas
- Características de las vías de acceso
- Velocidad máxima autorizada
- Medio geográfico y climatología

Cuando un túnel tenga alguna o varias de estas características, que sean especiales respecto a estos parámetros, debe realizarse un Análisis de Riesgo según y conforme al Artículo 11 del RD 635/2006 para establecer si es necesaria la implementación de medidas adicionales de seguridad, para garantizar un nivel adecuado de seguridad en el túnel.

Igualmente si se considerase alguna circunstancia especial en la explotación, tal como el paso de mercancías peligrosas por el interior del túnel, se debería realizar igualmente un análisis de riesgo.

Para la realización del análisis se ha considerado las referencias normativas, que según la Resolución de 30 de mayo de 2012, del Secretario de Estado de Infraestructuras, Transporte y Vivienda, aprueba la metodología a aplicar para el Análisis de Riesgo en túneles en la Red de Carreteras del Estado.

1.4. ANÁLISIS DE RIESGO POR EL MÉTODO GENERAL

1.4.1. METODOLOGÍA

La metodología que seguiremos será la preparada por la Dirección General de Carreteras, y coincide con la filosofía que plantea el PIARC (Asociación Mundial de Carreteras) en su Manual de túneles de carreteras.

Este método 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 RD 635/2006 (túnel virtual) ante 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		Longitud	Tramo	Ventilación forzada exigida por RD 635/2006
1. RIESGO DEL TÚNEL		Cualquier L	Interurbano/ Urbano	Si / No
2. VENTILACIÓN	TABULADO	L≤500 m	Interurbano	No
		L≤200 m	Urbano	
	UNIDIMENSIONAL	L>500 m	Interurbano	Si
		L>200 m	Urbano	
3. EVACUACIÓN DE USUARIOS		Cualquier L	Interurbano/Urbano	Si / No

Tabla 1.4.1 Modelos a aplicar para cada túnel dentro del Método General de análisis de riesgo

1.4.2. 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. Este modelo se utiliza para todos los túneles, tanto interurbanos como urbanos, de cualquier longitud.

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:

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

Ecuación 1.4.1 Índice de riesgo

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. 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.
- **Túneles con peligrosidad elevada:** serán aquellos que presenten un valor del índice de riesgo superior a 1,50 y no se considerarán seguros. Estos túneles requerirán la adopción de medidas complementarias para aumentar su seguridad y poder mantenerse o ponerse en servicio, según su caso. En cada caso, será la Autoridad Administrativa la que deba aprobar las medidas a adoptar.

Para obtener el **Coficiente 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 las instalaciones y equipamiento que establece el Real Decreto 635/2006 para su categoría.

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

Ecuación 1.4.2 Coeficiente de Riesgo del túnel virtual

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

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

Ecuación 1.4.3 Coeficiente de Riesgo del túnel real

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. En el Apéndice se encuentran recogidos los factores correctores descritos en la Metodología de análisis de riesgo en túneles de la R.C.E.

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

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

Ecuación 1.4.4. Factor corrector del túnel real

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

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

Ecuación 1.4.5. Factor corrector del túnel virtual

Siendo:

F_g ≡ Factor de ponderación por criterios de diseño geométricos del túnel

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

Ecuación 1.4.6 Factor de ponderación por criterios de diseño geométricos del túnel

F_{eq} ≡ Factor de ponderación por criterios del equipamiento del túnel

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

Ecuación 1.4.7 Factor de ponderación por criterios del equipamiento del túnel

F_{ex} ≡ Factor de ponderación por criterios de la explotación del túnel

$$F_{ex} = F_{ex_{ATP}} \times F_{ex_{RAD}}$$

Ecuación 1.4.8 Factor de ponderación por criterios de la explotación del túnel

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 a 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.

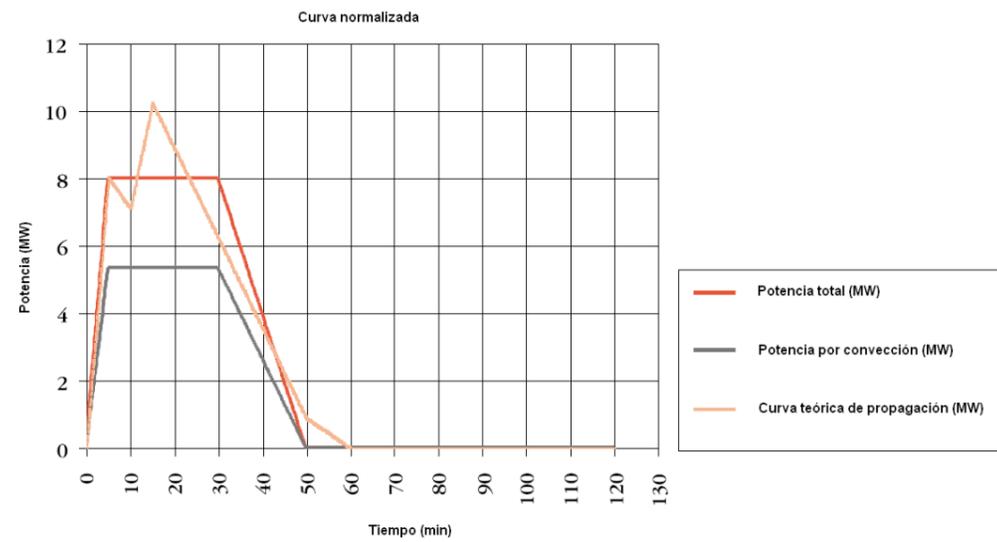


Ilustración 1.4.1 Escenario 1

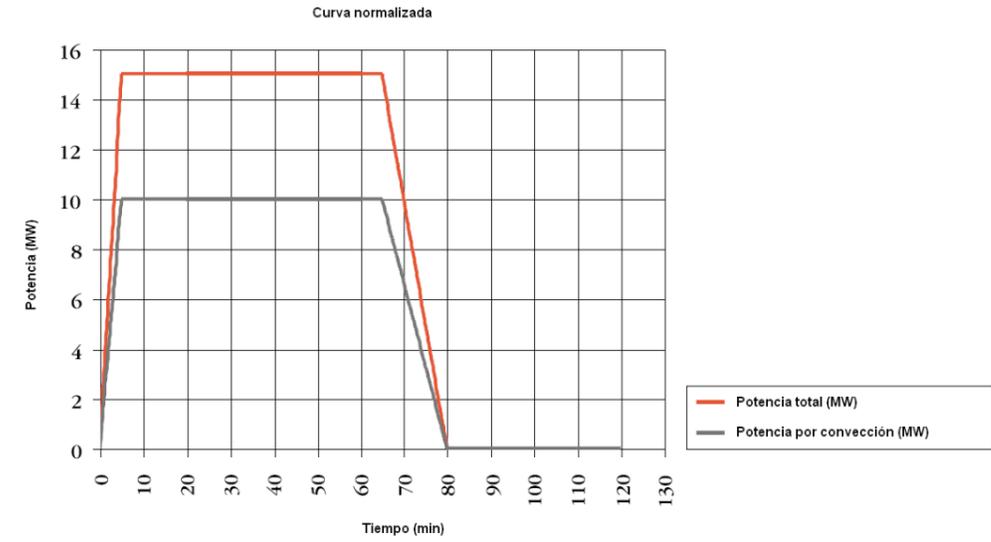


Ilustración 1.4.3 Escenario 3

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.

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.

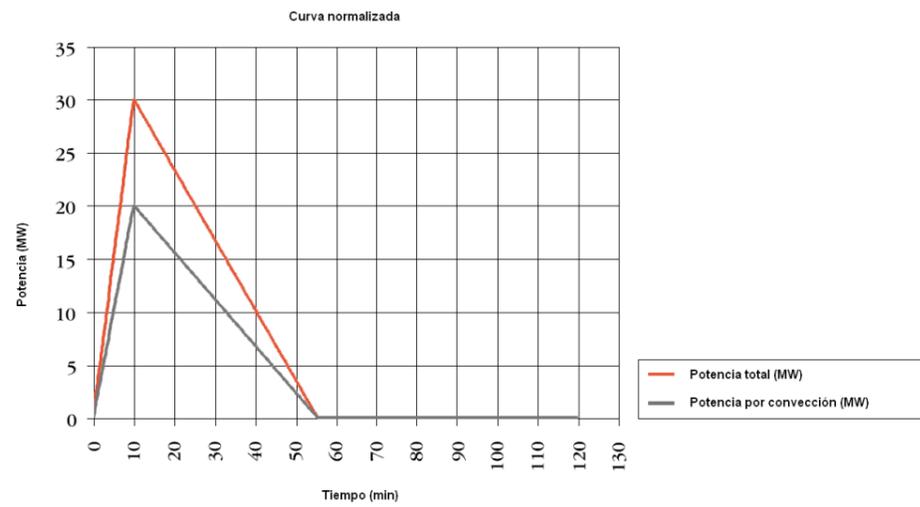


Ilustración 1.4.2 Escenario 2

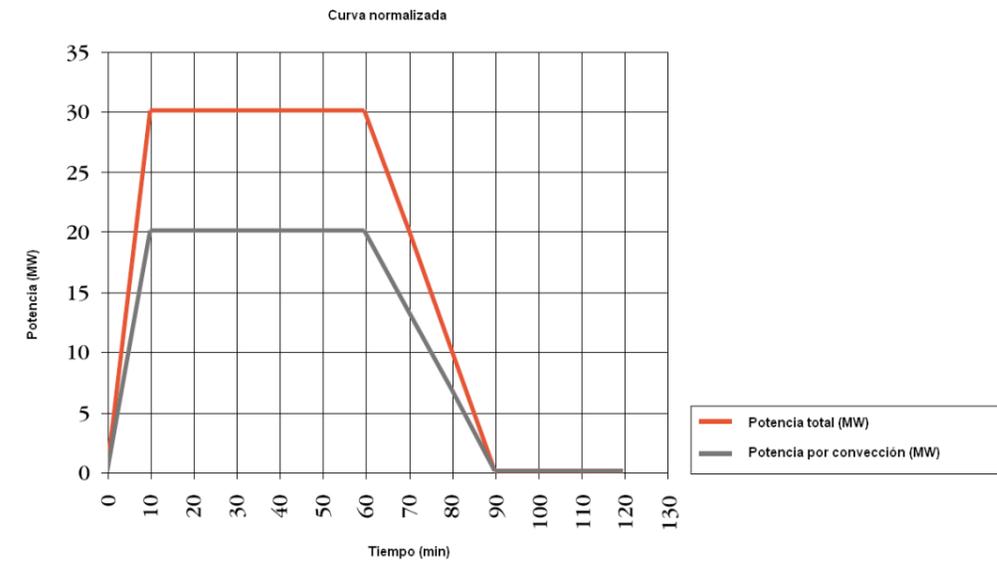


Ilustración 1.4.4 Escenario 4

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.

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.

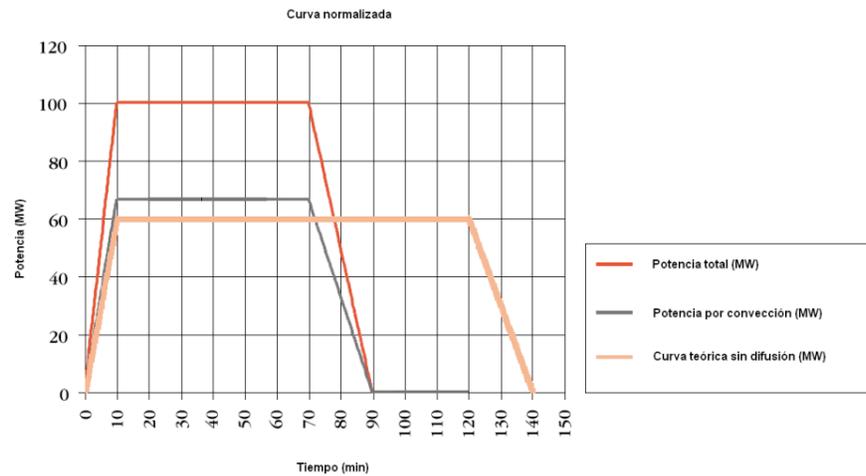


Ilustración 1.4.5 Escenario 5

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 posicionaría 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 medida desde la boca de entrada.

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 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).

Para el túnel de Bruc se va a analizar la posición indicada en el tercer supuesto de túneles unidireccionales para ambos tubos.

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 el punto 4.1.2.1 de la Metodología de Análisis de Riesgos de la R.C.E:

% 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 1.4.2 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:

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

Ecuación 1.4.9. Factor corrector de la IMD

Dónde:

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

1.4.3. MODELO DE VENTILACIÓN

El túnel de Bruc dispone de ventilación forzada y, por tanto, se debe recurrir al modelo unidimensional de ventilación. Para calcular la evolución de la masa de humo y de los parámetros

que la definen a lo largo del túnel, en función del tiempo, se ha empleado el software CAMATT (*Calcul Monodimensionnel Anisotherme Transitoire en Tunnel*), desarrollado por el CETU (*Centre D'Etudes Des Tunnels*), que modeliza el incendio con un análisis unidimensional. Este modelo resuelve las ecuaciones de la mecánica de fluidos en el supuesto de que los parámetros físicos (velocidad, temperatura, presión, concentración...) sean constantes en la sección transversal.

El principal objetivo es delimitar las zonas de riesgo para los usuarios en función de la concentración de contaminantes y la desestratificación del humo a lo largo del túnel. Con respecto a las zonas de riesgo para los usuarios en el interior del túnel, una vez ocurrido el incendio, éstas dependerán del estado de estratificación de los humos, del grado de opacidad, de la toxicidad, de la temperatura a la que están expuestos los usuarios y de la radiación de calor recibida por los mismos.

El valor fundamental a reflejar por el modelo se corresponderá con la evolución de la opacidad del aire, en función del coeficiente de extinción (k), a lo largo del túnel y en función del tiempo. Se considera que $k = 0,4 \text{ m}^{-1}$ es un valor crítico de coeficiente de extinción para el humo en un túnel de carretera.

La Metodología de Análisis de Riesgo en Túneles de la R.C.E. proporciona para ciertos parámetros que sirven para definir el modelo unidimensional de ventilación, los siguientes valores:

- Coeficiente de fricción: 0,020
- Coeficiente de convección mínimo y máximo: $5 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ y $50 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ respectivamente.
- Emisividad de la pared: 0,7
- $\Sigma\cdot C_x$: Σ es la sección transversal media y C_x es el coeficiente medio de arrastre para un tipo de vehículo determinado. Para vehículos ligeros se podrá tomar un valor de $0,9 \text{ m}^2$ y para vehículos pesados $4,55 \text{ m}^2$

Los parámetros de contaminantes debidos al tráfico se calculan de acuerdo a los datos disponibles en "Roads Tunnels: vehicle emissions and air demand for ventilation"¹ de PIARC Technical Committee C4. La contaminación ambiental se obtiene de los valores máximos admisibles disponibles en "Evaluación de la Calidad del Aire en España 2015" del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

1.4.4. 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.

¹ Revised version, December 2012.

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:

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

Ecuación 1.4.10. Régimen de circulación libre

Siendo:

$N \equiv$ Número de vehículos presentes en túnel por carril (veh/carril).

$L \equiv$ Longitud del túnel (m).

$I \equiv$ Intensidad por carril de la circulación (veh/s/carril).

$V \equiv$ Velocidad de circulación (m/s).

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:

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

Ecuación 1.4.11. Velocidad de crecimiento de la cola de vehículos

Dónde:

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

$d_0 \equiv$ Interdistancia entre vehículos detenidos (m). Se adoptará, a falta de datos más precisos, la longitud del vehículo promedio (8 metros) más dos metros.

$I \equiv$ Intensidad por carril de la circulación (veh/s/carril).

$V \equiv$ 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 1.4.3. Tasa de ocupación P

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

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

Ecuación 1.4.12. Ocupación de los vehículos no implicados en el accidente

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	$T_0^1 = t_{or}$	$S_0^2 = L_i$
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 1.4.4. 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 $T_n^1 \leq T_{n-1}^2 \rightarrow S_{n-1}^1 - \frac{1}{D_{max}}$

- Si $T_{n-1}^2 < T_n^1 \leq t_d \rightarrow S_n^1 = S_{n-1}^1 - V_{e1} \times (T_n^1 - T_{n-1}^2) - \frac{1}{D_{max}}$
- Si $T_n^1 > t_d \rightarrow S_{n-1}^1 - V_{e1} \times \text{máximo}[0; (t_d - T_{n-1}^2)] - V_{e2} \times (T_n^1 - t_d) - \frac{1}{D_{max}}$

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:

$$S_n^4 = 0$$

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

Ecuaciones 1.4.13 Trayectorias de evacuación para usuarios de los vehículos no implicados en el incidente

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).

$t_{or} \equiv$ 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 auto- evacuación del túnel.

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

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

$V_{e2} \equiv$ Velocidad de auto- evacuación 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). En el Apéndice se encuentran recogidos los criterios modificadores adicionales descritos en la Metodología de análisis de riesgo en túneles de la R.C.E.

1.5. ANÁLISIS DE RIESGO POR EL MÉTODO DE LAS MERCANCÍAS PELIGROSAS

Los túneles del Bruc no cuentan con tráfico de mercancías peligrosas, por lo que no se realiza el análisis por este método

2. ANÁLISIS DE RIESGO DEL TÚNEL DE BRUC CON DOS TUBOS

En este apartado se desarrolla el Análisis de Riesgos del túnel de Bruc en la A-2 con objeto de identificar el nivel de riesgo de incendio en el túnel, comprobando si es aceptable, y determinando, en su caso, las medidas adicionales de mitigación. Su justificación se basa en los puntos 3, 4, 5 y 6 de los casos contemplados para realizar un análisis de riesgo, esto es, características especiales con relación a los parámetros de seguridad, desviación con respecto a los requisitos mínimos, pendientes superiores al 3% y anchura de carril derecho inferior a 3,5 metros.

El análisis se realiza teniendo presente las prescripciones contempladas en el Anexo I del R.D. 635/2006, de 26 de mayo, sobre requisitos mínimos de seguridad en los túneles de carreteras del Estado.

El túnel consta de dos tubos con tipo de circulación unidireccional, en sentido Barcelona y en sentido Lleida, de 1.111 m y 830 m, ambos con limitación de velocidad de 80 km/h. Su clasificación según RD 635/2006 es túnel unidireccional interurbano de longitud mayor que 1000 metros.

Como es difícil predecir futuros acontecimientos, la única opción ante tal situación es desarrollar, del modo más realista posible, un modelo de los riesgos asociados al túnel.

Aunque existe un número ilimitado de posibilidades relacionadas con la aparición de sucesos peligrosos, los estudios se hacen sobre un cierto número de escenarios representativos, con el objetivo de que estén contemplados los escenarios con mayor importancia.

Los modelos usados tratan de reproducir un determinado aspecto del riesgo del túnel, para llegar finalmente a cuantificar el riesgo del túnel analizado. Estos modelos simplifican la realidad, que depende de condiciones previas e hipótesis, por lo que los resultados hay que analizarlos tomando en cuenta todas las hipótesis, así como las condiciones reales que pueden existir.

2.1. DATOS CARACTERÍSTICOS

Los datos mostrados a continuación han sido obtenidos del Manual de Explotación de los túneles del Bruc, revisión 05 con fecha de agosto 2019.

2.1.1. DATOS DE LOCALIZACIÓN

Medio Geográfico	Interurbano	Interurbano
Demarcación	Cataluña	Cataluña
Provincia	Barcelona	Barcelona
Nombre de la vía (carretera, vía, calle o similar)	A-2	A-2
Tipo de tramo	Autovia	Autovia
Clave tubo	B-40100	B-40200
Nombre del tubo	Bruc 1	Bruc 2

Tabla 2.1.1. Datos de localización



Ilustración 2.1.1. Fotografía aérea

2.1.2. DATOS PRINCIPALES

El túnel de Bruc es un túnel unidireccional de la carretera A-2, en ámbito interurbano.

Las características generales del túnel que figuran de los contenidos de la base de datos de inventario, incidencias e inspecciones en túneles de la R.C.E (BIT) son las siguientes:

Tipo de Circulación	Unidireccional	Unidireccional
Clave del tubo	B-40100	B-40200
Nombre del tubo	Bruc 1	Bruc 2
Sentido	Barcelona	Lleida
Carriles por túnel	3	2 ²
Longitud del túnel (m)	1111	830
Ancho del túnel (m)	11	12,5
Pendiente máxima (%)	+2,5%	-4,30%
Tipo de pavimento de la calzada	Bituminoso	Bituminoso
Tipo de revestimiento en el tubo	Hormigón	Sin revestimiento rígido y con instrumentación ³

Tabla 2.1.2 Datos principales

² Actualmente tiene 2 carriles, pero se plantea la ampliación a 3 carriles. Se consideran 3 carriles para el estudio.

³ Se tiene en cuenta la instalación de secciones de auscultación permanente de conformidad con el apartado 2.3.2 del Anexo I del RD 635/2006.

2.1.3. CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS

	Sentido Barcelona	Sentido Lleida
Existencia de Arcén continuo	Sí	Sí
Ancho de carriles (m)	3,2 / 3,15 / 3,15	3,4 / 3,4 / 3,5
Ancho de arcén dcho (m)	0,25	0,05-0,17 ⁴
Ancho de arcén izq (m)	0,25	0
Ancho de acera dcha (m)	0,50	1
Ancho de acera izq (m)	0,00	0,92-1,05 ⁴

Tabla 2.1.3 Características geométricas

2.1.4. CARACTERÍSTICAS DE TRÁFICO

Los datos de tráfico son los proporcionados por la dirección de proyecto relativos a la prognosis a 30 años de la puesta en servicio, es decir 2055, que es el horizonte considerado en el Anteproyecto. Se identifican los niveles de servicio para cada caso.

Túnel	Carretera	IMD (veh/d)	IMD por carril (veh/d)	% vehículos pesados	Nivel de servicio
Bruc 1	A-2	34.473	11.491	15,4	D
Bruc 2 ⁵	A-2	33.496	11.165,3	16,6	D

Tabla 2.1.4 Datos tráfico para el año 2055

De acuerdo al punto 1.3.2 del RD 635/2006, y teniendo en cuenta que el túnel tiene un porcentaje de de vehículos pesados superior al 15%, se utilizará la IMD equivalente para la categorización del tubo.

El nivel de servicio correspondiente a las intensidades de tráfico del túnel para el año 2055 corresponde a un nivel de servicio del tráfico tipo D. Este nivel de servicio es superior al nivel C de referencia que marca la MARTE (apartado 4.1.2.1, página 38), con lo cual se utilizan las intensidades

⁴ Variable entre esos valores

⁵ Ampliación a 3 carriles

de tráfico de nivel C para el túnel virtual (véase Tabla 2.1.5), ya que su nivel de servicio en el año 2055 actual es superior al nivel de referencia C.

Túnel	Carretera	IMD (veh/d)	IMD por carril (veh/d)	% vehículos pesados
Bruc 1	A-2	28.622	9.540,7	15,1
Bruc 2 ⁶	A-2	28.739	9.579,7	16,6

Tabla 2.1.5 Datos tráfico de paso de nivel C a D

Conviene destacar que por este túnel no está permitido el paso de mercancías peligrosas y tienen establecido otro itinerario.

2.2. ANÁLISIS DE RIESGO POR EL MÉTODO GENERAL

La elaboración del análisis de riesgo se ha realizado bajo el siguiente supuesto: en consecuencia con lo citado en la introducción, se ha considerado un túnel unidireccional interurbano de longitud mayor que 1000 metros.

Equipamiento mínimo requerido según RD 635/2006
Aceras
Salidas de emergencia
Conexiones transversales para acceso de los servicios de emergencia ⁷
Cruce de mediana fuera de cada boca
Apartaderos en las condiciones fijadas en el apartado 2.7
Drenaje de líquidos tóxicos
Centro de control
Circuito cerrado de TV
Sistema informático de extracción de humos, automático y manual
Iluminación normal
Iluminación de seguridad
Iluminación de emergencia
Ventilación
Doble suministro eléctrico
Generadores de emergencia
Sistema de alimentación ininterrumpida (SAI)
Detectores de CO
Opacímetros
Cable para detección de incendios
Detección automática de incidentes
Puestos de emergencia
Señalización salidas y equipamiento de emergencia y I.C.
Señalización según Norma 8.1 y 8.2 I.C.

⁶ Considerando 3 carriles.

Equipamiento mínimo requerido según RD 635/2006
Paneles de señalización variable
Barreras exteriores
Semáforos exteriores
Semáforos interiores (si el tubo mide igual o más de 3.000 metros)
Megafonía
Red de hidrantes
Aforadores
Sistema de radiocomunicaciones para servicios de emergencia
Mensajería de emergencia por canales de radio para usuarios

Tabla 2.2.1. Equipamiento mínimo según RD 635/2006

Se realiza el análisis sobre el tubo de pendiente descendente por considerarse el caso más desfavorable, es decir, el tubo denominado Bruc 2 (sentido Lleida). El tubo de estudio será el de pendiente descendente, ya que el punto 4.3.2 de la Metodología de análisis de riesgo de la R.C.E, indica: *“En túneles unidireccionales, será más peligroso cuando tengan pendiente descendente en sentido del tráfico y/o condiciones atmosféricas que favorezcan el flujo del humo en sentido contrario al de circulación. Puesto que, en este caso, el humo avanzará hacia donde los vehículos están retenidos y los usuarios evacuarán el túnel hacia la boca de entrada, al igual que el humo. Este será el caso más habitual a estudiar en túneles unidireccionales con más de un tubo, puesto que el tubo a estudiar será el que presente estas características (pendiente descendente y corriente longitudinal ascendente por tiro natural)”*.

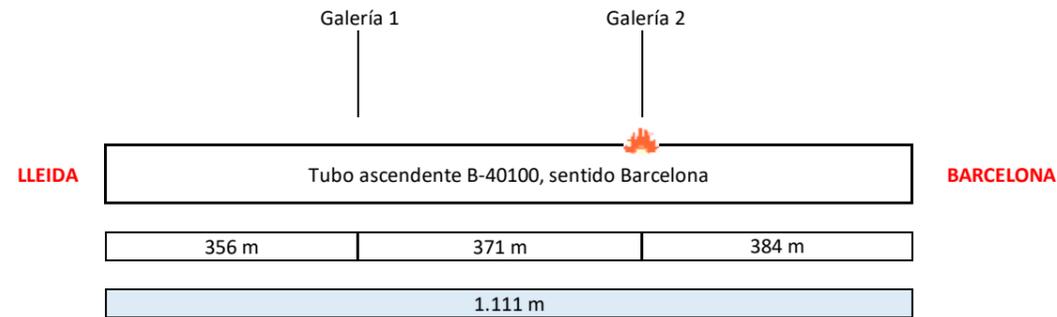
Por otro lado, se realiza también el análisis del tubo ascendente ya que las características son significativamente diferentes al tubo descendente.

2.2.1. BRUC 1, SENTIDO BARCELONA (B-40100)

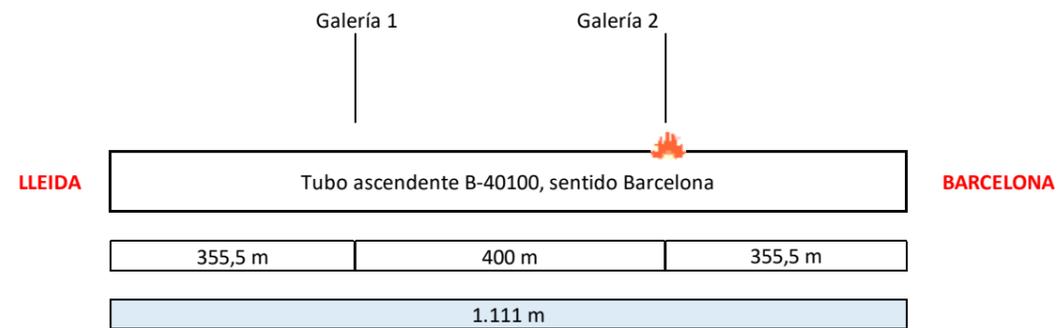
Para un túnel unidireccional, **con salidas de emergencia en el túnel real y en el virtual**, la metodología de análisis de riesgo de la R.C.E. indica que el incendio se posicionará coincidiendo con una salida de emergencia, tanto para el túnel real como para el virtual, realizándose el análisis del mayor tramo de túnel entre dos salidas que tengan una tercera entre ellas, en la que se produce el incendio.

Túnel real. Teniendo en cuenta la información disponible en el Manual de Explotación de los túneles del Bruc, revisión 05 con fecha de agosto 2019, las salidas de emergencia se encuentran a 356 m y 727 m desde la boca de entrada. El incendio se produce en la segunda salida de emergencia, esto es, a 727 m de la boca de entrada.

⁷ En el caso del túnel del Bruc, según el apartado 2.6 del RD 635/2006 no se exigirán las conexiones transversales, al tener el túnel una longitud inferior a 1.200 metros y, además, al tener los tubos a distinta cota.


Ilustración 2.2.1. Croquis del posicionamiento del incendio para el túnel real

Túnel virtual. El RD 635/2006 exige que las salidas de emergencia estén como máximo cada 400 m. Se ubican las salidas de emergencia siguiendo la formulación del apartado 5.4. El incendio se posicionará en la segunda salida, esto es, a 755,5 m de la boca de entrada.


Ilustración 2.2.2. Croquis del posicionamiento del incendio para el túnel virtual

Para analizar este apartado, el túnel real ya está caracterizado en el apartado 2.1. Igualmente, para el túnel virtual, que servirá de comparación ideal, como aquel túnel de referencia con la misma longitud, número de carriles y tipo de circulación, que el túnel real y con la disposición de todo el equipamiento que para su categoría establece el Real Decreto 635/2006 (Tabla 2.2.1).

2.2.1.1. Modelo de riesgo del túnel

⁸ Se considera el valor más perjudicial de carril.

% Vehículos pesados	15,4 %
Ancho carril ⁸ (m)	3,15
Ancho arcén derecho (m)	0,25
Ancho acera derecha (m)	0,50
Pendiente (%)	2,5
Longitud (m)	1.111
Nº carriles	3

Tabla 2.2.2. Características geométricas y porcentaje de vehículos pesados

Las tablas en las que se basa el cálculo de los factores correctores se encuentran incluidas en el apartado 5.1:

Factor corrector del coeficiente de riesgo		FTR	FTV	
Fg	Factor de ponderación por criterios de diseño geométrico del túnel	Real	Virtual	Observaciones
FgCAR	Factor anchura de carriles	1,0425	1,0000	Ancho carril túnel real 3,15 m. Ancho de 3,5 m para túnel virtual
FgARC	Factor anchura arcén derecho	1,0500	1,0000	Ancho arcén túnel real 0,25 m. El túnel virtual tiene asignado 1 m de ancho.
FgAPA	Factor de existencia de apartaderos en el túnel	1,0500	1,0000	No existente y exigido según RD para el túnel virtual
FgACE	Factor de existencia de aceras para evacuación	1,1000	1,0000	Se considera que el túnel real no tiene aceras ⁹ .
FgPAV	Factor de tipo de pavimento	1,0500	1,0000	Pavimento de hormigón exigido según RD para túnel virtual
FgPTE	Factor de pendiente longitudinal del túnel	0,9925	1,0000	Pendiente túnel real <3%. Túnel virtual tiene asignada una pendiente de 3%
FgREV	Factor de existencia revestimiento rígido del túnel	1,0000	1,0000	Túnel revestido
		1,3176	1,0000	

⁹ La Demarcación indica que el ancho de la acera podría ser inferior a los 0,5 m considerados y que se debería considerar como inexistente para quedar del lado de la seguridad.

Tabla 2.2.3. Factores de ponderación por criterios de diseño geométrico del túnel

Factor corrector del coeficiente de riesgo		FTR	FTV	
Feq	Factor de ponderación por criterios de equipamiento del túnel	Real	Virtual	Observaciones
FeqSSEE	Factor de proximidad de los servicios de emergencia	1,2500	1,1500	Considerado en túnel real que la llegada de los servicios > 15 minutos. Túnel virtual entre 10 y 15 minutos
FeqCC	Factor de existencia de centro de control permanente y vigilado con posibilidad de control de accesos	0,9000	0,9000	Existente en túnel real y exigido según RD para túnel virtual
FeqOTR	Factor de otras mejoras sobre las dotaciones de seguridad mínimas exigidas en el Real Decreto 635/2006	0,9429	0,9429	El túnel real cuenta con cruce de mediana, red de hidrantes, doble suministro y sistema de radiocomunicación para SSEE. El túnel virtual cuenta con el mismo equipamiento. En el apartado 5.2 se define mas detalladamente el criterio utilizado para valorar el factor de otras mejoras
		1,0607	0,9759	

Tabla 2.2.4. Factores de ponderación por criterios de equipamiento del túnel

Factor corrector del coeficiente de riesgo		FTR	FTV	
Fex	Factor de ponderación por criterios de explotación del túnel	Real	Virtual	Observaciones
FexAVP	Factor de permisividad o no de adelantamiento de vehículos pesados en túneles con más de un carril por sentido	0,8976	1,0000	Actualmente existe prohibición de adelantamiento. Permitido en el túnel virtual.
FexRAD	Factor de existencia de sistemas de control de velocidad (radares), anunciados y con posibilidad de sanción, en los accesos o en el interior del túnel	1,0000	1,0000	No existe radar en túnel
		0,8976	1,0000	

Tabla 2.2.5. Factores de ponderación por criterios de explotación del túnel

Factor corrector del coeficiente de riesgo	FTR	FTV
--	-----	-----

Total = Fg x Feq x Fex	1,2544	0,9759
------------------------	--------	--------

Tabla 2.2.6. Factor corrector del índice de riesgo

Las probabilidades de ocurrencia de los distintos escenarios permanecen invariables para todo el estudio tanto en el túnel real como el virtual, y dependen de la IMD y del porcentaje de vehículos pesados esperados, que se considera un 15,4 % para el túnel real y un 15,1 % para el túnel virtual:

	TÚNEL REAL	TÚNEL VIRTUAL
% Vehículos pesados	15,4	15,1
Autovia	0,9291	0,9291
IMD carril	11.491	9.540,7
FIMD autovia	5,0756	4,2701

Tabla 2.2.7. Información del tráfico

% de vehículos pesados	15 %	15,4 %	20 %	Autopista % con FIMD
Escenario	Probabilidades de ocurrencia (en tanto por uno)			
E1	0,6700	0,6628	0,5800	3,3641
E2	0,2500	0,2548	0,3100	1,2933
E3	0,0200	0,0200	0,0200	0,1015
E4	0,0100	0,0108	0,0200	0,0548
E5	0,0500	0,0516	0,0700	0,2619

Tabla 2.2.8. Probabilidades de ocurrencia de los escenarios para el túnel real

% de vehículos pesados	15 %	15,1 %	20%	Autopista % con FIMD
Escenario	Probabilidades de ocurrencia (en tanto por uno)			
E1	0,6700	0,6682	0,5800	2,8533
E2	0,2500	0,2512	0,3100	1,0727
E3	0,0200	0,0200	0,0200	0,0854
E4	0,0100	0,0102	0,0200	0,0436
E5	0,0500	0,0504	0,0700	0,2152

Tabla 2.2.9. Probabilidades de ocurrencia de los escenarios para el túnel virtual

2.2.1.2. Modelo de ventilación forzada

El túnel del Bruc cuenta con ventilación forzada. Se toman las características del *Manual de explotación de los túneles del Bruc (v5)* de agosto 2019. Se trata de un sistema con ventiladores longitudinales, que cumple el RD 635/2006 según el apartado 2.11.3 del mismo, al contar con gestión del tráfico y reducción de la distancia entre salidas de emergencia.

Modelo	Caudal (m³/s)	Velocidad aire (m/s)	Empuje (N)	Pot. Motor (kW)	Número	Temperatura resistencia al fuego 2 horas (°C)
--------	---------------	----------------------	------------	-----------------	--------	---

JZR 12-45/4	38,2	33,8	1.487	75	14 (2 x 7)	250
-------------	------	------	-------	----	------------	-----

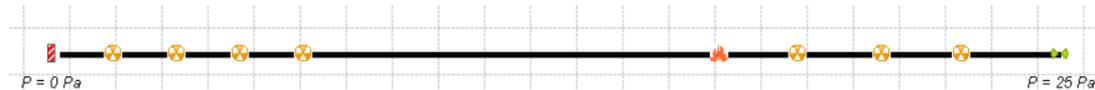
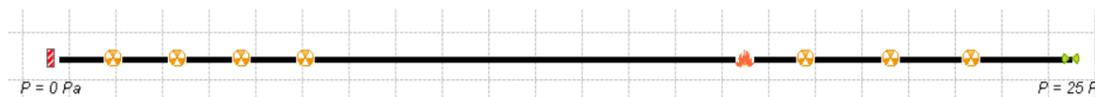
Tabla 2.2.10. Características de los ventiladores del sistema de ventilación

La ubicación de los ventiladores se toman de la información disponible en “Estado de Dimensiones y Características de Obra Ejecutada. Obra de emergencia de remodelación y cambio del sistema de ventilación del Túnel de El Bruc en la calzada derecha, del p.km. 565,000 al 566,111. Rehabilitación y refuerzo del Túnel de la Autovía A-2 de El Bruc, calzada izquierda del p.km. 565,150 al 565,850. Términos municipales de Castellolí y El Bruc, (Barcelona). Clave: OEM-B-126/11” y se muestra en la siguiente tabla. Se encuentran colocados por parejas:

Pareja	Distancia a la boca de entrada (m)	Interdistancia (m)
Pareja 1	50	50
Pareja 2	150	100
Pareja 3	250	100
Pareja 4	350	100
Pareja 5	820	470
Pareja 6	920	100
Pareja 7	1020	100

Tabla 2.2.11. Ubicación parejas de ventiladores

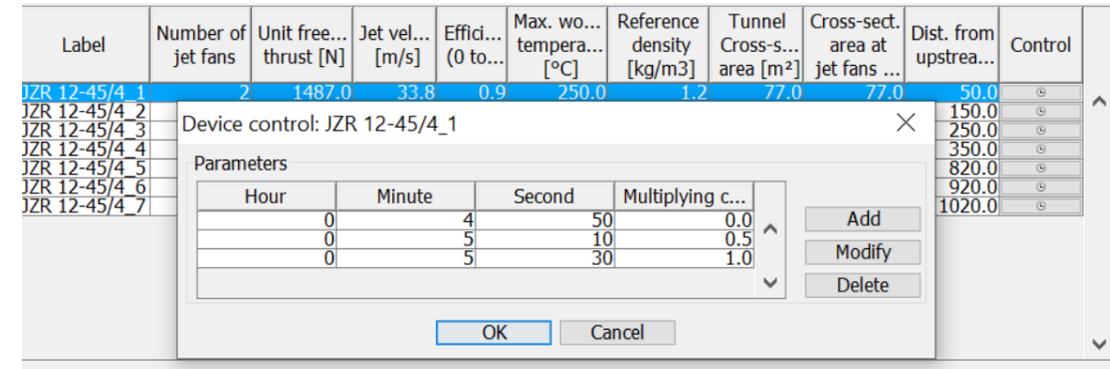
A continuación se muestran los sistemas simulados, tanto para el túnel real como para el túnel virtual, encontrándose el incendio en ambos en la salida de emergencia.


Ilustración 2.2.3. Representación de la simulación del incendio para el túnel real

Ilustración 2.2.4. Representación de la simulación del incendio para el túnel virtual

Según el Manual de Explotación de los túneles del Bruc, revisión 05 con fecha de agosto 2019, se considera el siguiente algoritmo de ventilación:

- La detección de incendio se realiza por cable de detección. Por ello, se considerará el tiempo de detección del incendio como aquel tiempo en el que la temperatura alcance 55°C en la zona del incendio.

- Se indica un tiempo de confirmación del operario de 60 s.
- El tiempo de arranque de la primera pareja de ventilación (la más alejada del incendio) será el tiempo de detección más el tiempo de confirmación.
- A partir del arranque de la primera pareja, las siguientes parejas se irán encendiendo cada 10 s.
- Se considera una rampa de 40 s para llegar al 100% del funcionamiento.
- La pareja más cercana al incendio no se enciende, considerándose de reserva.


Ilustración 2.2.5. Funcionamiento del sistema de ventilación

Los datos empleados en el software CAMATT han sido los siguientes:

TÚNEL ANALIZADO

- B-40100

DATOS MEDIOAMBIENTALES

- Altitud media (m): 522
- Temperatura ambiente en el interior del túnel (°C): 15,0
- Densidad del aire (kg/m3): 1,2
- Coeficiente de convección mínimo: 5 W/(m²·K)
- Coeficiente de convección máximo: 50 W/(m²·K)
- Emisividad de la pared: 0,7

TRÁFICO, DATOS DE LOS VEHÍCULOS

- Proporción de vehículos pesados en el real (%): 15,4
- Proporción de vehículos pesados en el virtual (%): 15,1
- Sigma Cx para coches (m²): 0,90
- Sigma Cx para pesados (m²): 4,55
- Distancia entre vehículos parados (m): 10,00

SECCIÓN DEL TÚNEL

- Longitud sección (m): 1.111
- Pendiente sección (%): 2,50
- Área de la sección transversal para el túnel real y virtual(m²): 77

- Perímetro para el túnel real y virtual(m): 33,8
- Coeficiente de fricción: 0,020
- Revestimiento: Hormigón
- Número de carriles por sentido: 3

TRÁFICO

- Dirección del tráfico: Unidireccional
- Velocidad máxima túnel real (km/h): 80
- Velocidad máxima túnel virtual (km/h): 100
- Intensidad horaria túnel real (veh/h): 5.170,95
- Intensidad horaria túnel virtual (veh/h): 4.293,3

PRESIÓN EXTERIOR EN LAS BOCAS

Para establecer las presiones en bocas, se ha tomado como punto de partida las pérdidas de carga provocadas por la resistencia al viento exterior. La información de viento proporcionado por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía.

Se considera 5,5 m/s como velocidad para el cálculo de la presión para mantener el análisis del lado de la seguridad. En todo caso, se deben considerar condiciones atmosféricas que favorezcan el flujo del humo en sentido contrario al de circulación, de acuerdo al punto 4.3.2 de la Metodología de Análisis de Riesgo en Túneles de la R.C.E.

Para el establecimiento de la presión, se toma el valor resultado de considerar 5,5 m/s y se introduce en Camatt. A continuación, se simula el escenario 4 definiendo en MARTE y de potencia 30 MW, valor de potencia que se corresponde al requerido en el RD 635/2006. Se observa la gráfica de opacidad para ver si se obtiene el flujo de humo comentado con anterioridad. En este caso se produce, por lo tanto se considera el valor de presión inicial.

En consecuencia, en este caso, al ser el tubo ascendente y debido a las condiciones meteorológicas y al tráfico del mismo, se ha considerado el escenario en el que la presión en la boca de cota más alta (25 Pa) será mayor que en la boca de cota más baja (0 Pa)

- Boca de entrada (Pa): 0 Pa
- Boca de salida (Pa): 25 Pa

POSICIÓN DEL FUEGO

- Distancia desde la boca de entrada del túnel real (m): 727,0
- Distancia desde la boca de entrada del túnel virtual (m): 755,5

TIEMPO DE DETECCIÓN

Según lo comentado anteriormente, el tiempo de detección corresponde al tiempo en que la temperatura del aire del túnel llega a los 55 °C en la zona del incendio.

En la siguiente gráfica se muestra las curvas de temperaturas en la zona de incendio para el escenario 1 del túnel real utilizado.

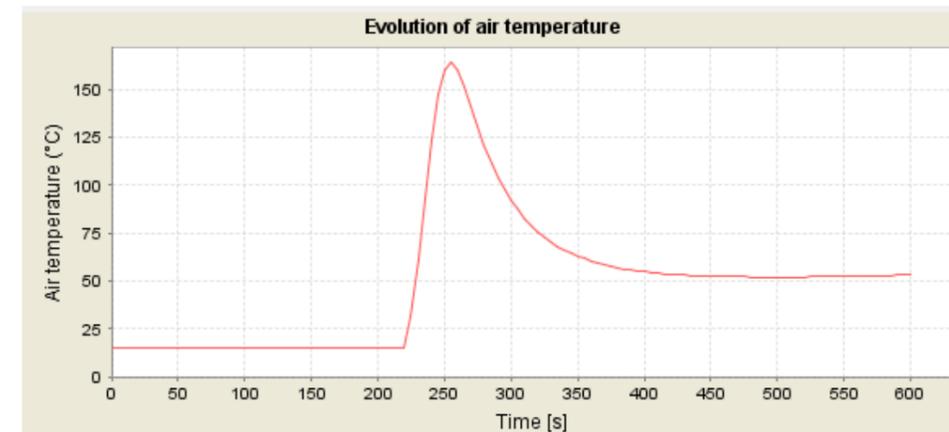


Ilustración 2.2.6. Ejemplo de gráfica de evolución de la temperatura del aire en la zona del incendio para el escenario 1 del túnel real.

Realizando gráficas para todos los escenarios se obtienen los siguientes tiempos de detección:

	Tiempo de detección (s)	
	Túnel real	Túnel virtual
Escenario 1	240	280
Escenario 2	245	290
Escenario 3	245	290
Escenario 4	245	290
Escenario 5	115	130

Tabla 2.2.12. Tiempos de detección

2.2.1.3. Modelo de comportamiento de usuarios

Se indican a continuación los datos de régimen de circulación libre y de congestión.

Régimen de circulación libre túnel real	
Longitud túnel	1.111 m
Velocidad circulación	80 km/h
	22,22 m/s
IMD	11.491 Veh /día/carril
Intensidad	0,48 veh/s/carril
N (Número de vehículos presentes en túnel por carril)	23,937 veh/carril

Tabla 2.2.13. Régimen de circulación libre del túnel real

Régimen de circulación libre túnel virtual	
Longitud túnel	1.111 m
Velocidad circulación ¹⁰	100 km/h
	27,78 m/s
IMD	9.540,7 Veh /día/carril
Intensidad	0,40 veh/s/carril
N (Número de vehículos presentes en túnel por carril)	15,900 veh/carril

Tabla 2.2.14. Régimen de circulación libre del túnel virtual

Congestión túnel real	
Velocidad crecimiento	6,10 m/s (aguas arriba)
Distancia boca – fuego	727 m
Longitud a recorrer hasta la salida más próxima	371 m
Tiempo de remonte	119,13 s

Tabla 2.2.15. Congestión del túnel real

Congestión túnel virtual	
Velocidad crecimiento	4,64 m/s (aguas arriba)
Distancia boca – fuego	755,5 m
Longitud a recorrer hasta la salida más próxima	400 m
Tiempo de remonte	162,85 s

Tabla 2.2.16. Congestión del túnel virtual

Sobre los gráficos de autoevacuación calculados se superponen las gráficas de evolución de la opacidad de los humos a lo largo del túnel en función del tiempo, obtenidos mediante el software de modelización unidimensional CAMATT.

Se consideran afectados todos aquellos usuarios pertenecientes a las trayectorias que coinciden con un nivel de opacidad de los humos superior o igual a $0,4 \text{ m}^{-1}$ (zona amarilla de la gráfica).

El tiempo de reacción de los restantes usuarios no implicados desde que llegan a la cola de vehículos o ven a un usuario de otro vehículo evacuando es de 7 segundos para el túnel real y para el virtual, que disponen de paneles de señalización variable en el interior y en el exterior (según se recoge en el Manual de Explotación, revisión 05 con fecha de agosto 2019), centro de control con CCTV y DAI.

Debido al equipamiento del túnel real y virtual, se produce el cierre del túnel a los 180 segundos, impidiendo la entrada de usuarios, al contar con semáforos, barreras, centro de control y DAI.

¹⁰ Se considera una velocidad de 100 km/h en el túnel virtual en base al apartado 2.14.3 del Anexo I del RD 635/2006.

Túnel real:

Se muestra la información más relevante para cada uno de los escenarios.

E1: Incendio de un vehículo ligero. 8 MW de potencia

E1: Incendio de un vehículo ligero. 8 MW de potencia			
Usuarios de los vehículos implicados en el accidente (n=0)			
	Tiempo	Espacio	n 0
T10	0.00	727.00 S10	
T20	90.00	727.00 S20	
T30	461.00	356.00 S30	
Situación: No atrapado			
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=1)			
	Tiempo	Espacio	n 1
T11	1.64	717.00 S11	
T21	8.64	717.00 S21	
T31	369.64	356.00 S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí			
Situación: No atrapado			
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=2)			
	Tiempo	Espacio	n 2
T11	3.28	707.00 S11	
T21	10.28	707.00 S21	
T31	361.28	356.00 S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí			
Situación: No atrapado			
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=3)			
	Tiempo	Espacio	n 3
T11	4.92	697.00 S11	
T21	11.92	697.00 S21	
T31	352.92	356.00 S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí			
Situación: No atrapado			
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=4)			
	Tiempo	Espacio	n 4
T11	6.55	687.00 S11	
T21	13.55	687.00 S21	
T31	344.55	356.00 S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí			
Situación: No atrapado			
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=5)			
	Tiempo	Espacio	n 5
T11	8.19	677.00 S11	

T21	15.19	677.00 S21
T31	336.19	356.00 S31

¿Llega a entrar en el túnel? Sí
Situación: No atrapado

Tabla 2.2.17. E1: Incendio de un vehículo ligero. 8 MW de potencia

E1: Incendio de un vehículo ligero. 8 MW de potencia

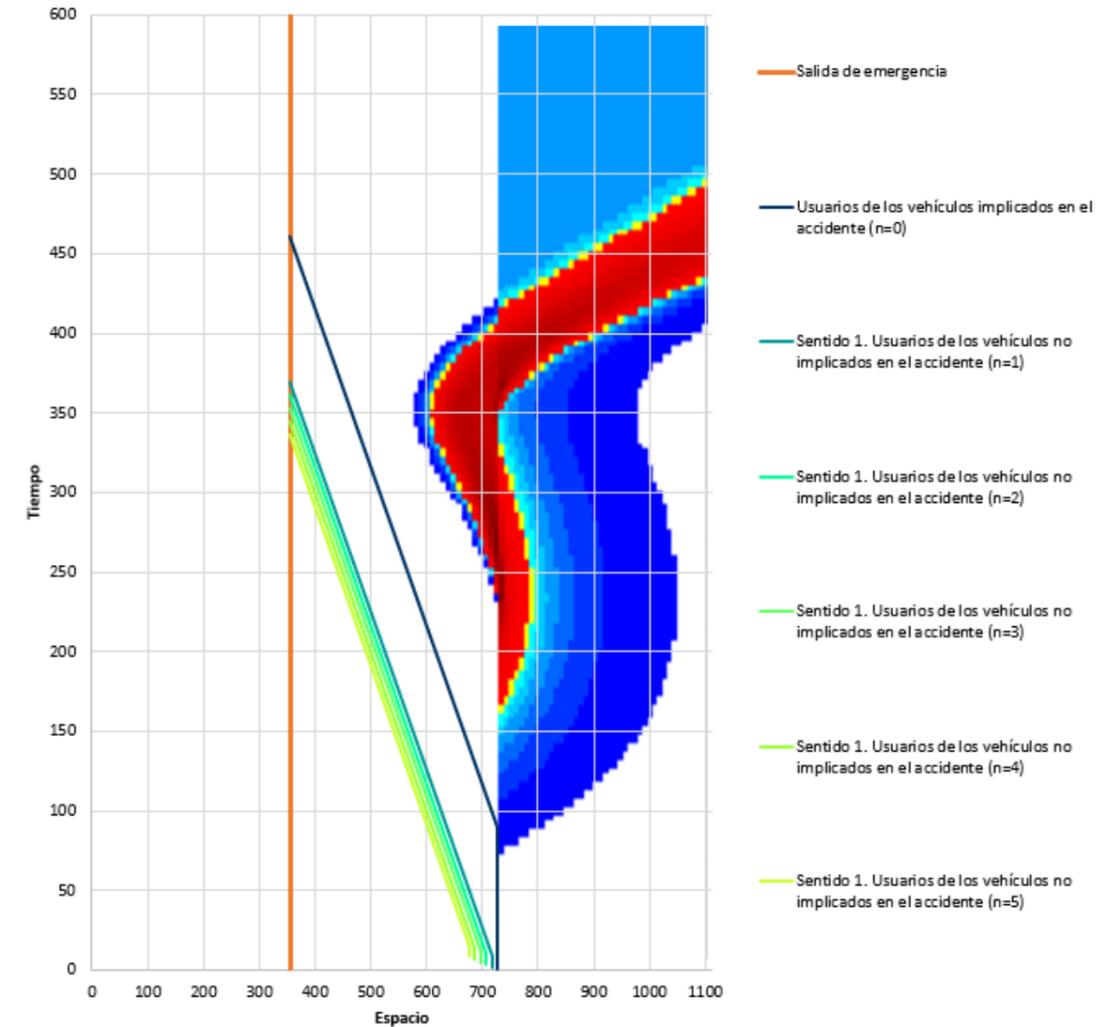


Ilustración 2.2.7. E1: Incendio de un vehículo ligero. 8 MW de potencia. Valores de opacidad (amarillo $k=0.4 \text{ m}^{-1}$)

La tabla anterior muestra los valores más representativos en el dominio de la longitud y el tiempo. La autoevacuación de todos los usuarios se produce de manera satisfactoria ya que la trayectoria de los mismos no se cruza con valores de opacidad de $0,4 \text{ m}^{-1}$ o mayores.

E2: Incendio de un vehículo pesado. 30 MW

E2: Incendio de un vehículo pesado. 30 MW				
Usuarios de los vehículos implicados en el accidente (n=0)				
	Tiempo	Espacio		n 0
T10	0.00	727.00 S10		
T20	90.00	727.00 S20		
T30	461.00	356.00 S30		
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=1)				
	Tiempo	Espacio		n 1
T11	1.64	717.00 S11		
T21	8.64	717.00 S21		
T31	369.64	356.00 S31		
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=2)				
	Tiempo	Espacio		n 2
T11	3.28	707.00 S11		
T21	10.28	707.00 S21		
T31	361.28	356.00 S31		
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=3)				
	Tiempo	Espacio		n 3
T11	4.92	697.00 S11		
T21	11.92	697.00 S21		
T31	352.92	356.00 S31		
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=4)				
	Tiempo	Espacio		n 4
T11	6.55	687.00 S11		
T21	13.55	687.00 S21		
T31	344.55	356.00 S31		
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=5)				
	Tiempo	Espacio		n 5
T11	8.19	677.00 S11		
T21	15.19	677.00 S21		
T31	336.19	356.00 S31		
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				

Tabla 2.2.18. E2: Incendio de un vehículo pesado. 30 MW

E2: Incendio de un vehículo pesado. 30 MW

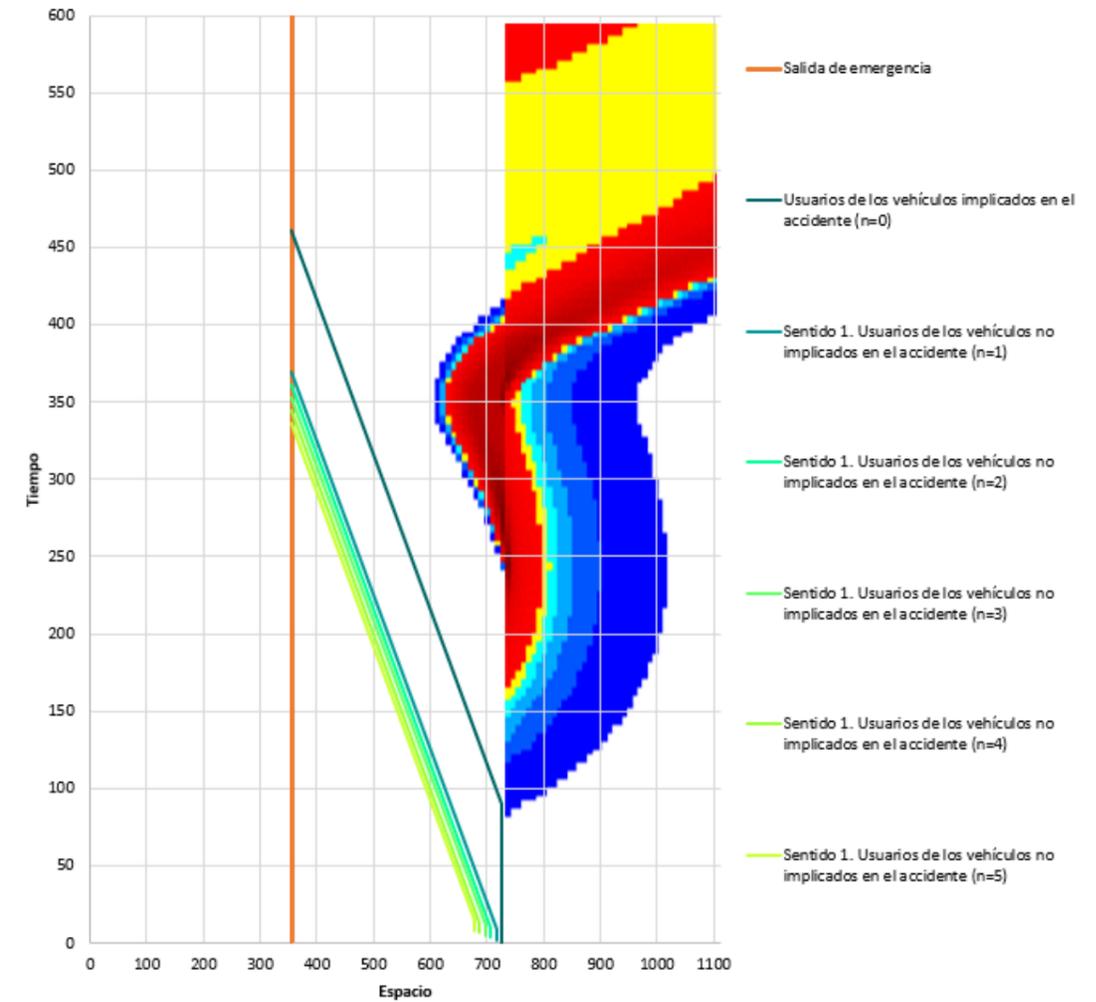


Ilustración 2.2.8. E2: Incendio de un vehículo pesado. 30 MW. Valores de opacidad (amarillo $k=0.4 \text{ m}^{-1}$)

La tabla anterior muestra los valores más representativos en el dominio de la longitud y el tiempo. La autoevacuación de todos los usuarios se produce de manera satisfactoria ya que la trayectoria de los mismos no se cruza con valores de opacidad de $0,4 \text{ m}^{-1}$ o mayores.

E3: Incendio de un vehículo ligero y un autocar. 15 MW

E3: Incendio de un vehículo ligero y un autocar. 15 MW				
Usuarios de los vehículos implicados en el accidente (n=0)				
	Tiempo	Espacio		Autobus 0
T10	0.00	727.00	S10	
T20	300.00	727.00	S20	
T30	671.00	356.00	S30	
Situación: Atrapado				
	Tiempo	Espacio		Ligero 0
T10	0.00	727.00	S10	
T20	90.00	727.00	S20	
T30	461.00	356.00	S30	
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=1)				
	Tiempo	Espacio		n 1
T11	1.64	717.00	S11	
T21	8.64	717.00	S21	
T31	369.64	356.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=2)				
	Tiempo	Espacio		n 2
T11	3.28	707.00	S11	
T21	10.28	707.00	S21	
T31	361.28	356.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=3)				
	Tiempo	Espacio		n 3
T11	4.92	697.00	S11	
T21	11.92	697.00	S21	
T31	352.92	356.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=4)				
	Tiempo	Espacio		n 4
T11	6.55	687.00	S11	
T21	13.55	687.00	S21	
T31	344.55	356.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=5)				
	Tiempo	Espacio		n 5

T11	8.19	677.00	S11
T21	15.19	677.00	S21
T31	336.19	356.00	S31

¿Llega a entrar en el túnel? **Sí**

Situación: **No atrapado**

Tabla 2.2.19. E3: Incendio de un vehículo ligero y un autocar. 15 MW

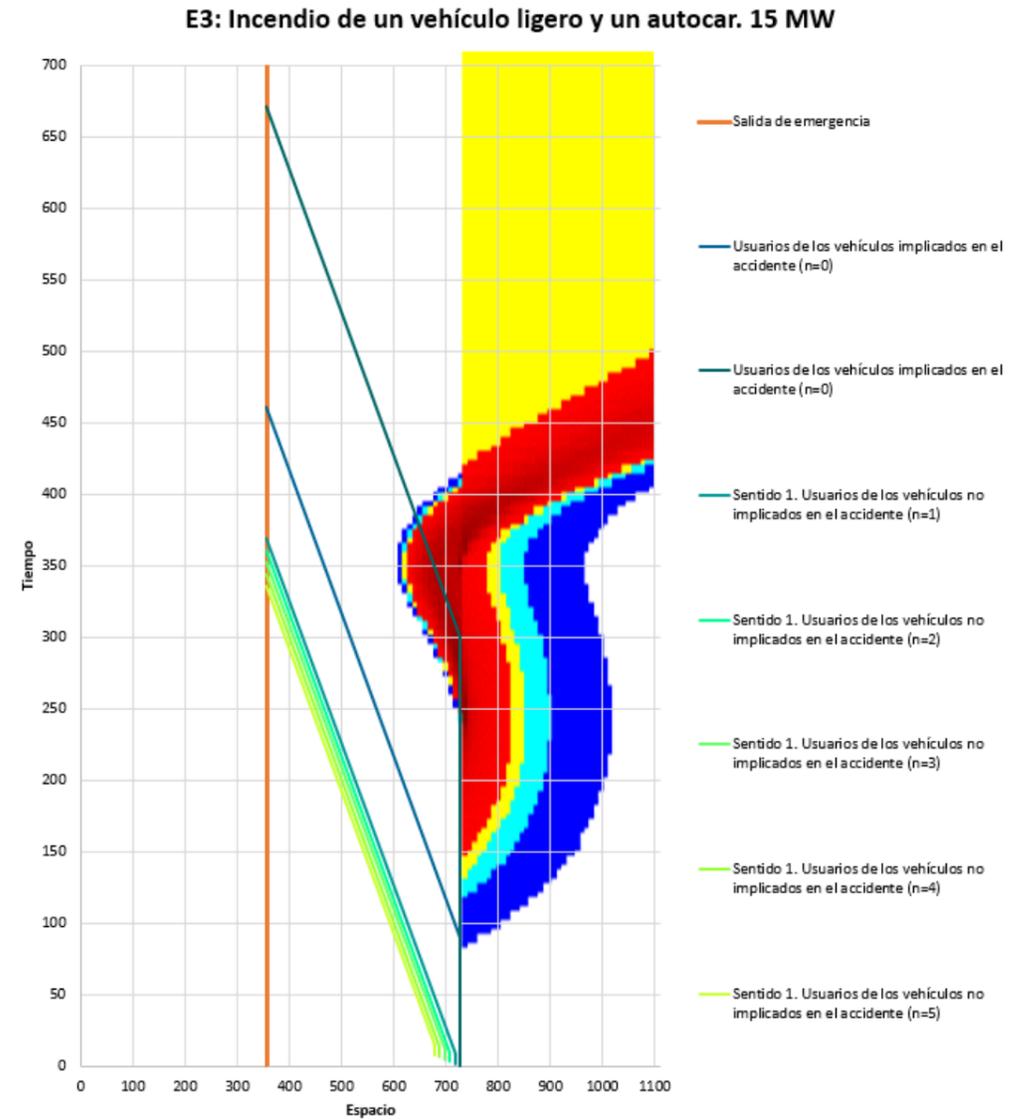


Ilustración 2.2.9. E3: Incendio de un vehículo ligero y un autocar. 15 MW. Valores de opacidad (amarillo $k=0.4 \text{ m}^{-1}$)

La tabla anterior muestra los valores más representativos en el dominio de la longitud y el tiempo. La autoevacuación de los usuarios del autobús implicado se produce de manera no satisfactoria ya que la trayectoria se cruza con valores de opacidad de $0,4 \text{ m}^{-1}$ o mayores. Por otro lado, la evacuación del resto de usuarios no implicados se produce manera satisfactoria.

E4: Incendio de un vehículo pesado y un autocar. 30 MW

E4: Incendio de un vehículo pesado y un autocar. 30 MW			
Usuarios de los vehículos implicados en el accidente (n=0)			
	Tiempo	Espacio	Autobús 0
T10	0.00	727.00 S10	
T20	300.00	727.00 S20	
T30	671.00	356.00 S30	
Situación: Atrapado			
	Tiempo	Espacio	Vehículo pesado 0
T10	0.00	727.00 S10	
T20	90.00	727.00 S20	
T30	461.00	356.00 S30	
Situación: No atrapado			
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=1)			
	Tiempo	Espacio	n 1
T11	1.64	717.00 S11	
T21	8.64	717.00 S21	
T31	369.64	356.00 S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí			
Situación: No atrapado			
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=2)			
	Tiempo	Espacio	n 2
T11	3.28	707.00 S11	
T21	10.28	707.00 S21	
T31	361.28	356.00 S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí			
Situación: No atrapado			
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=3)			
	Tiempo	Espacio	n 3
T11	4.92	697.00 S11	
T21	11.92	697.00 S21	
T31	352.92	356.00 S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí			
Situación: No atrapado			
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=4)			
	Tiempo	Espacio	n 4
T11	6.55	687.00 S11	
T21	13.55	687.00 S21	
T31	344.55	356.00 S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí			
Situación: No atrapado			
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=5)			
	Tiempo	Espacio	n 5

T11	8.19	677.00 S11
T21	15.19	677.00 S21
T31	336.19	356.00 S31

¿Llega a entrar en el túnel? **Sí**
Situación: **No atrapado**

Tabla 2.2.20. E4: Incendio de un vehículo pesado y un autocar. 30 MW

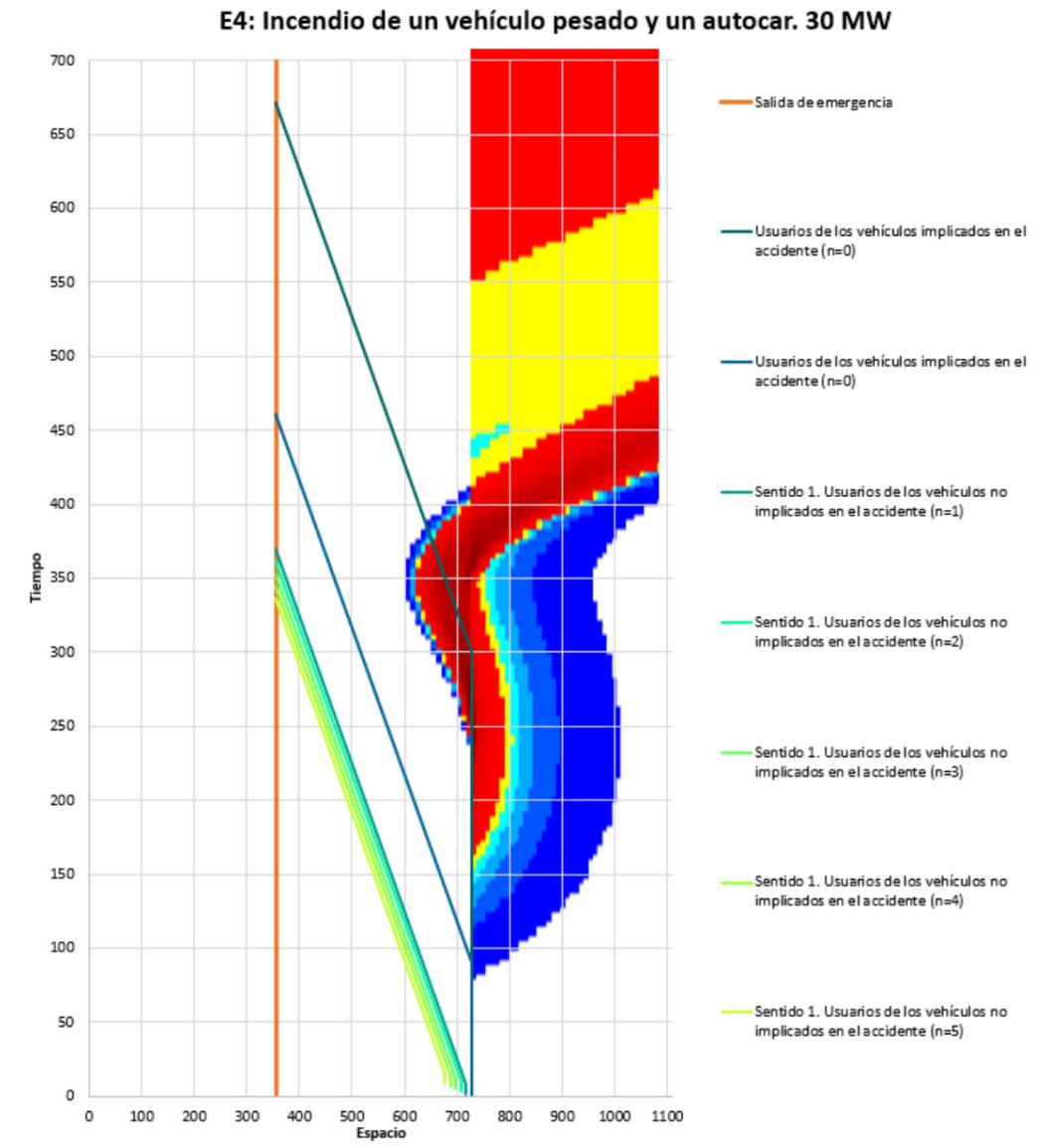


Ilustración 2.2.10. E4: Incendio de un vehículo pesado y un autocar. 30 MW

La tabla anterior muestra los valores más representativos en el dominio de la longitud y el tiempo. La autoevacuación de los usuarios del autobús implicado se produce de manera no satisfactoria ya que la trayectoria se cruza con valores de opacidad de 0,4 m⁻¹ o mayores. Por otro lado, la evacuación del resto de usuarios no implicados se produce manera satisfactoria.

E5: Incendio de un vehículo de pesado. 100 MW

E5: Incendio de un vehículo pesado. 100 MW			
Usuarios de los vehículos implicados en el accidente (n=0)			
	Tiempo	Espacio	n 0
T10	0.00	727.00 S10	
T20	90.00	727.00 S20	
T30	461.00	356.00 S30	
Situación: No atrapado			
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=1)			
	Tiempo	Espacio	n 1
T11	1.64	717.00 S11	
T21	8.64	717.00 S21	
T31	369.64	356.00 S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí			
Situación: No atrapado			
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=2)			
	Tiempo	Espacio	n 2
T11	3.28	707.00 S11	
T21	10.28	707.00 S21	
T31	361.28	356.00 S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí			
Situación: No atrapado			
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=3)			
	Tiempo	Espacio	n 3
T11	4.92	697.00 S11	
T21	11.92	697.00 S21	
T31	352.92	356.00 S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí			
Situación: No atrapado			
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=4)			
	Tiempo	Espacio	n 4
T11	6.55	687.00 S11	
T21	13.55	687.00 S21	
T31	344.55	356.00 S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí			
Situación: No atrapado			
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=5)			
	Tiempo	Espacio	n 5
T11	8.19	677.00 S11	
T21	15.19	677.00 S21	
T31	336.19	356.00 S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí			
Situación: No atrapado			

Tabla 2.2.21. E5: Incendio de un vehículo de pesado.100 MW

E5: Incendio de un vehículo de pesado. 100 MW

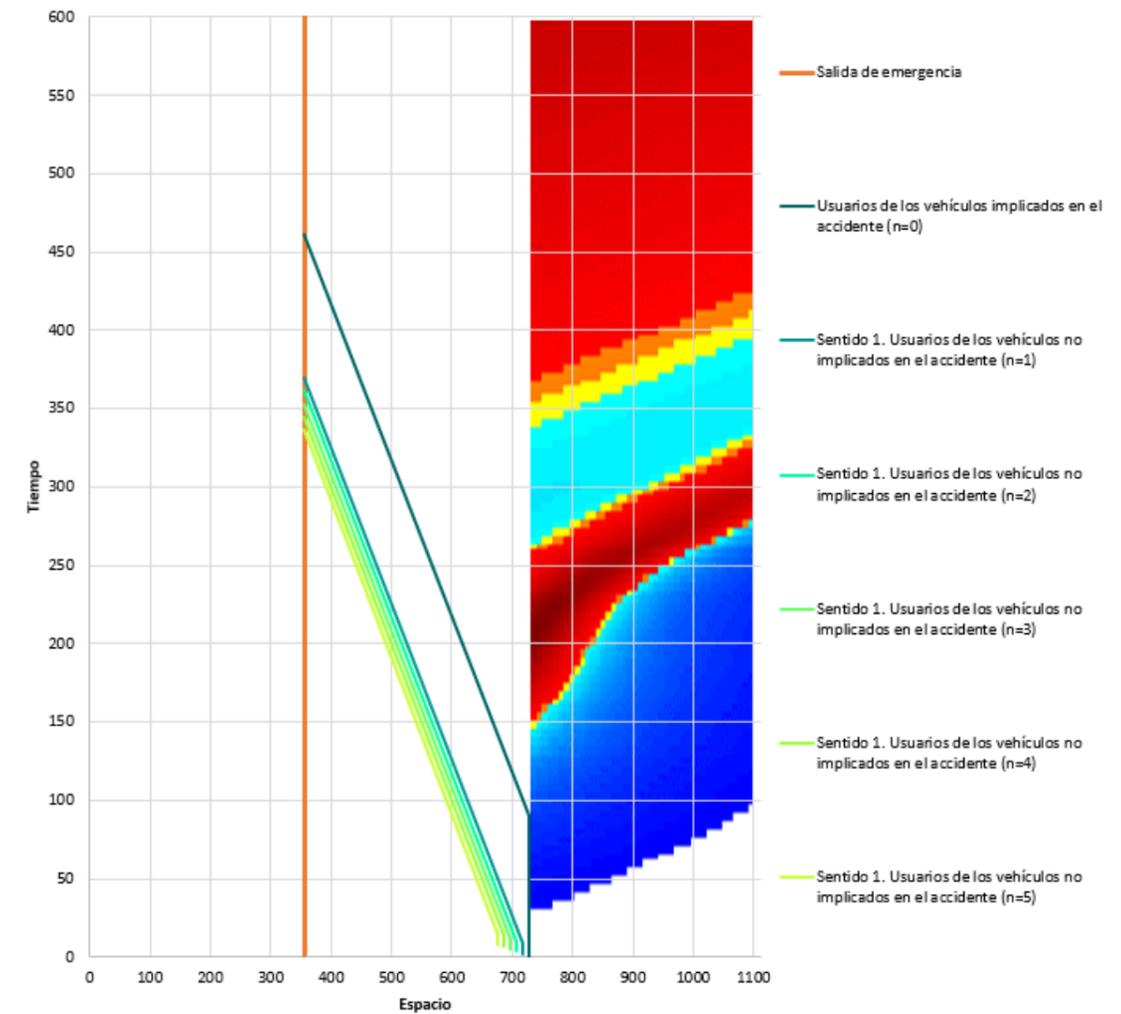


Ilustración 2.2.11 E5: Incendio de un vehículo de pesado. 100 MW

La tabla anterior muestra los valores más representativos en el dominio de la longitud y el tiempo. La autoevacuación de todos los usuarios se produce de manera satisfactoria ya que la trayectoria de los mismos no se cruza con valores de opacidad de 0,4 m⁻¹ o mayores.

A partir del análisis de los datos anteriores se procede a contabilizar las personas que se verían atrapadas en el interior del túnel, y que son aquellas que no pueden efectuar la auto-evacuación de forma satisfactoria siendo por tanto víctimas mortales del accidente.

En este caso, al haberse empleado el modelo de ventilación unidimensional, se considera que una persona queda atrapada en el túnel, siendo por tanto víctima del incendio correspondiente, cuando su trayectoria de huida se cruza con la franja de color amarilla de opacidad, correspondiente al valor de 0,4.

Así, el número de personas que podrían verse afectadas en cada uno de los escenarios analizados es el siguiente:

Escenarios	Por carril	Tubo	Accidente			Total	
	Congestión	Personas	Ligero	Pesado	Autocar	Personas	Personas
E1	0	0,00	0			0,00	0,00
E2	0	0,00		0		0,00	0,00
E3	0	0,00	0		1	30,00	30,00
E4	0	0,00		0	1	30,00	30,00
E5	0	0,00		0		0,00	0,00

Tabla 2.2.22. Recuento de personas afectadas para cada escenario

Aplicando a los valores obtenidos los modificadores por equipamiento y el factor corrector por IMD y vehículos pesados, la estimación de personas atrapadas y probabilidad de ocurrencia de cada uno de los escenarios se reflejan en las dos últimas columnas de la siguiente tabla:

Escenarios	FIMD	Drenaje	Puestos	Personas	Probabilidad
E1	3,36	1,00	0,90	0,00	0,00
E2	1,29	1,00	1,00	0,00	0,00
E3	0,10	1,00	0,95	28,50	2,89
E4	0,05	1,00	1,00	30,00	1,64
E5	0,26	1,00	1,00	0,00	0,00

Tabla 2.2.23. Probabilidad de ocurrencia de atrapamiento para cada escenario

El coeficiente de riesgo para el túnel real es:

CRTR	5,6922
-------------	---------------

Túnel virtual:

Se muestra la información más relevante para cada uno de los escenarios.

E1: Incendio de un vehículo ligero. 8 MW de potencia

E1: Incendio de un vehículo ligero. 8 MW de potencia			
Usuarios de los vehículos implicados en el accidente (n=0)			
	Tiempo	Espacio	n 0
T10	0.00	755.50 S10	
T20	90.00	755.50 S20	
T30	490.00	355.50 S30	
Situación: No atrapado			
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=1)			
	Tiempo	Espacio	n 1
T11	2.15	745.50 S11	
T21	9.15	745.50 S21	
T31	399.15	355.50 S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí			
Situación: No atrapado			
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=2)			
	Tiempo	Espacio	n 2
T11	4.30	735.50 S11	
T21	11.30	735.50 S21	
T31	391.30	355.50 S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí			
Situación: No atrapado			
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=3)			
	Tiempo	Espacio	n 3
T11	6.46	725.50 S11	
T21	13.46	725.50 S21	
T31	383.46	355.50 S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí			
Situación: No atrapado			
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=4)			
	Tiempo	Espacio	n 4
T11	8.61	715.50 S11	
T21	15.61	715.50 S21	
T31	375.61	355.50 S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí			
Situación: No atrapado			
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=5)			
	Tiempo	Espacio	n 5
T11	10.76	705.50 S11	

T21	17.76	705.50	S21
T31	367.76	355.50	S31

¿Llega a entrar en el túnel? Sí
Situación: No atrapado

Tabla 2.2.24. E1: Incendio de un vehículo ligero. 8 MW de potencia

E1: Incendio de un vehículo ligero. 8 MW de potencia

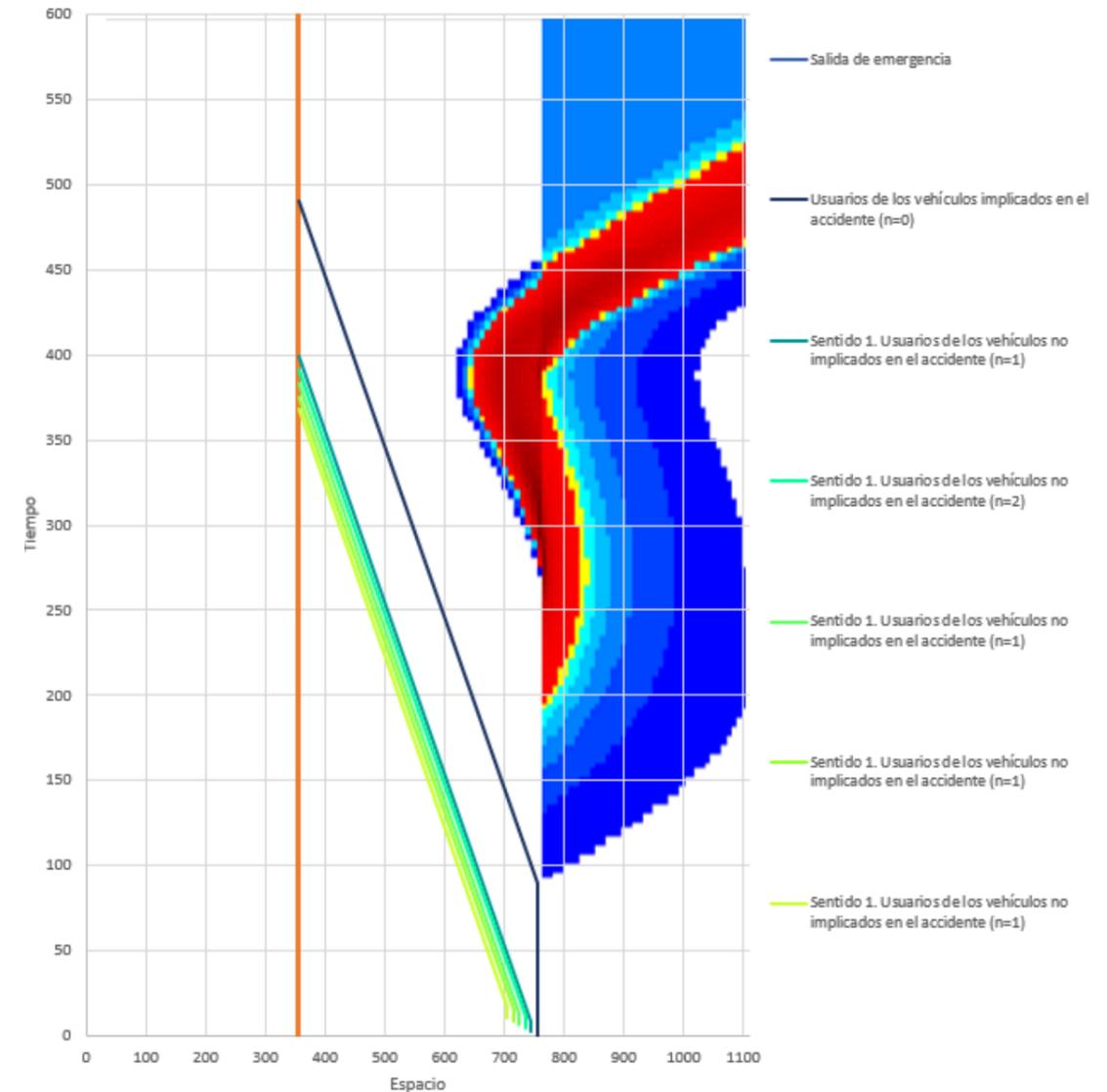


Ilustración 2.2.12. E1: Incendio de un vehículo ligero. 8 MW de potencia. Valores de opacidad (amarillo $k=0.4 \text{ m}^{-1}$)

La tabla anterior muestra los valores más representativos en el dominio de la longitud y el tiempo. La autoevacuación de todos los usuarios se produce de manera satisfactoria ya que la trayectoria de los mismos no se cruza con valores de opacidad de $0,4 \text{ m}^{-1}$ o mayores.

E2: Incendio de un vehículo pesado. 30 MW

E2: Incendio de un vehículo pesado. 30 MW				
Usuarios de los vehículos implicados en el accidente (n=0)				
	Tiempo	Espacio		n 0
T10	0.00	755.50 S10		
T20	90.00	755.50 S20		
T30	490.00	355.50 S30		
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=1)				
	Tiempo	Espacio		n 1
T11	2.15	745.50 S11		
T21	9.15	745.50 S21		
T31	399.15	355.50 S31		
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=2)				
	Tiempo	Espacio		n 2
T11	4.30	735.50 S11		
T21	11.30	735.50 S21		
T31	391.30	355.50 S31		
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=3)				
	Tiempo	Espacio		n 3
T11	6.46	725.50 S11		
T21	13.46	725.50 S21		
T31	383.46	355.50 S31		
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=4)				
	Tiempo	Espacio		n 4
T11	8.61	715.50 S11		
T21	15.61	715.50 S21		
T31	375.61	355.50 S31		
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=5)				
	Tiempo	Espacio		n 5
T11	10.76	705.50 S11		
T21	17.76	705.50 S21		
T31	367.76	355.50 S31		
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				

Tabla 2.2.25. E2: Incendio de un vehículo pesado. 30 MW

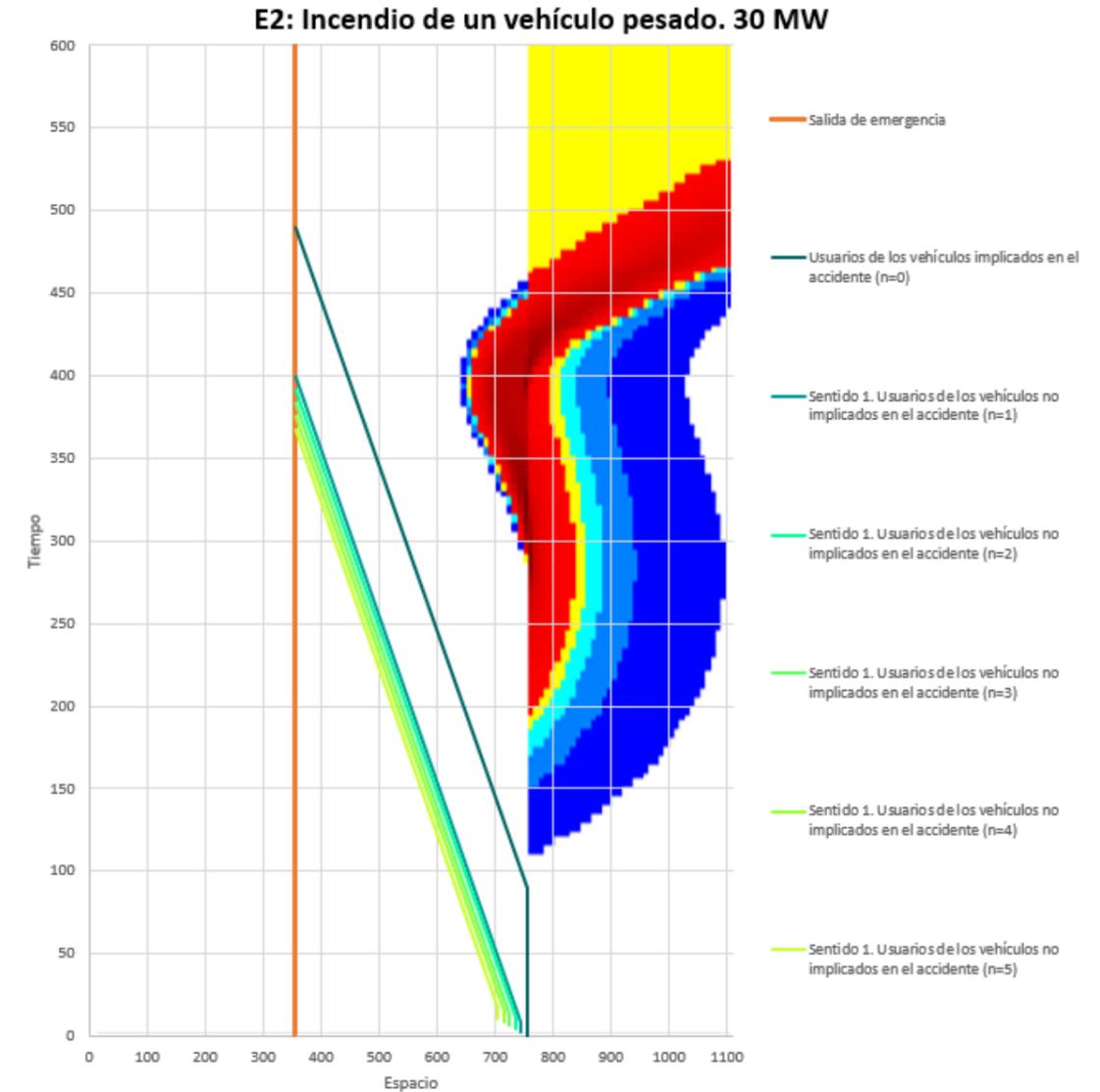


Ilustración 2.2.13. E2: Incendio de un vehículo pesado. 30 MW. Valores de opacidad (amarillo k=0.4 m⁻¹)

La tabla anterior muestra los valores más representativos en el dominio de la longitud y el tiempo. La autoevacuación de todos los usuarios se produce de manera satisfactoria ya que la trayectoria de los mismos no se cruza con valores de opacidad de 0,4 m⁻¹ o mayores.

E3: Incendio de un vehículo ligero y un autocar. 15 MW

E3: Incendio de un vehículo ligero y un autocar. 15 MW				
Usuarios de los vehículos implicados en el accidente (n=0)				
	Tiempo	Espacio		Autobus 0
T10	0.00	755.50	S10	
T20	300.00	755.50	S20	
T30	700.00	355.50	S30	
Situación: Atrapado				
	Tiempo	Espacio		Ligero 0
T10	0.00	755.50	S10	
T20	90.00	755.50	S20	
T30	490.00	355.50	S30	
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=1)				
	Tiempo	Espacio		n 1
T11	2.15	745.50	S11	
T21	9.15	745.50	S21	
T31	399.15	355.50	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
No				
Situación: atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=2)				
	Tiempo	Espacio		n 2
T11	4.30	735.50	S11	
T21	11.30	735.50	S21	
T31	391.30	355.50	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
No				
Situación: atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=3)				
	Tiempo	Espacio		n 3
T11	6.46	725.50	S11	
T21	13.46	725.50	S21	
T31	383.46	355.50	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
No				
Situación: atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=4)				
	Tiempo	Espacio		n 4
T11	8.61	715.50	S11	
T21	15.61	715.50	S21	
T31	375.61	355.50	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				

No				
Situación: atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=5)				
	Tiempo	Espacio		n 5
T11	10.76	705.50	S11	
T21	17.76	705.50	S21	
T31	367.76	355.50	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
No				
Situación: atrapado				

Tabla 2.2.26. E3: Incendio de un vehículo ligero y un autocar. 15 MW

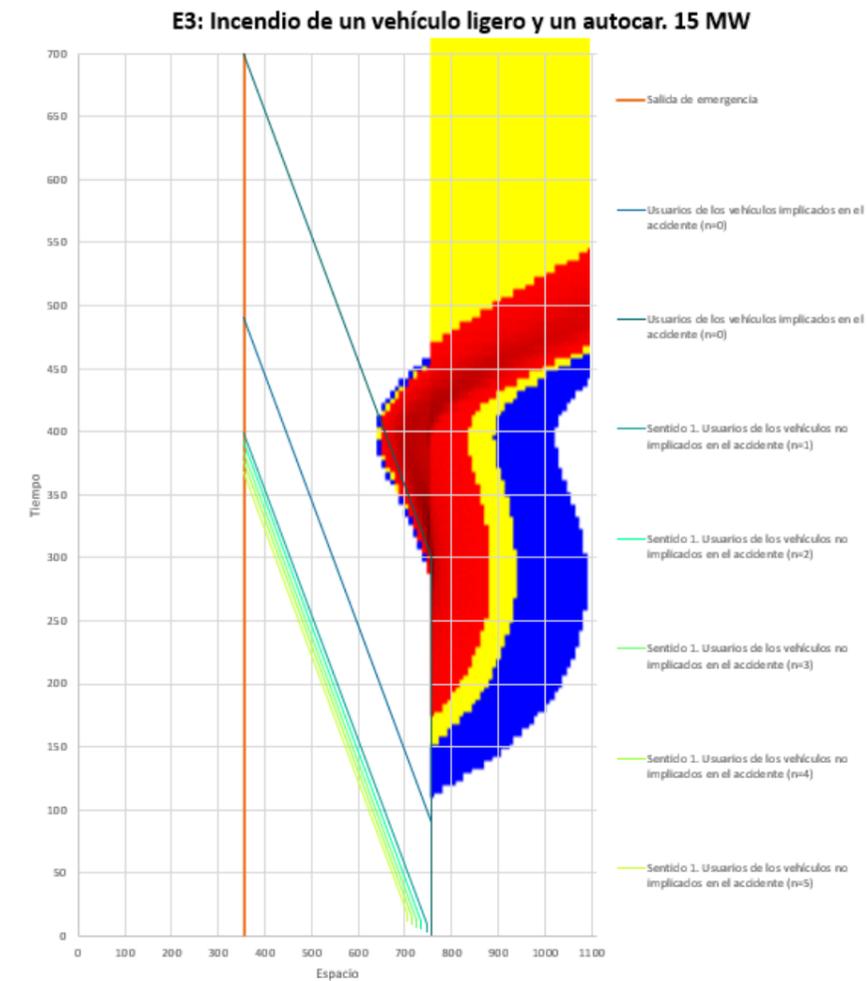


Ilustración 2.2.14. E3: Incendio de un vehículo ligero y un autocar. 15 MW. Valores de opacidad (amarillo $k=0.4 \text{ m}^{-1}$)

La tabla anterior muestra los valores más representativos en el dominio de la longitud y el tiempo. La autoevacuación de los usuarios del autobús implicado se produce de manera no satisfactoria ya que la trayectoria se cruza con valores de opacidad de $0,4 \text{ m}^{-1}$ o mayores. Por otro lado, la evacuación del resto de usuarios no implicados se produce manera satisfactoria.

E4: Incendio de un vehículo pesado y un autocar. 30 MW

E4: Incendio de un vehículo pesado y un autocar. 30 MW				
Usuarios de los vehículos implicados en el accidente (n=0)				
	Tiempo	Espacio		Autobús 0
T10	0.00	755.50 S10		
T20	300.00	755.50 S20		
T30	700.00	355.50 S30		
Situación: Atrapado				
	Tiempo	Espacio		Vehículo pesado 0
T10	0.00	755.50 S10		
T20	90.00	755.50 S20		
T30	490.00	355.50 S30		
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=1)				
	Tiempo	Espacio		n 1
T11	2.15	745.50 S11		
T21	9.15	745.50 S21		
T31	399.15	355.50 S31		
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=2)				
	Tiempo	Espacio		n 2
T11	4.30	735.50 S11		
T21	11.30	735.50 S21		
T31	391.30	355.50 S31		
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=3)				
	Tiempo	Espacio		n 3
T11	6.46	725.50 S11		
T21	13.46	725.50 S21		
T31	383.46	355.50 S31		
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=4)				
	Tiempo	Espacio		n 4
T11	8.61	715.50 S11		
T21	15.61	715.50 S21		
T31	375.61	355.50 S31		
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=5)				
	Tiempo	Espacio		n 5

T11	10.76	705.50 S11
T21	17.76	705.50 S21
T31	367.76	355.50 S31

¿Llega a entrar en el túnel? Sí
Situación: No atrapado

Tabla 2.2.27. E4: Incendio de un vehículo pesado y un autocar. 30 MW

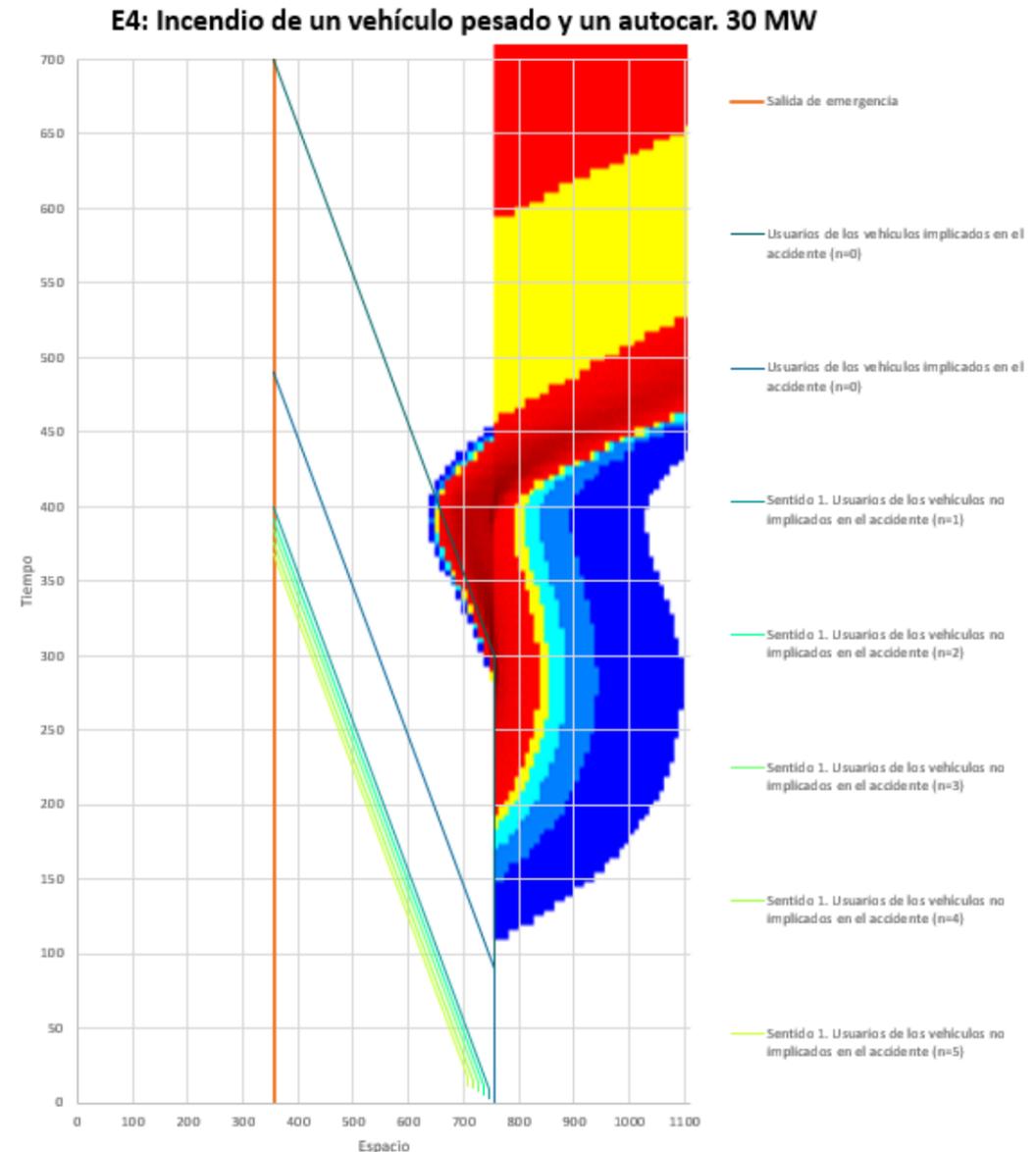


Ilustración 2.2.15. E4: Incendio de un vehículo pesado y un autocar. 30 MW

La tabla anterior muestra los valores más representativos en el dominio de la longitud y el tiempo. La autoevacuación de los usuarios del autobús implicado se produce de manera no satisfactoria ya que la trayectoria se cruza con valores de opacidad de $0,4 \text{ m}^{-1}$ o mayores. Por otro lado, la evacuación del resto de usuarios no implicados se produce manera satisfactoria.

E5: Incendio de un vehículo de pesado. 100 MW

E5: Incendio de un vehículo pesado. 100 MW			
Usuarios de los vehículos implicados en el accidente (n=0)			
	Tiempo	Espacio	n 0
T10	0.00	755.50 S10	
T20	90.00	755.50 S20	
T30	490.00	355.50 S30	
Situación: No atrapado			
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=1)			
	Tiempo	Espacio	n 1
T11	2.15	745.50 S11	
T21	9.15	745.50 S21	
T31	399.15	355.50 S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí			
Situación: No atrapado			
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=2)			
	Tiempo	Espacio	n 2
T11	4.30	735.50 S11	
T21	11.30	735.50 S21	
T31	391.30	355.50 S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí			
Situación: No atrapado			
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=3)			
	Tiempo	Espacio	n 3
T11	6.46	725.50 S11	
T21	13.46	725.50 S21	
T31	383.46	355.50 S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí			
Situación: No atrapado			
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=4)			
	Tiempo	Espacio	n 4
T11	8.61	715.50 S11	
T21	15.61	715.50 S21	
T31	375.61	355.50 S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí			
Situación: No atrapado			
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=5)			
	Tiempo	Espacio	n 5
T11	10.76	705.50 S11	
T21	17.76	705.50 S21	
T31	367.76	355.50 S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí			
Situación: No atrapado			

Tabla 2.2.28. E5: Incendio de un vehículo de pesado.100 MW

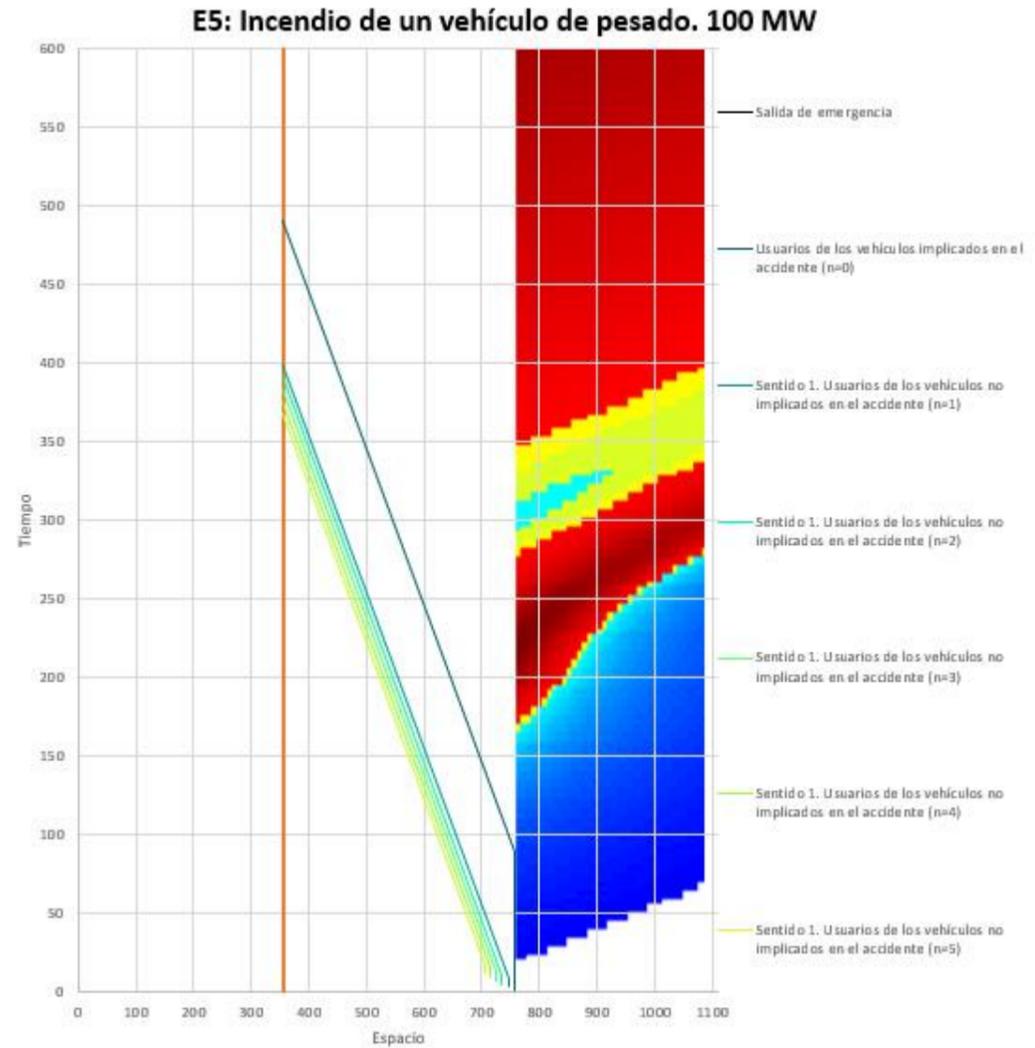


Ilustración 2.2.16 E5: Incendio de un vehículo de pesado. 100 MW

La tabla anterior muestra los valores más representativos en el dominio de la longitud y el tiempo. La autoevacuación de todos los usuarios se produce de manera satisfactoria ya que la trayectoria de los mismos no se cruza con valores de opacidad de $0,4 \text{ m}^{-1}$ o mayores.

En base al análisis de los escenarios, el número de vehículos y personas que se consideran atrapadas es el indicado en la tabla siguiente:

Escenarios	Por carril	Tubo	Accidente			Total	
	Congestión	Personas	Ligero	Pesado	Autocar	Personas	Personas
E1	0	0,00	0			0,00	0,00
E2	0	0,00		0		0,00	0,00
E3	0	0,00	0		1	30,00	30,00
E4	0	0,00		0	1	30,00	30,00
E5	0	0,00		0		0,00	0,00

Tabla 2.2.29. Recuento de personas afectadas para cada escenario

Aplicando a los valores obtenidos los modificadores por equipamiento y el factor corrector por IMD y vehículos pesados, la estimación de personas atrapadas y probabilidad de ocurrencia de cada uno de los escenarios se reflejan en las dos últimas columnas de la siguiente tabla:

Escenarios	FIMD	Drenaje	Puestos	Personas	Probabilidad
E1	2,85	1,00	0,90	0,00	0,00
E2	1,07	1,00	1,00	0,00	0,00
E3	0,09	1,00	0,95	28,50	2,43
E4	0,04	1,00	1,00	30,00	1,31
E5	0,22	1,00	1,00	0,00	0,00

Tabla 2.2.30. Probabilidad de ocurrencia de atrapamiento para cada escenario

CRTV	3,6503
------	---------------

$$IR = \frac{5,6922}{3,6503} = 1,5594$$

El túnel se considera como **túnel con peligrosidad elevada**, según los criterios de aceptación de la MARTE.

Si se considera la instalación de un radar, y modificando la tabla de factores correctores del apartado 2.2.1.1 se consideraría como **túnel con posibles restricciones** dentro de los criterios de aceptabilidad de la MARTE, quedando el índice de riesgo:

$$IR = \frac{5,2368}{3,6503} = 1,4346$$

2.2.2. BRUC 2, SENTIDO LLEIDA (B-40200)

Para un túnel unidireccional, **con salida de emergencia en el túnel real y en el virtual**, la metodología de análisis de riesgo de la R.C.E. indica que el análisis se debe realizar en el mayor tramo de túnel entre dos salidas de emergencia que tengan una tercera entre ellas en la que se produce el incendio.

Túnel real. Teniendo en cuenta la información disponible en el Manual de Explotación de los túneles del Bruc, revisión 05 con fecha de agosto 2019, las salidas de emergencia se encuentran a 308 m y 616 m desde la boca de entrada. Por lo tanto, el incendio se posiciona en la primera salida de emergencia.

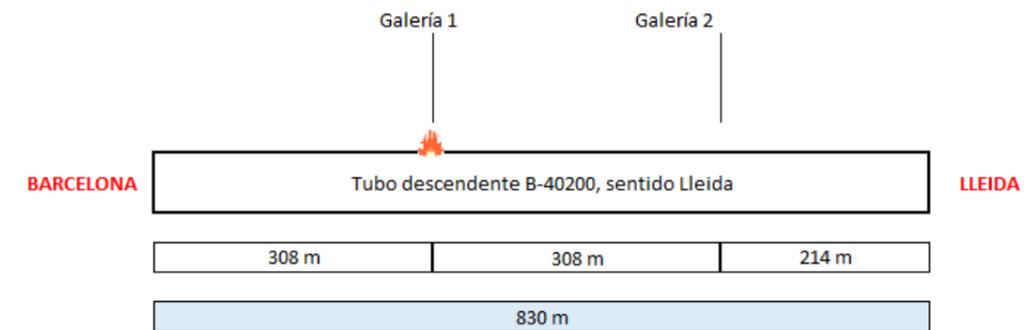


Ilustración 2.2.17. Croquis del posicionamiento del incendio para el túnel real

Túnel virtual. El RD se exige que las salidas de emergencia estén como máximo cada 400 m. En este sentido, al ser la longitud del túnel 830 m, se colocan las salidas de emergencia a 215 m y 615 m desde la boca de entrada, véase apartado 5.4. El incendio se posicionará en la segunda salida de emergencia.

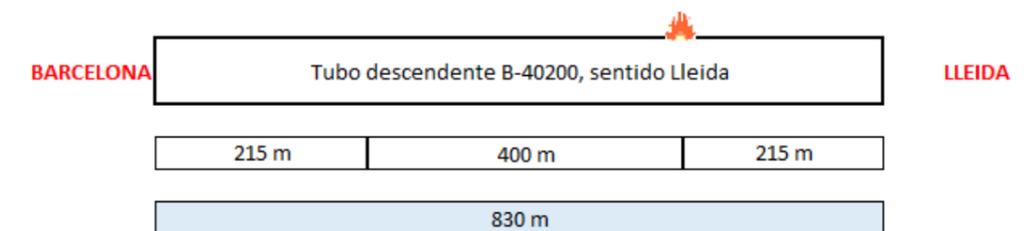


Ilustración 2.2.18. Croquis del posicionamiento del incendio para el túnel virtual

Para analizar este apartado, el túnel real ya está caracterizado en el apartado 2.1. Igualmente, para el túnel virtual, que servirá de comparación ideal, como aquel túnel de referencia con la misma longitud, número de carriles y tipo de circulación, que el túnel real y con la disposición de todo el equipamiento que para su categoría establece el Real Decreto 635/2006 (Tabla 2.2.1).

2.2.2.1. Modelo de riesgo del túnel

% Vehículos pesados	16,6 %
Ancho carril ¹¹ (m)	3,40
Ancho arcén derecho (m)	0,00
Ancho acera derecha (m)	1,00
Pendiente (%)	-4,30
Longitud (m)	830
Nº carriles	3

Tabla 2.2.31. Características geométricas y porcentaje de vehículos pesados

Las tablas en las que se basa el cálculo de los factores correctores se encuentran incluidas en el apartado 5:

Factor corrector del coeficiente de riesgo		FTR	FTV	
Fg	Factor de ponderación por criterios de diseño geométrico del túnel	Real	Virtual	Observaciones
FgCAR	Factor anchura de carriles	1,0000	1,0000	Ancho carril túnel real 3,5 m. Igual para túnel virtual
FgARC	Factor anchura arcén derecho	1,0500	1,0000	Túnel real no tiene arcén. El túnel virtual tiene asignado 1 m de ancho.
FgAPA	Factor de existencia de apartaderos en el túnel	1,0500	1,0000	No existente y exigido para el túnel virtual
FgACE	Factor de existencia de aceras para evacuación	1,0000	1,0000	Ancho de acera del túnel real 1 m. Ancho de acera del túnel virtual 0,75 m.
FgPAV	Factor de tipo de pavimento	1,0000	1,0000	Pavimento de hormigón no exigido al tener longitud inferior a 1000 m
FgPTE	Factor de pendiente longitudinal del túnel	1,0260	1,0000	Pendiente túnel real >3%. Túnel virtual tiene asignada una pendiente de 3%
FgREV	Factor de existencia revestimiento rígido del túnel	1,0300	1,0000	Túnel sin revestimiento rígido y con instrumentación

¹¹ Se toma el valor de carril más desfavorable

Factor corrector del coeficiente de riesgo	FTR	FTV
	1,1651	1,0000

Tabla 2.2.32. Factores de ponderación por criterios de diseño geométrico del túnel

Factor corrector del coeficiente de riesgo		FTR	FTV	
Feq	Factor de ponderación por criterios de equipamiento del túnel	Real	Virtual	Observaciones
FeqSSEE	Factor de proximidad de los servicios de emergencia	1,2500	1,1500	Considerado en túnel real que la llegada de los servicios > 15 minutos. Túnel virtual entre 10 y 15 minutos
FeqCC	Factor de existencia de centro de control permanente y vigilado con posibilidad de control de accesos	0,9000	0,9000	Existente en túnel real y exigido según RD para túnel virtual
FeqOTR	Factor de otras mejoras sobre las dotaciones de seguridad mínimas exigidas en el Real Decreto 635/2006	0,9429	0,9429	El túnel real cuenta con cruce de mediana, doble suministro, red de hidrantes y sistema de radiocomunicación para SSEE. El túnel virtual cuenta con cruce de mediana, doble suministro, red de hidrantes y sistema de radiocomunicación para SSEE. En el apartado 5.2 se define más detalladamente el criterio utilizado para valorar el factor de otras mejoras
		1,0607	0,9759	

Tabla 2.2.33. Factores de ponderación por criterios de equipamiento del túnel

Factor corrector del coeficiente de riesgo		FTR	FTV	
Fex	Factor de ponderación por criterios de explotación del túnel	Real	Virtual	Observaciones
FexAVP	Factor de permisividad o no de adelantamiento de vehículos pesados en túneles con más de un carril por sentido	0,8904	1,0000	Actualmente existe prohibición de adelantamiento, permitido en el túnel virtual.

Factor corrector del coeficiente de riesgo		FTR	FTV	Observaciones
Fex	Factor de ponderación por criterios de explotación del túnel	Real	Virtual	
FexRAD	Factor de existencia de sistemas de control de velocidad (radares), anunciados y con posibilidad de sanción, en los accesos o en el interior del túnel	1,0000	1,0000	No existe radar
		0,8904	1,0000	

Tabla 2.2.34. Factores de ponderación por criterios de explotación del túnel

Factor corrector del coeficiente de riesgo		FTR	FTV
Total =	Fg x Feq x Fex	1,1004	0,9759

Tabla 2.2.35. Factor corrector del índice de riesgo

Las probabilidades de ocurrencia de los distintos escenarios permanecen invariables para todo el estudio tanto en el túnel real como el virtual, y dependen de la IMD y del porcentaje de vehículos pesados esperados, que se considera un 16,6 % para el túnel real y para el túnel virtual:

	TÚNEL REAL	TÚNEL VIRTUAL
% Vehículos pesados	16,6%	16,6%
Autovia	0,9291	0,9291
IMD carril	11.165,3	9.579,7
FIMD autovia	4,9419	4,2863

Tabla 2.2.36. Información del tráfico

% de vehículos pesados	15 %	16,6 %	20 %	Autopista T REAL % con FIMD	Autopista T VIRTUAL % con FIMD
Escenario	Probabilidades de ocurrencia (en tanto por uno)				
E1	0,6700	0,6412	0,5800	3,1687	2,7484
E2	0,2500	0,2692	0,3100	1,3303	1,1539
E3	0,0200	0,0200	0,0200	0,0988	0,0857
E4	0,0100	0,0132	0,0200	0,0652	0,0566
E5	0,0500	0,0564	0,0700	0,2787	0,2417

Tabla 2.2.37. Probabilidades de ocurrencia de los escenarios

2.2.2.2. Modelo de ventilación forzada

El túnel de Bruc cuenta con ventilación forzada. Según la información disponible en el Manual de Explotación de los túneles del Bruc, revisión 05 con fecha de agosto 2019, su diseño cumple con las exigencias del RD 635/2006. Se trata de un sistema con ventiladores longitudinales, que cumple el RD 635/2006 según la documentación del túnel, y adecuado según el apartado 2.11.3 del RD 635/2006, al contar con gestión del tráfico y reducción de la distancia entre salidas de emergencia.

En la página 15 de dicho documento se proporciona los datos característicos de los ventiladores y que se muestran en la siguiente tabla:

Modelo	Caudal (m ³ /s)	Velocidad aire (m/s)	Empuje (N)	Pot. Motor (kW)	Número	Temperatura resistencia al fuego 2 horas (°C)
A-NR8JT5/Z0,05/1250/GR/6	40,0	32,6	1.487	75	16 (2 x 8)	400

Tabla 2.2.38. Características de los ventiladores del sistema de ventilación de Bruc sentido Lleida

La ubicación de los ventiladores se toman de la información disponible en “Estado de Dimensiones y Características de Obra Ejecutada. Obra de emergencia de remodelación y cambio del sistema de ventilación del Túnel de El Bruc en la calzada derecha, del p.km. 565,000 al 566,111. Rehabilitación y refuerzo del Túnel de la Autovía A-2 de El Bruc, calzada izquierda del p.km. 565,150 al 565,850. Términos municipales de Castellolí y El Bruc, (Barcelona). Clave: OEM-B-126/11” y se muestra en la siguiente tabla. Se encuentran colocados por parejas:

Pareja	Distancia a la boca de entrada (m)	Interdistancia (m)
Pareja 1	64	64
Pareja 2	165	101
Pareja 3	271	106
Pareja 4	365	94
Pareja 5	461	96
Pareja 6	555	94
Pareja 7	658	103
Pareja 8	761	103

Tabla 2.2.39. Ubicación parejas de ventiladores

A continuación se muestran las ilustraciones del sistema simulado, tanto para el túnel real como para el túnel virtual.

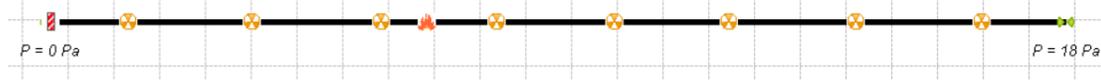


Ilustración 2.2.19. Representación de la simulación del incendio para el túnel real

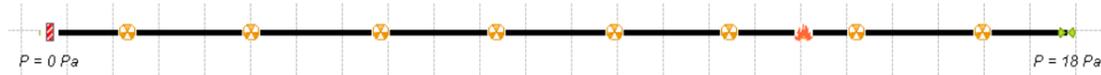


Ilustración 2.2.20. Representación de la simulación del incendio para el túnel virtual

Se define el funcionamiento del sistema de ventilación se define teniendo en cuenta la información del Manual de Explotación de los túneles del Bruc, revisión 05 con fecha de agosto 2019.

- La detección de incendio se realiza por cable de detección . Por ello, se considerará el tiempo de detección del incendio como aquel tiempo en el que la temperatura alcance 55°C en la zona del incendio.
- Se considera un tiempo de confirmación del operario de 60 s.
- El tiempo de arranque de la primera pareja de ventilación (la más alejada del incendio) será el tiempo de detección más el tiempo de confirmación.
- A partir del arranque de la primera pareja, las siguientes parejas se irán encendiendo cada 10 s.
- Se considera una rampa de 40 s para llegar al 100% del funcionamiento del ventilador.
- La pareja más cercana al incendio no se enciende, considerándose de reserva.

Label	Number of jet fans	Unit free... thrust [N]	Jet vel... [m/s]	Effici... (0 to...)	Max. wo... tempera... [°C]	Reference density [kg/m3]	Tunnel Cross-s... area [m²]	Cross-sect. area at jet fans ...	Dist. from upstrea...	Control
Witt&Sohn_1	2	1487.0	32.6	0.9	400.0	1.2	85.0	85.0	64.0	⊕
Witt&Sohn_2	2	1487.0	32.6	0.9	400.0	1.2	85.0	85.0	165.0	⊕
Witt&Sohn_3	2	1487.0	32.6	0.9	400.0	1.2	85.0	85.0	271.0	⊕
Witt&Sohn_4	2	1487.0	32.6	0.9	400.0	1.2	85.0	85.0	365.0	⊕
Witt&Sohn_5	2	1487.0	32.6	0.9	400.0	1.2	85.0	85.0	461.0	⊕
Witt&Sohn_6									555.0	⊕
Witt&Sohn_7									658.0	⊕
Witt&Sohn_8									761.0	⊕

Hour	Minute	Second	Multiplying c...
0	3	50	0.0
0	4	10	0.5
0	4	30	1.0

Ilustración 2.2.21. Ejemplo de funcionamiento del sistema de ventilación

Los datos empleados en el software CAMATT han sido los siguientes:

TÚNEL ANALIZADO

- B-40200

DATOS MEDIOAMBIENTALES

- Altitud media (m): 522,0
- Temperatura ambiente en el interior del túnel (°C): 15,0
- Densidad del aire (kg/m3): 1,152
- Coeficiente de convección mínimo: 5 W/(m²·K)
- Coeficiente de convección máximo: 50 W/(m²·K)
- Emisividad de la pared: 0,7

TRÁFICO, DATOS DE LOS VEHÍCULOS

- Proporción de vehículos pesados túnel real (%): 16,6
- Proporción de vehículos pesados túnel virtual (%): 16,6
- Sigma Cx para coches (m²): 0,90
- Sigma Cx para pesados (m²): 4,55
- Distancia entre vehículos parados (m): 10,00

SECCIÓN DEL TÚNEL

- Longitud sección (m): 830
- Pendiente sección (%): -4,30
- Área de la sección transversal para el túnel real y virtual(m²): 85
- Perímetro para el túnel real y virtual(m): 41,00
- Coeficiente de fricción del túnel real: 0,030
Cabe destacar que el valor de coeficiente de fricción del túnel real se modifica frente al valor corriente de 0,02 propuesto en MARTE. Esto se ha solicitado desde Demarcación, teniendo en cuenta que el túnel no se encuentra revestido.¹²
- Coeficiente de fricción del túnel virtual: 0,020
- Revestimiento: Hormigón
- Número de carriles por sentido: 3

TRÁFICO

- Dirección del tráfico: Unidireccional
- Velocidad máxima túnel real (km/h): 80
- Velocidad máxima túnel virtual (km/h): 100
- Intensidad horaria para el túnel real (veh/h): 5.024,4
- Intensidad horaria para el túnel virtual (veh/h): 4.310,85

¹² Se considera la información del documento “Túneles con paramentos rugosos y con cavidades” con autores Gabriele Vigne, Jimmy Jönsson y Fernando Hacar de la Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo, Volumen 15 nº1 pp58-60, Julio 2015, en concreto de

la información de coeficiente de fricción del aire con las paredes del túnel para túneles sin revestir (tabla 6).

PRESIÓN EXTERIOR EN LAS BOCAS

Para establecer las presiones en bocas, se ha tomado como punto de partida las pérdidas de carga provocadas por la resistencia al viento exterior. La información de viento proporcionado por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía.

Se considera 5,5 m/s como velocidad para el cálculo de la presión para mantener el análisis del lado de la seguridad. En todo caso, se deben considerar condiciones atmosféricas que favorezcan el flujo del humo en sentido contrario al de circulación, de acuerdo al punto 4.3.2 de la Metodología de Análisis de Riesgo en Túneles de la R.C.E.

En consecuencia, al ser el tubo estudiado descendente en sentido Lleida y las condiciones meteorológicas cambiantes, se ha considerado el escenario en el que la presión en la boca de cota más baja (18 Pa) será mayor que en la boca de cota más alta (0 Pa).

Para el establecimiento de la presión, se toma el valor resultado de considerar 5,5 m/s y se introduce en Camatt. A continuación, se simula el escenario 4 definido en MARTE y de potencia 30 MW, valor de potencia que se corresponde al requerido en el RD 635/2006. Se observa la gráfica de opacidad para ver si se obtiene el flujo de humo comentado con anterioridad. En este caso se produce, por lo tanto se considera el valor de presión inicial.

- Boca de entrada (Pa): 0 Pa
- Boca de salida (Pa): 18 Pa

POSICIÓN DEL FUEGO

- Distancia desde la boca de entrada del túnel real (m): 308,00
- Distancia desde la boca de entrada del túnel virtual (m): 615,00

TIEMPO DE DETECCIÓN

Según lo comentado anteriormente, el tiempo de detección corresponde al tiempo en que la temperatura del aire del túnel llega a los 55 °C en la zona del incendio.

En la siguiente gráfica se muestra las curvas de temperaturas en la zona de incendio para el escenario 1 del túnel real utilizado.

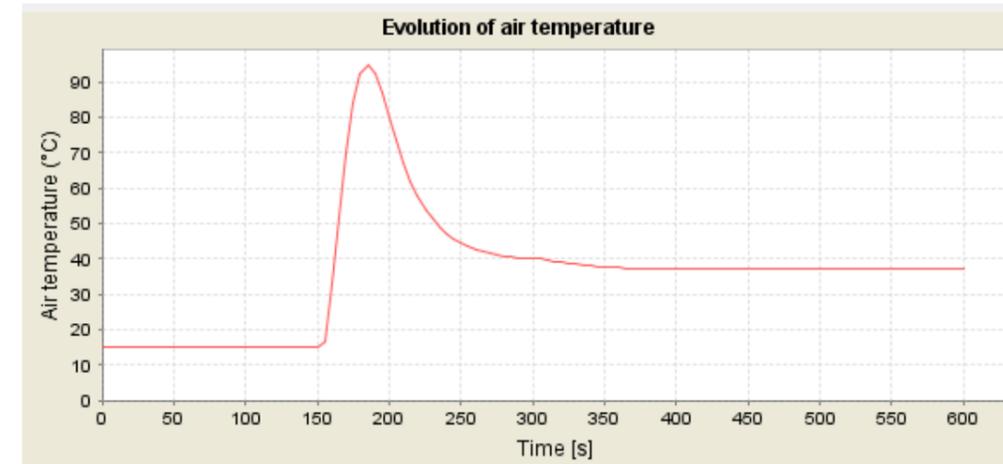


Ilustración 2.2.22. Ejemplo de gráfica de evolución de la temperatura del aire en la zona del incendio para el escenario 1 del túnel real.

Realizando gráficas para todos los escenarios se obtienen los siguientes tiempos de detección:

	Tiempo de detección (s)	
	Túnel real	Túnel virtual
Escenario 1	170	225
Escenario 2	160	215
Escenario 3	160	215
Escenario 4	160	215
Escenario 5	140	190

Tabla 2.2.40. Tiempos de detección

2.2.2.3. Modelo de comportamiento de usuarios

Se indican a continuación los datos de régimen de circulación libre y de congestión.

Régimen de circulación libre túnel	
Longitud túnel	830 m
Velocidad circulación	80 km/h
	22,22 m/s
IMD	11.165,3 Veh /día/carril
Intensidad	0,47 veh/s/carril
N (Número de vehículos presentes en túnel por carril)	17,376 veh/carril

Tabla 2.2.41. Régimen de circulación libre del túnel real

Régimen de circulación libre túnel	
Longitud túnel	830 m
Velocidad circulación ¹³	100 km/h
	27,78 m/s
IMD	9.579,7 Veh /día/carril
Intensidad	0,40 veh/s/carril
N (Número de vehículos presentes en túnel por carril)	11,927 veh/carril

Tabla 2.2.42. Régimen de circulación libre del túnel virtual

Congestión túnel	
Velocidad crecimiento	5,88 m/s (aguas arriba)
Distancia boca – fuego	308 m
Longitud a recorrer hasta la salida más próxima	308 m
Tiempo de remonte	52,34 s

Tabla 2.2.43. Congestión del túnel real

Congestión túnel	
Velocidad crecimiento	4,66 m/s (aguas arriba)
Distancia boca – fuego	615 m
Longitud a recorrer hasta la salida más próxima	400 m
Tiempo de remonte	131,94 s

Tabla 2.2.44. Congestión del túnel virtual

Sobre los gráficos de autoevacuación calculados se superponen las gráficas de evolución de la opacidad de los humos a lo largo del túnel en función del tiempo, obtenidos mediante el software de modelización unidimensional CAMATT.

Se consideran afectados todos aquellos usuarios pertenecientes a las trayectorias que coinciden con un nivel de opacidad de los humos superior o igual a $0,4 \text{ m}^{-1}$ (zona amarilla de la gráfica).

El tiempo de reacción de los restantes usuarios no implicados desde que llegan a la cola de vehículos o ven a un usuario de otro vehículo evacuando es de 7 segundos para el túnel real, que dispone de paneles de señalización variable en el interior y en el exterior, centro de control con CCTV y DAI (según se recoge en el Manual de Explotación, revisión 05 con fecha de agosto 2019). Por otro lado, el tiempo de reacción en el túnel virtual será de 10 segundos para el virtual, que dispone de megafonía, centro de control con CCTV y DAI.

Debido al equipamiento del túnel real y virtual, se produce el cierre del túnel a los 180 segundos, impidiendo la entrada de usuarios, al contar con semáforos, barreras, centro de control y DAI.

¹³ Se considera una velocidad de 100 km/h en el túnel virtual en base al apartado 2.14.3 del Anexo I del RD 635/2006.

Túnel real:

Se muestra la información más relevante para cada uno de los escenarios.

E1: Incendio de un vehículo ligero. 8 MW de potencia

E1: Incendio de un vehículo ligero. 8 MW de potencia				
Usuarios de los vehículos implicados en el accidente (n=0)				
	Tiempo	Espacio		n 0
T10	0.00	308.00 S10		
T20	90.00	308.00 S20		
T30	398.00	0.00 S30		
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=1)				
	Tiempo	Espacio		n 1
T11	1.70	298.00 S11		
T21	8.70	298.00 S21		
T31	306.70	0.00 S31		
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=2)				
	Tiempo	Espacio		n 2
T11	3.40	288.00 S11		
T21	10.40	288.00 S21		
T31	298.40	0.00 S31		
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=3)				
	Tiempo	Espacio		n 3
T11	5.10	278.00 S11		
T21	12.10	278.00 S21		
T31	290.10	0.00 S31		
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=4)				
	Tiempo	Espacio		n 4
T11	6.80	268.00 S11		
T21	13.80	268.00 S21		
T31	281.80	0.00 S31		
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=5)				
	Tiempo	Espacio		n 5
T11	8.50	258.00 S11		

T21	15.50	258.00 S21
T31	273.50	0.00 S31

¿Llega a entrar en el túnel? Sí

Situación: No atrapado

Tabla 2.2.45. E1: Incendio de un vehículo ligero. 8 MW de potencia

E1: Incendio de un vehículo ligero. 8 MW de potencia

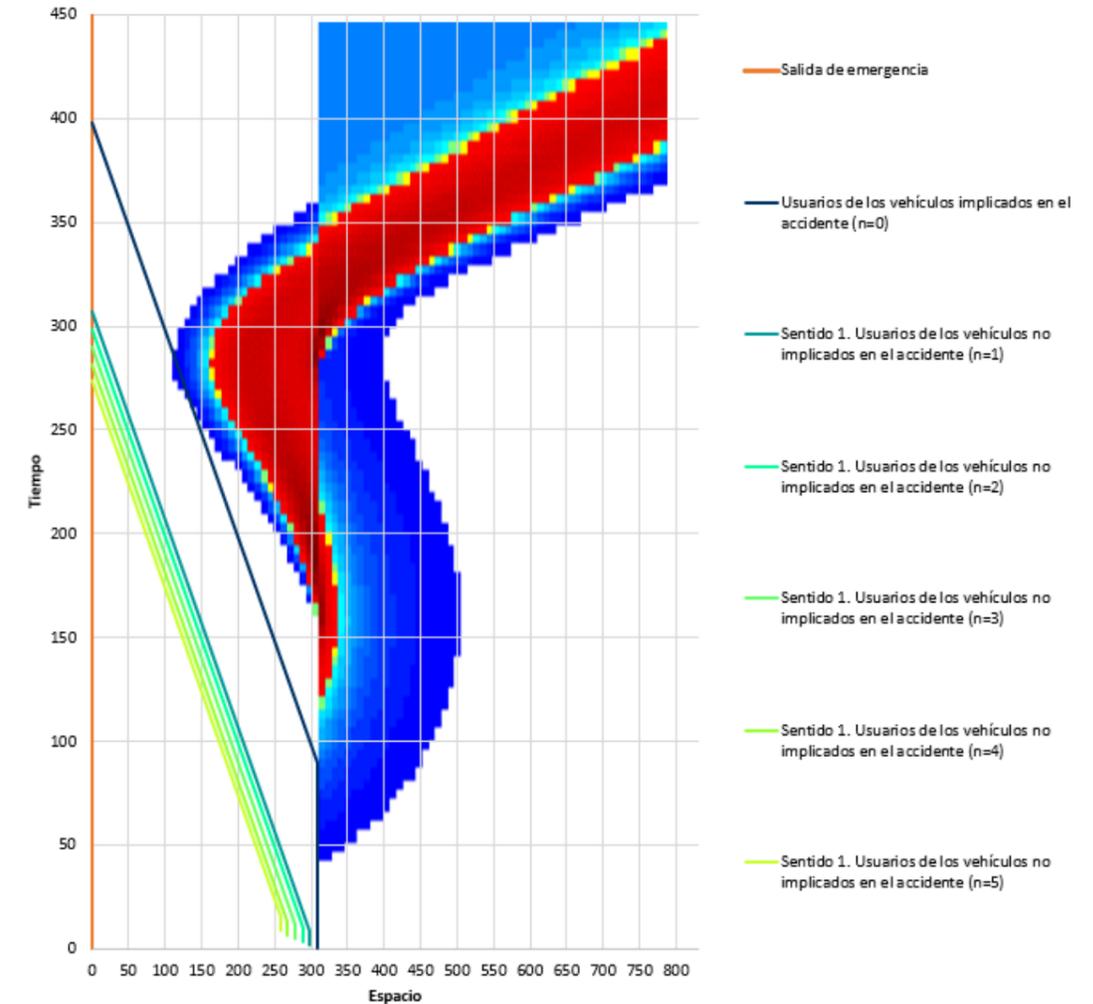
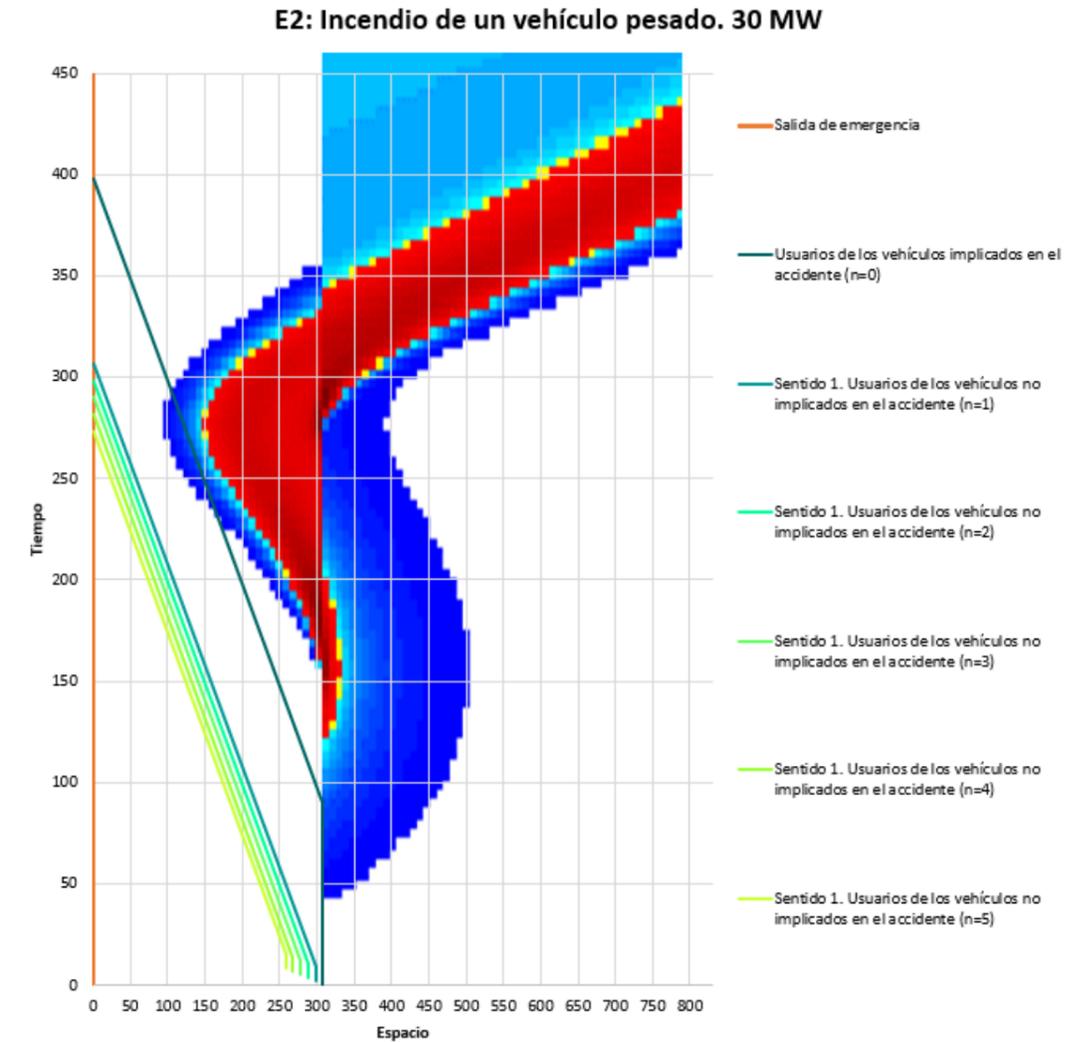


Ilustración 2.2.23. E1: Incendio de un vehículo ligero. 8 MW de potencia. Valores de opacidad (amarillo $k=0.4 \text{ m}^{-1}$)

La tabla anterior muestra los valores más representativos en el dominio de la longitud y el tiempo. La autoevacuación de todos los usuarios se produce de manera satisfactoria ya que la trayectoria de los mismos no se cruza con valores de opacidad de $0,4 \text{ m}^{-1}$ o mayores.

E2: Incendio de un vehículo pesado. 30 MW

E2: Incendio de un vehículo pesado. 30 MW			
Usuarios de los vehículos implicados en el accidente (n=0)			
	Tiempo	Espacio	n 0
T10	0.00	308.00 S10	
T20	90.00	308.00 S20	
T30	398.00	0.00 S30	
Situación: No atrapado			
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=1)			
	Tiempo	Espacio	n 1
T11	1.70	298.00 S11	
T21	8.70	298.00 S21	
T31	306.70	0.00 S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí			
Situación: No atrapado			
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=2)			
	Tiempo	Espacio	n 2
T11	3.40	288.00 S11	
T21	10.40	288.00 S21	
T31	298.40	0.00 S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí			
Situación: No atrapado			
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=3)			
	Tiempo	Espacio	n 3
T11	5.10	278.00 S11	
T21	12.10	278.00 S21	
T31	290.10	0.00 S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí			
Situación: No atrapado			
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=4)			
	Tiempo	Espacio	n 4
T11	6.80	268.00 S11	
T21	13.80	268.00 S21	
T31	281.80	0.00 S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí			
Situación: No atrapado			
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=5)			
	Tiempo	Espacio	n 5
T11	8.50	258.00 S11	
T21	15.50	258.00 S21	
T31	273.50	0.00 S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí			
Situación: No atrapado			

Tabla 2.2.46. E2: Incendio de un vehículo pesado. 30 MW

Ilustración 2.2.24. E2: Incendio de un vehículo pesado. 30 MW. Valores de opacidad (amarillo $k=0.4 \text{ m}^{-1}$)

La tabla anterior muestra los valores más representativos en el dominio de la longitud y el tiempo. La autoevacuación de todos los usuarios se produce de manera satisfactoria ya que la trayectoria de los mismos no se cruza con valores de opacidad de $0,4 \text{ m}^{-1}$ o mayores.

E3: Incendio de un vehículo ligero y un autocar. 15 MW

E3: Incendio de un vehículo ligero y un autocar. 15 MW				
Usuarios de los vehículos implicados en el accidente (n=0)				
	Tiempo	Espacio		Autobus 0
T10	0.00	308.00 S10		
T20	300.00	308.00 S20		
T30	608.00	0.00 S30		
Situación: Atrapado				
	Tiempo	Espacio		Ligero 0
T10	0.00	308.00 S10		
T20	90.00	308.00 S20		
T30	398.00	0.00 S30		
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=1)				
	Tiempo	Espacio		n 1
T11	1.70	298.00 S11		
T21	8.70	298.00 S21		
T31	306.70	0.00 S31		
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=2)				
	Tiempo	Espacio		n 2
T11	3.40	288.00 S11		
T21	10.40	288.00 S21		
T31	298.40	0.00 S31		
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=3)				
	Tiempo	Espacio		n 3
T11	5.10	278.00 S11		
T21	12.10	278.00 S21		
T31	290.10	0.00 S31		
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=4)				
	Tiempo	Espacio		n 4
T11	6.80	268.00 S11		
T21	13.80	268.00 S21		
T31	281.80	0.00 S31		
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=5)				

	Tiempo	Espacio	n 5
T11	8.50	258.00 S11	
T21	15.50	258.00 S21	
T31	273.50	0.00 S31	

¿Llega a entrar en el túnel? **Sí**
 Situación: **No atrapado**

Tabla 2.2.47. E3: Incendio de un vehículo ligero y un autocar. 15 MW

E3: Incendio de un vehículo ligero y un autocar. 15 MW

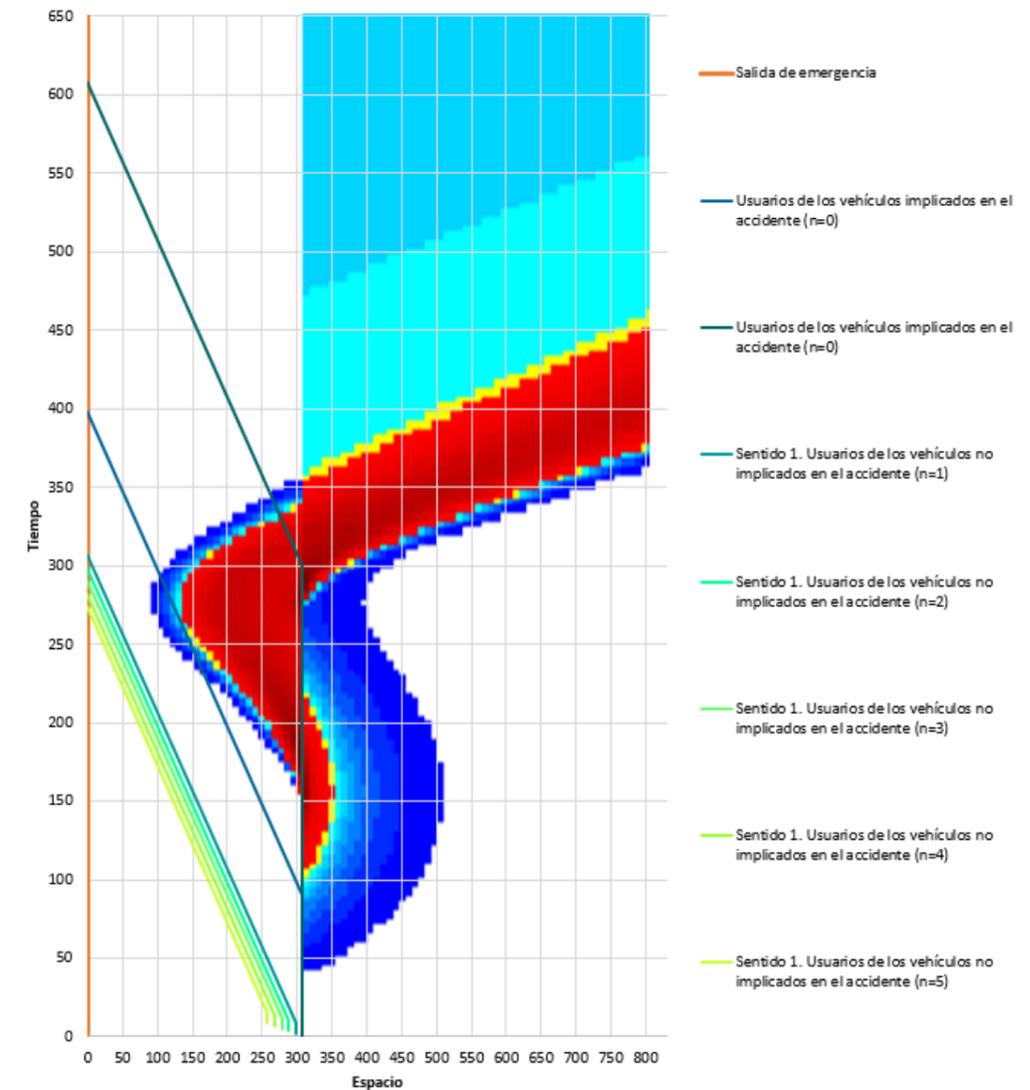


Ilustración 2.2.25. E3: Incendio de un vehículo ligero y un autocar. 15 MW. Valores de opacidad (amarillo k=0.4 m⁻¹)

La tabla anterior muestra los valores más representativos en el dominio de la longitud y el tiempo. La autoevacuación de todos los usuarios implicados del autocar se produce de manera no satisfactoria ya que la trayectoria de los mismos se cruza con valores de opacidad de 0,4 m⁻¹ o mayores. Por otro lado, la evacuación de los usuarios no implicados se produce manera satisfactoria.

E4: Incendio de un vehículo pesado y un autocar. 30 MW

E4: Incendio de un vehículo pesado y un autocar. 30 MW				
Usuarios de los vehículos implicados en el accidente (n=0)				
	Tiempo	Espacio		Autobús 0
T10	0.00	308.00 S10		
T20	300.00	308.00 S20		
T30	608.00	0.00 S30		
Situación: Atrapado				
	Tiempo	Espacio		Vehículo pesado 0
T10	0.00	308.00 S10		
T20	90.00	308.00 S20		
T30	398.00	0.00 S30		
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=1)				
	Tiempo	Espacio		n 1
T11	1.70	298.00 S11		
T21	8.70	298.00 S21		
T31	306.70	0.00 S31		
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=2)				
	Tiempo	Espacio		n 2
T11	3.40	288.00 S11		
T21	10.40	288.00 S21		
T31	298.40	0.00 S31		
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=3)				
	Tiempo	Espacio		n 3
T11	5.10	278.00 S11		
T21	12.10	278.00 S21		
T31	290.10	0.00 S31		
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=4)				
	Tiempo	Espacio		n 4
T11	6.80	268.00 S11		
T21	13.80	268.00 S21		
T31	281.80	0.00 S31		
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=5)				

	Tiempo	Espacio		n 5
T11	8.50	258.00 S11		
T21	15.50	258.00 S21		
T31	273.50	0.00 S31		

¿Llega a entrar en el túnel? **Sí**
Situación: **No atrapado**

Tabla 2.2.48. E4: Incendio de un vehículo pesado y un autocar. 30 MW

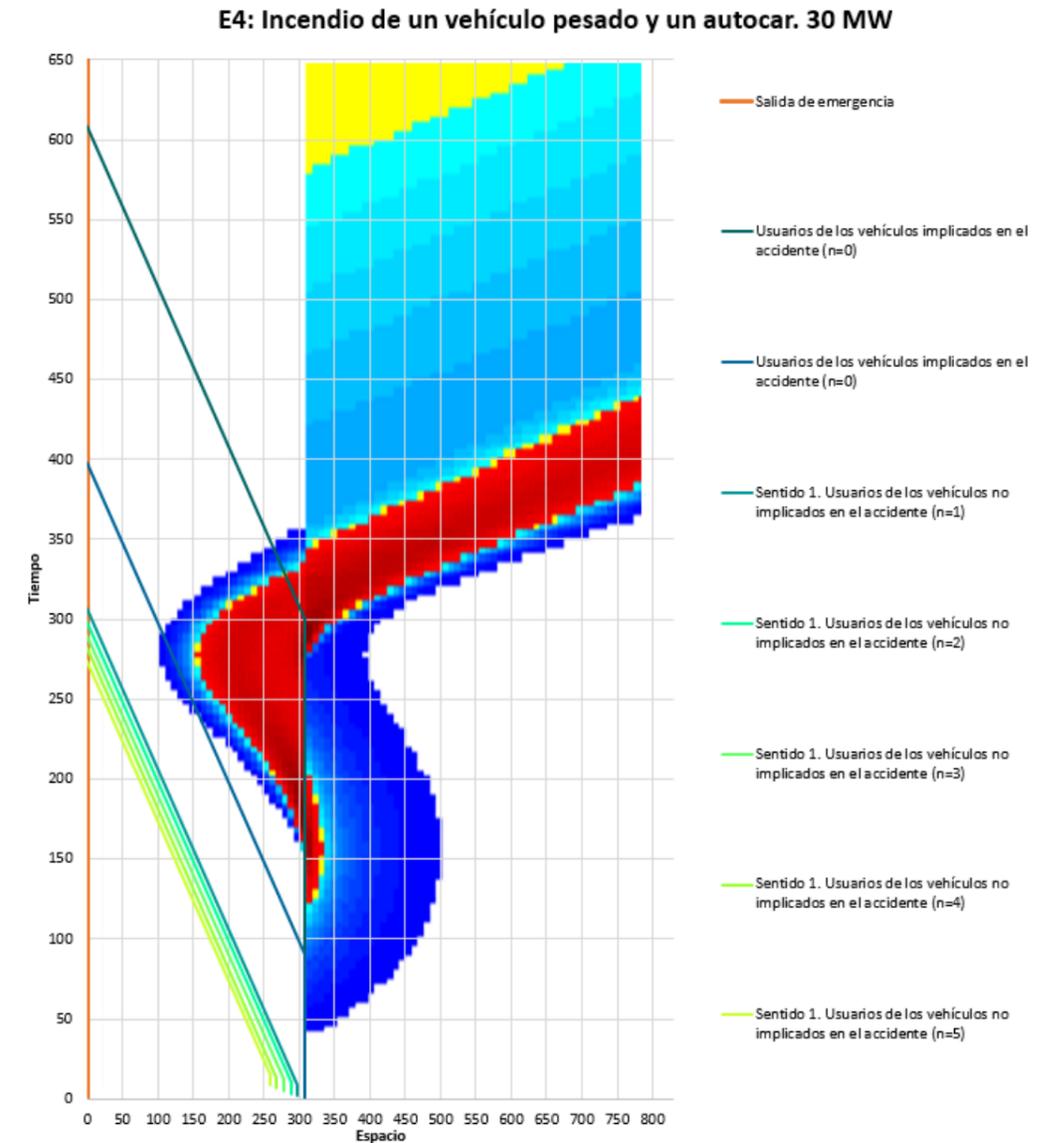


Ilustración 2.2.26. E4: Incendio de un vehículo pesado y un autocar. 30 MW

La tabla anterior muestra los valores más representativos en el dominio de la longitud y el tiempo. La autoevacuación de los usuarios del autobús implicado se produce de manera no satisfactoria ya que la trayectoria de los mismos se cruza con valores de opacidad de 0,4 m⁻¹ o mayores. Por otro lado, la evacuación del resto de usuarios se produce manera satisfactoria.

E5: Incendio de un vehículo de pesado. 100 MW

E5: Incendio de un vehículo pesado. 100 MW				
Usuarios de los vehículos implicados en el accidente (n=0)				
	Tiempo	Espacio		n 0
T10	0.00	308.00 S10		
T20	90.00	308.00 S20		
T30	398.00	0.00 S30		
Situación: Atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=1)				
	Tiempo	Espacio		n 1
T11	1.70	298.00 S11		
T21	8.70	298.00 S21		
T31	306.70	0.00 S31		
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=2)				
	Tiempo	Espacio		n 2
T11	3.40	288.00 S11		
T21	10.40	288.00 S21		
T31	298.40	0.00 S31		
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=3)				
	Tiempo	Espacio		n 3
T11	5.10	278.00 S11		
T21	12.10	278.00 S21		
T31	290.10	0.00 S31		
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=4)				
	Tiempo	Espacio		n 4
T11	6.80	268.00 S11		
T21	13.80	268.00 S21		
T31	281.80	0.00 S31		
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=5)				
	Tiempo	Espacio		n 5
T11	8.50	258.00 S11		
T21	15.50	258.00 S21		
T31	273.50	0.00 S31		
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				

Tabla 2.2.49. E5: Incendio de un vehículo de pesado.100 MW

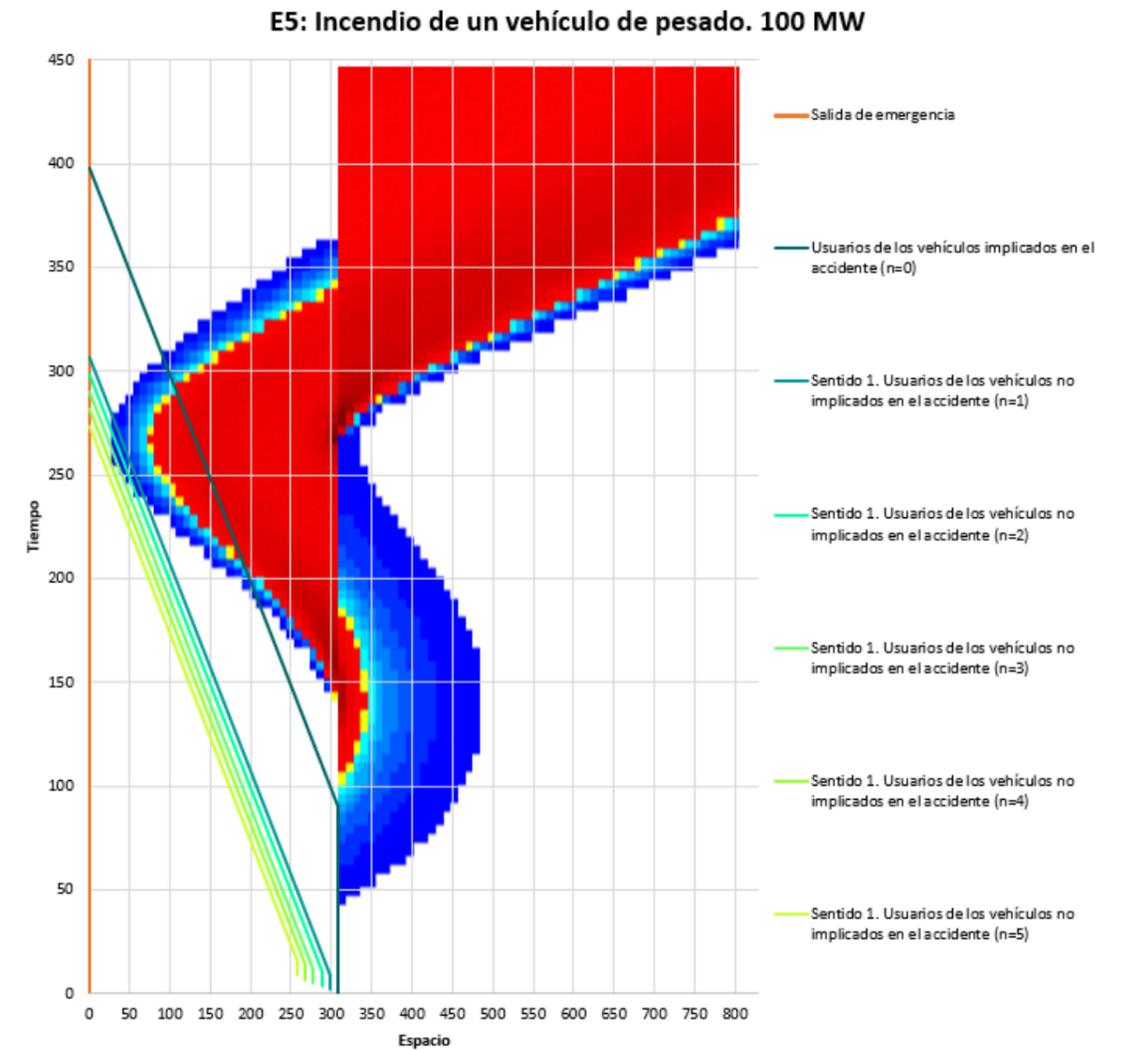


Ilustración 2.2.27 E5: Incendio de un vehículo de pesado. 100 MW

La tabla anterior muestra los valores más representativos en el dominio de la longitud y el tiempo. La autoevacuación de los usuarios implicados se produce de manera no satisfactoria ya que la trayectoria de los mismos se cruza con valores de opacidad de 0,4 m⁻¹ o mayores. Por otro lado, la evacuación de los usuarios no implicados se produce manera satisfactoria.

A partir del análisis de los datos anteriores se procede a contabilizar las personas que se verían atrapadas en el interior del túnel, y que son aquellas que no pueden efectuar la auto-evacuación de forma satisfactoria siendo por tanto víctimas mortales del accidente.

En este caso, al haberse empleado el modelo de ventilación unidimensional, se considera que una persona queda atrapada en el túnel, siendo por tanto víctima del incendio correspondiente, cuando su trayectoria de huida se cruza con la franja de color amarilla de opacidad, correspondiente al valor de 0,4.

Así, el número de personas que podrían verse afectadas en cada uno de los escenarios analizados es el siguiente:

Escenarios	Por carril	Tubo	Accidente			Total	
	Congestión	Personas	Ligero	Pesado	Autocar	Personas	Personas
E1	0	0,00	0			0,00	0,00
E2	0	0,00		0		0,00	0,00
E3	0	0,00	0		1	30,00	30,00
E4	0	0,00		0	1	30,00	30,00
E5	0	0,00		1		1,00	1,00

Tabla 2.2.50. Recuento de personas afectadas para cada escenario

Aplicando a los valores obtenidos los modificadores por equipamiento y el factor corrector por IMD y vehículos pesados, la estimación de personas atrapadas y probabilidad de ocurrencia de cada uno de los escenarios se reflejan en las dos últimas columnas de la siguiente tabla:

Escenarios	FIMD	Drenaje	Puestos	Personas	Probabilidad
E1	3,17	1,00	0,90	0,00	0,00
E2	1,33	1,00	1,00	0,00	0,00
E3	0,10	1,00	0,95	28,50	2,82
E4	0,07	1,00	1,00	30,00	1,96
E5	0,28	1,00	1,00	1,00	0,28

Tabla 2.2.51. Probabilidad de ocurrencia de atrapamiento para cada escenario

El coeficiente de riesgo para el túnel real es:

CRTR	5,5598
-------------	---------------

Túnel virtual:

Se muestra la información más relevante para cada uno de los escenarios.

E1: Incendio de un vehículo ligero. 8 MW de potencia

E1: Incendio de un vehículo ligero. 8 MW de potencia			
Usuarios de los vehículos implicados en el accidente (n=0)			
	Tiempo	Espacio	n 0
T10	0.00	615.00 S10	
T20	90.00	615.00 S20	
T30	490.00	215.00 S30	
Situación: No atrapado			
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=1)			
	Tiempo	Espacio	n 1
T11	2.15	605.00 S11	
T21	12.15	605.00 S21	
T31	402.15	215.00 S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí			
Situación: No atrapado			
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=2)			
	Tiempo	Espacio	n 2
T11	4.29	595.00 S11	
T21	14.29	595.00 S21	
T31	394.29	215.00 S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí			
Situación: No atrapado			
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=3)			
	Tiempo	Espacio	n 3
T11	6.44	585.00 S11	
T21	16.44	585.00 S21	
T31	386.44	215.00 S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí			
Situación: No atrapado			
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=4)			
	Tiempo	Espacio	n 4
T11	8.58	575.00 S11	
T21	18.58	575.00 S21	
T31	378.58	215.00 S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí			
Situación: No atrapado			
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=5)			
	Tiempo	Espacio	n 5
T11	10.73	565.00 S11	

T21	20.73	565.00	S21
T31	370.73	215.00	S31

¿Llega a entrar en el túnel? Sí
Situación: No atrapado

Tabla 2.2.52. E1: Incendio de un vehículo ligero. 8 MW de potencia

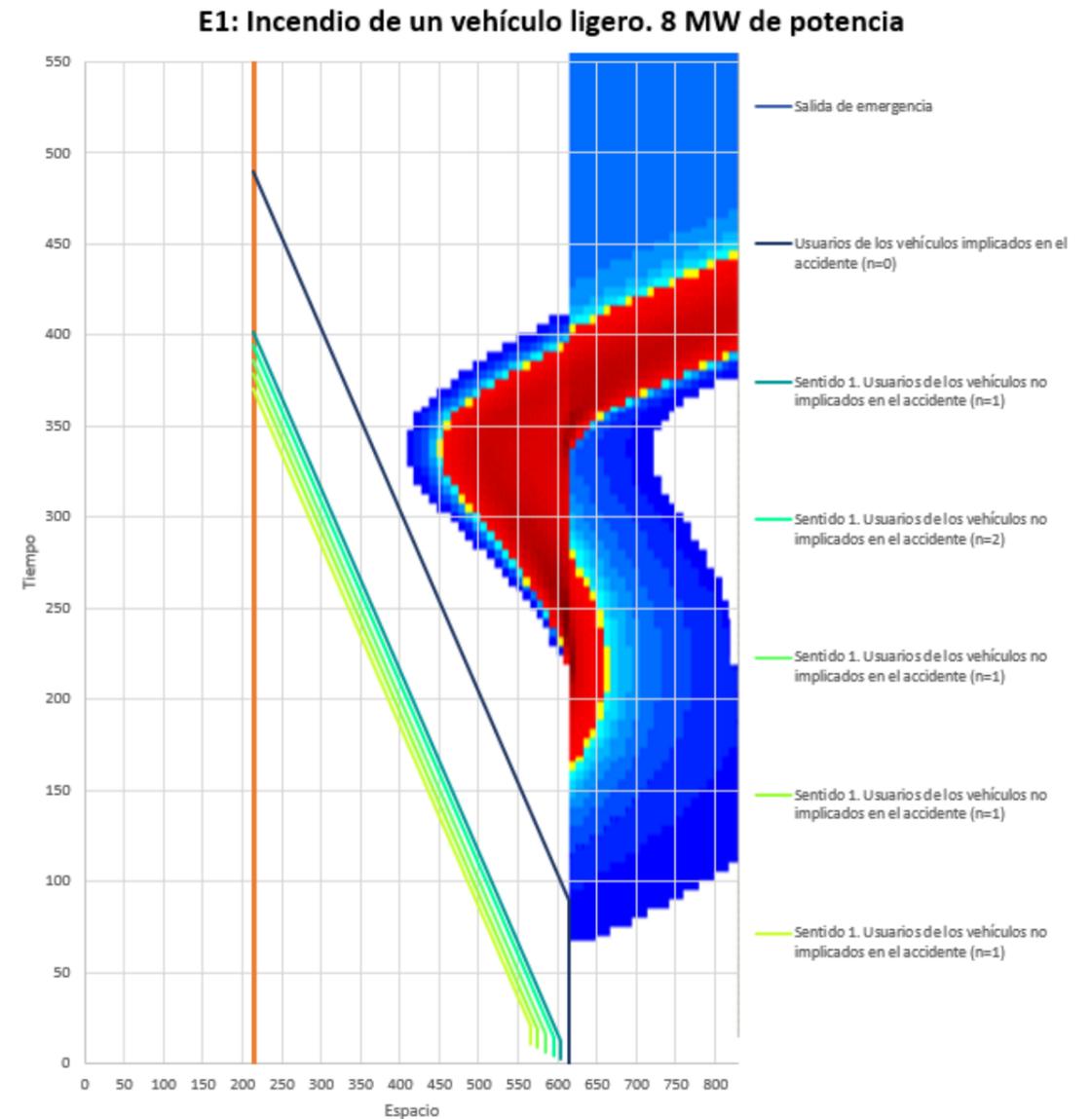


Ilustración 2.2.28. E1: Incendio de un vehículo ligero. 8 MW de potencia. Valores de opacidad (amarillo $k=0.4 \text{ m}^{-1}$)

La tabla anterior muestra los valores más representativos en el dominio de la longitud y el tiempo. La autoevacuación de todos los usuarios se produce de manera satisfactoria ya que la trayectoria de los mismos no se cruza con valores de opacidad de $0,4 \text{ m}^{-1}$ o mayores.

E2: Incendio de un vehículo pesado. 30 MW

E2: Incendio de un vehículo pesado. 30 MW			
Usuarios de los vehículos implicados en el accidente (n=0)			
	Tiempo	Espacio	n 0
T10	0.00	615.00 S10	
T20	90.00	615.00 S20	
T30	490.00	215.00 S30	
Situación: No atrapado			
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=1)			
	Tiempo	Espacio	n 1
T11	2.15	605.00 S11	
T21	12.15	605.00 S21	
T31	402.15	215.00 S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí			
Situación: No atrapado			
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=2)			
	Tiempo	Espacio	n 2
T11	4.29	595.00 S11	
T21	14.29	595.00 S21	
T31	394.29	215.00 S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí			
Situación: No atrapado			
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=3)			
	Tiempo	Espacio	n 3
T11	6.44	585.00 S11	
T21	16.44	585.00 S21	
T31	386.44	215.00 S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí			
Situación: No atrapado			
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=4)			
	Tiempo	Espacio	n 4
T11	8.58	575.00 S11	
T21	18.58	575.00 S21	
T31	378.58	215.00 S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí			
Situación: No atrapado			
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=5)			
	Tiempo	Espacio	n 5
T11	10.73	565.00 S11	
T21	20.73	565.00 S21	
T31	370.73	215.00 S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí			
Situación: No atrapado			

Tabla 2.2.53. E2: Incendio de un vehículo pesado. 30 MW

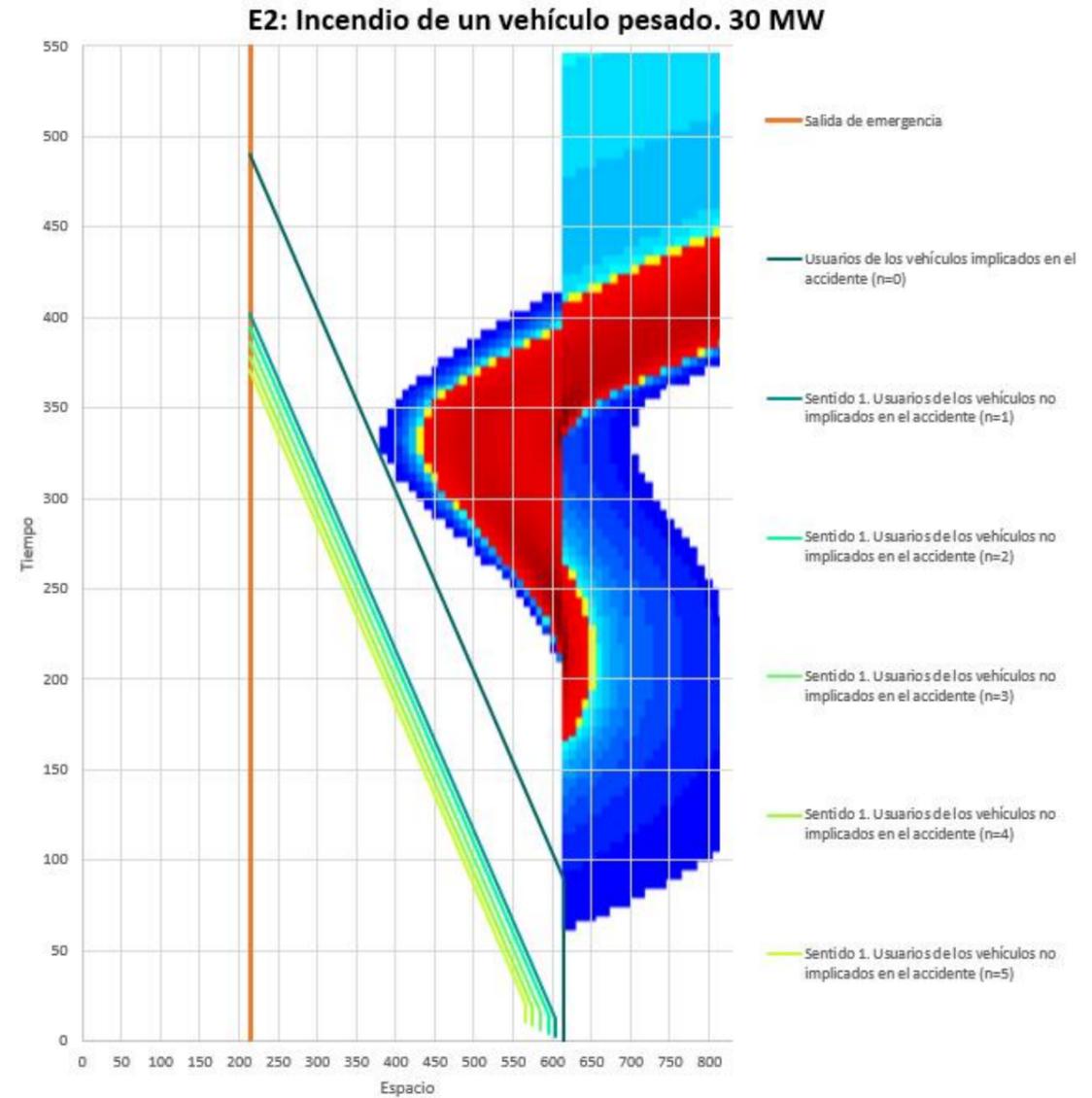


Ilustración 2.2.29. E2: Incendio de un vehículo pesado. 30 MW. Valores de opacidad (amarillo $k=0.4 \text{ m}^{-1}$)

La tabla anterior muestra los valores más representativos en el dominio de la longitud y el tiempo. La autoevacuación de todos los usuarios se produce de manera satisfactoria ya que la trayectoria de los mismos no se cruza con valores de opacidad de $0,4 \text{ m}^{-1}$ o mayores.

E3: Incendio de un vehículo ligero y un autocar. 15 MW

E3: Incendio de un vehículo ligero y un autocar. 15 MW				
Usuarios de los vehículos implicados en el accidente (n=0)				
	Tiempo	Espacio		Autobus 0
T10	0.00	615.00	S10	
T20	300.00	615.00	S20	
T30	700.00	215.00	S30	
Situación: Atrapado				
	Tiempo	Espacio		Ligero 0
T10	0.00	615.00	S10	
T20	90.00	615.00	S20	
T30	490.00	215.00	S30	
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=1)				
	Tiempo	Espacio		n 1
T11	2.15	605.00	S11	
T21	12.15	605.00	S21	
T31	402.15	215.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=2)				
	Tiempo	Espacio		n 2
T11	4.29	595.00	S11	
T21	14.29	595.00	S21	
T31	394.29	215.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=3)				
	Tiempo	Espacio		n 3
T11	6.44	585.00	S11	
T21	16.44	585.00	S21	
T31	386.44	215.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=4)				
	Tiempo	Espacio		n 4
T11	8.58	575.00	S11	
T21	18.58	575.00	S21	
T31	378.58	215.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=5)				

	Tiempo	Espacio		n 5
T11	10.73	565.00	S11	
T21	20.73	565.00	S21	
T31	370.73	215.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				

Tabla 2.2.54. E3: Incendio de un vehículo ligero y un autocar. 15 MW

E3: Incendio de un vehículo ligero y un autocar. 15 MW

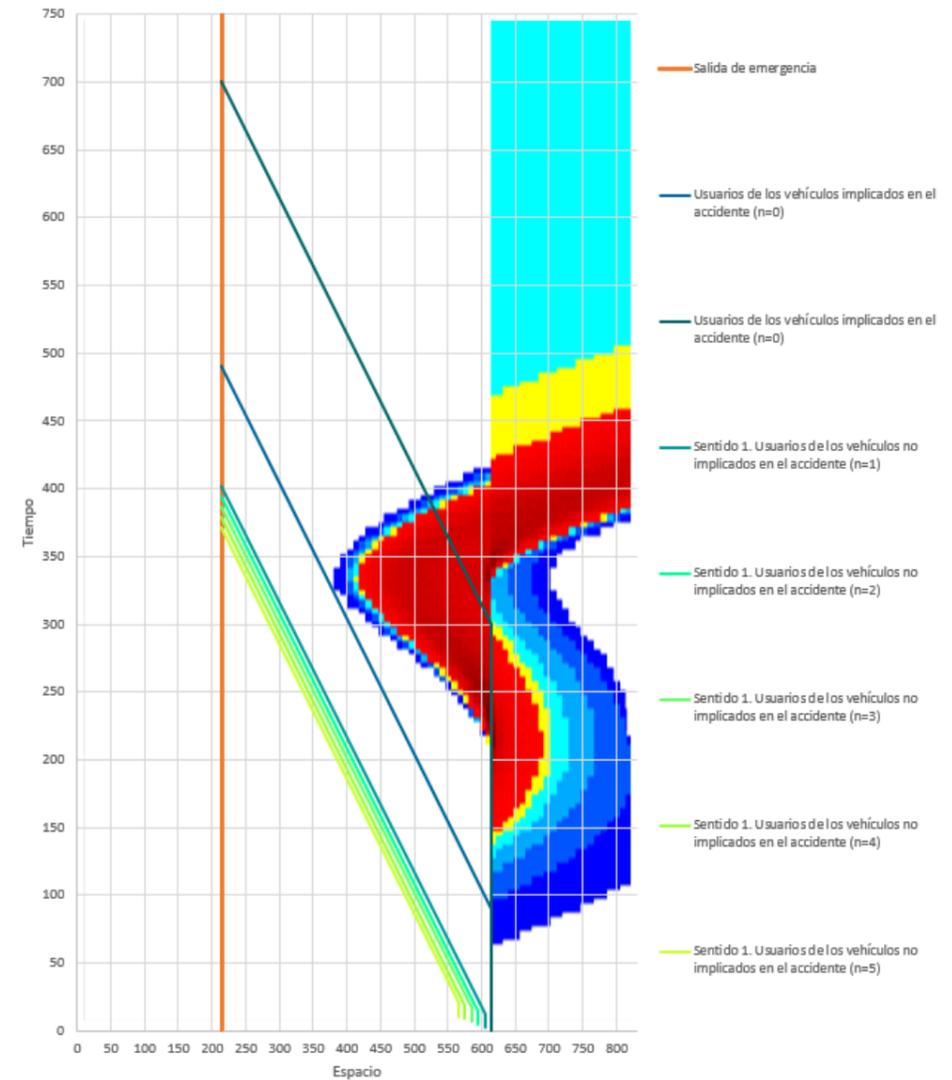


Ilustración 2.2.30. E3: Incendio de un vehículo ligero y un autocar. 15 MW. Valores de opacidad (amarillo k=0.4 m⁻¹)

La tabla anterior muestra los valores más representativos en el dominio de la longitud y el tiempo. La autoevacuación de los usuarios del autobús implicado se produce de manera no satisfactoria ya que la trayectoria de los mismos se cruza con valores de opacidad de 0,4 m⁻¹ o mayores. Por otro lado, la evacuación del resto de usuarios se produce manera satisfactoria.

E4: Incendio de un vehículo pesado y un autocar. 30 MW

E4: Incendio de un vehículo pesado y un autocar. 30 MW				
Usuarios de los vehículos implicados en el accidente (n=0)				
	Tiempo	Espacio		Autobús 0
T10	0.00	615.00	S10	
T20	300.00	615.00	S20	
T30	700.00	215.00	S30	
Situación: Atrapado				
	Tiempo	Espacio		Vehículo pesado 0
T10	0.00	615.00	S10	
T20	90.00	615.00	S20	
T30	490.00	215.00	S30	
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=1)				
	Tiempo	Espacio		n 1
T11	2.15	605.00	S11	
T21	12.15	605.00	S21	
T31	402.15	215.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=2)				
	Tiempo	Espacio		n 2
T11	4.29	595.00	S11	
T21	14.29	595.00	S21	
T31	394.29	215.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=3)				
	Tiempo	Espacio		n 3
T11	6.44	585.00	S11	
T21	16.44	585.00	S21	
T31	386.44	215.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=4)				
	Tiempo	Espacio		n 4
T11	8.58	575.00	S11	
T21	18.58	575.00	S21	
T31	378.58	215.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=5)				

	Tiempo	Espacio		n 5
T11	10.73	565.00	S11	
T21	20.73	565.00	S21	
T31	370.73	215.00	S31	

¿Llega a entrar en el túnel? Sí
Situación: No atrapado

Tabla 2.2.55. E4: Incendio de un vehículo pesado y un autocar. 30 MW

E4: Incendio de un vehículo pesado y un autocar. 30 MW

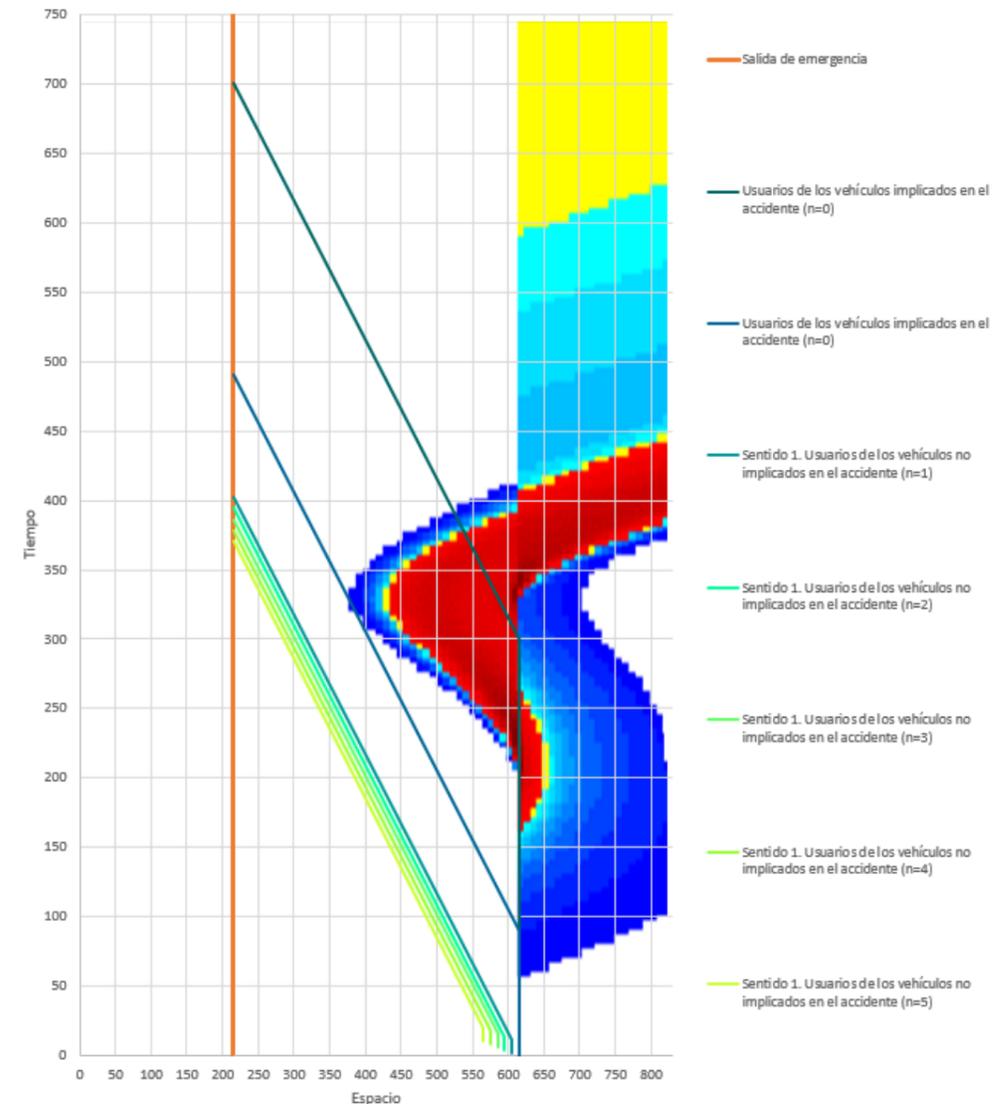


Ilustración 2.2.31. E4: Incendio de un vehículo pesado y un autocar. 30 MW

La tabla anterior muestra los valores más representativos en el dominio de la longitud y el tiempo. La autoevacuación de los usuarios del autobús implicado se produce de manera no satisfactoria ya que la trayectoria de los mismos se cruza con valores de opacidad de 0,4 m⁻¹ o mayores. Por otro lado, la evacuación del resto de usuarios se produce manera satisfactoria.

E5: Incendio de un vehículo de pesado. 100 MW

E5: Incendio de un vehículo pesado. 100 MW			
Usuarios de los vehículos implicados en el accidente (n=0)			
	Tiempo	Espacio	n 0
T10	0.00	615.00 S10	
T20	90.00	615.00 S20	
T30	490.00	215.00 S30	
Situación: Atrapado			
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=1)			
	Tiempo	Espacio	n 1
T11	2.15	605.00 S11	
T21	12.15	605.00 S21	
T31	402.15	215.00 S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí			
Situación: No atrapado			
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=2)			
	Tiempo	Espacio	n 2
T11	4.29	595.00 S11	
T21	14.29	595.00 S21	
T31	394.29	215.00 S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí			
Situación: No atrapado			
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=3)			
	Tiempo	Espacio	n 3
T11	6.44	585.00 S11	
T21	16.44	585.00 S21	
T31	386.44	215.00 S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí			
Situación: No atrapado			
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=4)			
	Tiempo	Espacio	n 4
T11	8.58	575.00 S11	
T21	18.58	575.00 S21	
T31	378.58	215.00 S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí			
Situación: No atrapado			
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=5)			
	Tiempo	Espacio	n 5
T11	10.73	565.00 S11	
T21	20.73	565.00 S21	
T31	370.73	215.00 S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí			
Situación: No atrapado			

Tabla 2.2.56. E5: Incendio de un vehículo de pesado.100 MW

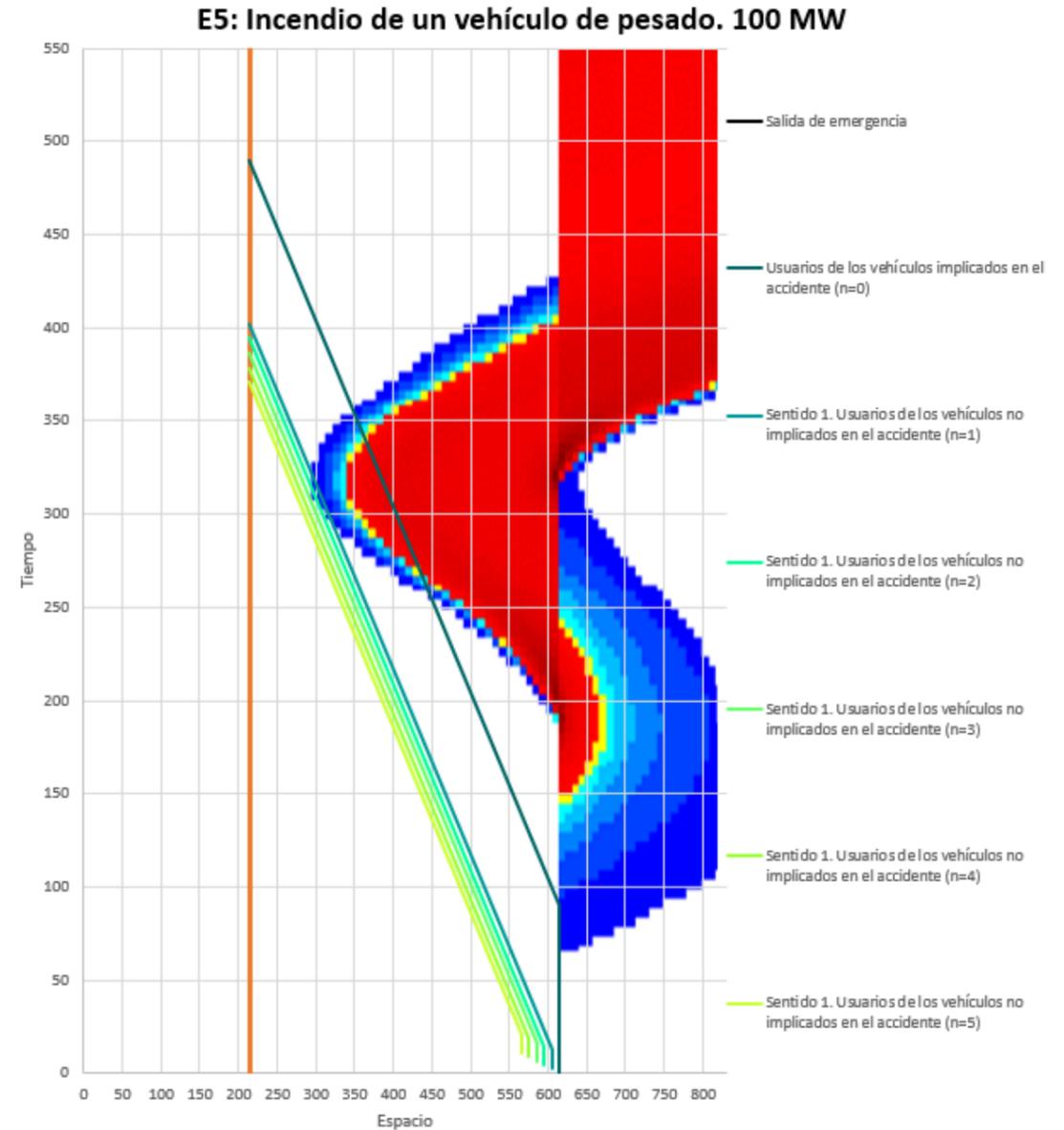


Ilustración 2.2.32 E5: Incendio de un vehículo de pesado. 100 MW

La tabla anterior muestra los valores más representativos en el dominio de la longitud y el tiempo. La autoevacuación de todos los usuarios se produce de manera satisfactoria ya que la trayectoria de los mismos no se cruza con valores de opacidad de 0,4 m⁻¹ o mayores.

En base al análisis de los escenarios, el número de vehículos y personas que se consideran atrapadas es el indicado en la tabla siguiente:

Escenario	Por carril	Accidente				Total	
	Congestión	Total	Ligero	Pesado	Autocar	Personas	Personas
E1	0	0,00	0			0,00	0,00
E2	0	0,00		0		0,00	0,00
E3	0	0,00	0		1	30,00	30,00
E4	0	0,00		0	1	30,00	30,00
E5	0	0,00		1		1,00	1,00

Tabla 2.2.57. Recuento de personas afectadas para cada escenario

Aplicando a los valores obtenidos los modificadores por equipamiento y el factor corrector por IMD y vehículos pesados, la estimación de personas atrapadas y probabilidad de ocurrencia de cada uno de los escenarios se reflejan en las dos últimas columnas de la siguiente tabla:

Escenarios	FIMD	Drenaje	Puestos	Personas	Probabilidad
E1	2,75	1,00	0,90	0,00	0,00
E2	1,15	1,00	1,00	0,00	0,00
E3	0,09	1,00	0,95	28,50	2,44
E4	0,06	1,00	1,00	30,00	1,70
E5	0,24	1,00	1,00	1,00	0,24

Tabla 2.2.58. Probabilidad de ocurrencia de atrapamiento para cada escenario

CRTV	4,2765
------	--------

$$IR = \frac{5,5598}{4,2765} = 1,3001$$

El túnel se considera como **túnel con posibles restricciones** según los criterios de aceptación de la MARTE.

Si se considera la instalación de un radar, y modificando la tabla de factores correctores del apartado 2.2.2.1 se consideraría como **túnel con posibles restricciones** dentro de los criterios de aceptabilidad de la MARTE, quedando el índice de riesgo:

$$IR = \frac{5,1150}{4,2765} = 1,1961$$

2.3. CONCLUSIONES

Se realiza el análisis de riesgo de los diferentes casos de los túneles del Bruc por el Método General, teniendo en cuenta las hipótesis planteadas y el equipamiento considerado que se ha descrito con anterioridad.

Equipamiento	TUBO B-40100	TUBO B-40200
Aceras	-	Sí
Salidas de emergencia	Sí	Sí
Conexiones transversales para acceso de los servicios de emergencia ¹⁴	-	-
Cruce de la mediana fuera de cada boca	Sí	Sí
Apartaderos en las condiciones fijadas en el apdo. 2.7 RD 635/2006	-	-
Drenaje de líquidos tóxicos ¹⁵	-	-
Centro de control	Sí	Sí
Circuito cerrado de televisión	Sí	Sí
Sistema informático de extracción de humos, automático y manual	Sí	Sí
Iluminación normal	Sí	Sí
Iluminación de seguridad	Sí	Sí
Iluminación de emergencia	Sí	Sí
Ventilación	Sí	Sí
Doble suministro eléctrico	Sí	Sí
Sistema de alimentación ininterrumpida (SAI)	Sí	Sí
Detectores de CO	Sí	Sí
Opacímetros	Sí	Sí
Cable para detección de incendios	Sí	Sí
Detección automática de incidentes (DAI)	Sí	Sí
Puestos de emergencia	Sí	Sí
Señalización de salidas y equipamientos de emergencia	Sí	Sí
Señalización según Norma 8.1 y 8.2 IC	Sí	Sí
Paneles de señalización variable exteriores e interiores	Sí	Sí
Barreras exteriores	Sí	Sí
Semáforos exteriores	Sí	Sí
Semáforos interiores (si el tubo mide igual o más de 3.000 m)	-	-
Megafonía	Sí	Sí
Red de hidrantes	Sí	Sí
Aforadores	Sí	Sí
Sistema de radiocomunicación para servicios de emergencia	Sí	Sí
Mensajería de emergencia por canales de radio para usuarios (cuando existan)	Sí	Sí

¹⁴ No es exigido si se considera el apartado 2.6.1 del Anexo I del RD 635/2006. El túnel tiene longitud inferior a 1200 m y los tubos se encuentra a distinta cota.

¹⁵ No se permite el paso de mercancías peligrosas (apartado 2.8 Anexo I del RD 635/2006)

Equipamiento	TUBO B-40100	TUBO B-40200
Generador de emergencia	Sí	Sí
Señal de prohibición de adelantamiento	Sí	Sí
Revestimiento	Sí	-
Secciones de auscultación ¹⁶	-	Sí

Tabla 2.3.1. Equipamiento considerado en el análisis de riesgo.

En la tabla a continuación se incluyen los resultados obtenidos indicando el criterio de aceptación MARTE:

Tubo	Tráfico	IR	Criterio de aceptación	IR con inclusión de radar ¹⁷	Criterio de aceptación
B-40100	2055	1,5594	Peligrosidad Elevada	1,4346	Con posibles restricciones
B-40200	2055	1,3001	Con posibles restricciones	1,1961	Con posibles restricciones

Tabla 2.3.2. Resultados obtenidos en el análisis de riesgo

No obstante, la presencia de este equipamiento no excluye la adopción de otras medidas y/o equipamiento de seguridad adicional, y para el cual se requiere un nuevo análisis de riesgo.

Es necesario remarcar en primer lugar que, un análisis de riesgo constituye una herramienta que, en la medida de lo posible, intenta objetivar un fenómeno con una alta componente subjetiva, para facilitar así la toma de decisiones.

Por último, los Análisis de Riesgos son métodos de predicción, que como todos ellos, no garantizan la seguridad al 100% de sus resultados, incluso cumpliéndose con todas las hipótesis contempladas, por lo que, según la metodología de análisis de riesgo de la Red de Carreteras del estado (R.C.E.), deberán ser aprobados por la Autoridad Administrativa, de forma conjunta o independiente del manual de explotación del túnel.

¹⁶ Solo será de aplicación en el tubo Bruc 2, al no disponer de revestimiento rígido.

¹⁷ Se modifica el factor de existencia de radar (FexRAD) en el túnel real dentro del modelo de riesgo, según los valores descritos en el apartado 4.1.2.3 de MARTE.

3. ANÁLISIS DE RIESGO DEL TÚNEL DE BRUC CON TRES TUBOS

En este apartado se desarrolla el Análisis de Riesgos del túnel de Bruc en la A-2 con objeto de identificar el nivel de riesgo de incendio en el túnel, comprobando si es aceptable, y determinando, en su caso, las medidas adicionales de mitigación. Su justificación se basa en los puntos 3, 4 y 5 de los casos contemplados para realizar un análisis de riesgo, esto es, características especiales con relación a los parámetros de seguridad, desviación respecto a los requisitos mínimos y pendientes superiores al 3%.

El análisis se realiza teniendo presente las prescripciones contempladas en el Anexo I del R.D. 635/2006, de 26 de mayo, sobre requisitos mínimos de seguridad en los túneles de carreteras del Estado.

El túnel que se analiza en este documento constará de tres tubos con tipo de circulación unidireccional, dos existentes que serán sentido Barcelona de 1.111 m y 830 m y un tercer tubo nuevo en sentido Lleida, de 725 m. Su clasificación según RD 635/2006 es túnel unidireccional interurbano de longitud mayor que 1.000 m.

Como es difícil predecir futuros acontecimientos, la única opción ante tal situación es desarrollar, del modo más realista posible, un modelo de los riesgos asociados al túnel.

Aunque existe un número ilimitado de posibilidades relacionadas con la aparición de sucesos peligrosos, los estudios se hacen sobre un cierto número de escenarios representativos, con el objetivo de que estén contemplados los escenarios con mayor importancia.

Los modelos usados tratan de reproducir un determinado aspecto del riesgo del túnel, para llegar finalmente a cuantificar el riesgo del túnel analizado. Estos modelos simplifican la realidad, que depende de condiciones previas e hipótesis, por lo que los resultados hay que analizarlos tomando en cuenta todas las hipótesis, así como las condiciones reales que pueden existir.

3.1. DATOS CARACTERÍSTICOS

Los datos mostrados a continuación han sido obtenidos del Manual de Explotación de los túneles del Bruc, revisión 05 con fecha de junio 2019. Los datos para el nuevo tubo se toman del Anteproyecto.

3.1.1. DATOS DE LOCALIZACIÓN

Medio Geográfico	Interurbano	Interurbano	Interurbano
Demarcación	Cataluña	Cataluña	Cataluña
Provincia	Barcelona	Barcelona	Barcelona
Nombre de la vía (carretera, vía, calle o similar)	A-2	A-2	A-2
Tipo de tramo	Autovía	Autovía	Autovía
Clave tubo	B-40100	B-40200	-
Nombre del tubo	Bruc 1	Bruc 2	Bruc 3

Tabla 3.1.1. Datos de localización



Ilustración 3.1.1. Fotografía aérea

3.1.2. DATOS PRINCIPALES

El túnel de Bruc es un túnel unidireccional de la carretera A-2, en ámbito interurbano.

Se toman las características del Manual de explotación, revisión 05 con fecha de junio 2019 y del Anteproyecto.

En este análisis se considera que los dos tubos existentes, Bruc 1 y Bruc 2, serán sentido Barcelona y contarán cada uno con dos carriles. El tubo sentido Lleida es un tubo de nueva construcción y, por tanto no existente.

Sentido	Barcelona		Lleida
	Unidireccional	Unidireccional	Unidireccional
Clave del tubo	B-40100	B-40200	-
Nombre del tubo	Bruc 1	Bruc 2	Bruc 3
Carriles por túnel	2	2	3
Longitud del túnel (m)	1.111	830	725
Ancho del túnel (m)	11	12,5	14,0
Pendiente máxima (%)	+2,5%	+4,30%	-3%
Tipo de pavimento de la calzada	Bituminoso	Bituminoso	Bituminoso
Tipo de revestimiento en el tubo	Hormigón	Sin revestimiento rígido y con instrumentación ¹⁸	Hormigón

Tabla 3.1.2 Datos principales

¹⁸ Se tiene en cuenta la instalación de secciones de auscultación permanente de conformidad con el apartado 2.3.2 del Anexo I del RD 635/2006.

3.1.3. CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS

Sentido	Sentido Barcelona		Sentido Lleida
	Bruc 1	Bruc 2	Bruc 3
Existencia de Arcén continuo	Sí	Sí	Sí
Ancho de carriles (m)	3,5 / 3,5	3,5 / 3,5	3,5 / 3,5 / 3,5
Ancho de arcén dcho (m)	2,5	2,5	1,0
Ancho de arcén izq (m)	0,50	1,0	1,0
Ancho de acera dcha (m)	0,50	1,0	0,75
Ancho de acera izq (m)	0,50	1,0	0,75
Altura máxima del tubo (m)	8,00	8,00	8,70

Tabla 3.1.3 Características geométricas

3.1.4. CARACTERÍSTICAS DE TRÁFICO

Los datos de tráfico¹⁹ son los proporcionados por la dirección de proyecto relativos a la prognosis a 30 años de la puesta en servicio, es decir 2055, que es el horizonte considerado en el Anteproyecto. Se identifican los niveles de servicio para cada caso.

Túnel	Carretera	IMD (veh/d)	IMD por carril (veh/d)	% vehículos pesados	Nivel de servicio
Bruc 1	A-2	12.465	6.232,5	29,80%	C
Bruc 2	A-2	22.007	11.003,5	7,20%	D
Bruc 3	A-2	33.496	11.165,33	16,6%	D

Tabla 3.1.4 Datos tráfico para el año 2055

¹⁹ En los 3 tubos, se ha considerado el siguiente reparto de tráfico:

- Tubo 1 sentido Barcelona: 30% de los ligeros y 70% de los pesados.
- Tubo 2 sentido Barcelona (antiguo sentido Lleida): 70% de los ligeros y 30% de los pesados.

De acuerdo al punto 1.3.2 del RD635/2006, se utilizará la IMD para la categorización del tubo cuando el porcentaje de vehículos pesados es menor al 15%, y se utilizará la IMD equivalente para la categorización cuando este porcentaje sea mayor al 15%.

En el caso del tubo Bruc 1 (sentido Barcelona), el nivel de servicio correspondiente a la intensidad de tráfico del túnel para el año 2055 corresponde a un nivel de servicio del tráfico tipo C. La MARTE, en lo relativo al nivel de servicio especifica en su apartado 4.1.2.1, página 38, que “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”. Por tanto, en este caso se utilizan para el túnel virtual las mismas intensidades de tráfico mostradas en la Tabla 3.1.4.

En el caso del tubo nuevo, el que se ha denominado Bruc 3 (sentido Lleida) en este documento y Bruc 2 (sentido Barcelona), el nivel de servicio será tipo D, es decir, superior al nivel C de referencia que marca la MARTE), con lo cual se utilizan las intensidades de tráfico de nivel C para el túnel virtual (véase Tabla 2.1.5).

Túnel	Carretera	IMD (veh/d)	IMD por carril (veh/d)	% vehículos pesados
Bruc 2	A-2	19.229	9.614,5	7,20
Bruc 3	A-2	31.355	10.451,66	16,60

Tabla 3.1.5 Datos tráfico de paso de nivel C a D

Conviene destacar que por este túnel no está permitido el paso de mercancías peligrosas y tienen establecido otro itinerario.

3.2. ANÁLISIS DE RIESGO POR EL MÉTODO GENERAL

La elaboración del análisis de riesgo se ha realizado bajo el siguiente supuesto:

En consecuencia con lo citado en la introducción, se ha considerado un túnel unidireccional interurbano de longitud mayor que 1000 metros.

Equipamiento mínimo requerido según RD 635/2006
Aceras
Salidas de emergencia
Conexiones transversales para acceso de los servicios de emergencia ²⁰
Cruce de mediana fuera de cada boca
Apartaderos en las condiciones fijadas en el apartado 2.7
Drenaje de líquidos tóxicos
Centro de control
Circuito cerrado de TV
Sistema informático de extracción de humos, automático y manual
Iluminación normal
Iluminación de seguridad
Iluminación de emergencia
Ventilación
Doble suministro eléctrico
Generadores de emergencia
Sistema de alimentación ininterrumpida (SAI)
Detectores de CO
Opacímetros
Cable para detección de incendios
Detección automática de incidentes
Puestos de emergencia
Señalización salidas y equipamiento de emergencia y I.C.
Señalización según Norma 8.1 y 8.2 I.C.
Paneles de señalización variable
Barreras exteriores
Semáforos exteriores
Semáforos interiores (si el tubo mide igual o más de 3.000 metros)
Megafonía
Red de hidrantes
Aforadores
Sistema de radiocomunicaciones para servicios de emergencia
Mensajería de emergencia por canales de radio para usuarios

Tabla 3.2.1. Equipamiento mínimo según RD 635/2006

²⁰ En el caso de los tubos Bruc 1 y 2, según el apartado 2.6 del RD 635/2006 no se exigirán las conexiones transversales, al tener el túnel una longitud inferior a 1.200 metros y, además, al tener los tubos a distinta cota. En el tubo Bruc 3, tampoco se exigirán al estar a distinta cota.

Se realiza el análisis sobre el tubo de pendiente descendente por considerarse el caso más desfavorable, es decir, el tubo denominado Bruc 3 (sentido Lleida). El tubo de estudio será el de pendiente descendente, ya que el punto 4.3.2 de la Metodología de análisis de riesgo de la R.C.E, indica: “En túneles unidireccionales, será más peligroso cuando tengan pendiente descendente en sentido del tráfico y/o condiciones atmosféricas que favorezcan el flujo del humo en sentido contrario al de circulación. Puesto que, en este caso, el humo avanzará hacia donde los vehículos están retenidos y los usuarios evacuarán el túnel hacia la boca de entrada, al igual que el humo. Este será el caso más habitual a estudiar en túneles unidireccionales con más de un tubo, puesto que el tubo a estudiar será el que presente estas características (pendiente descendente y corriente longitudinal ascendente por tiro natural)”. Además se plantea la posibilidad de ampliar el actual número de carriles de 2 a 3 carriles.

Por otro lado, se realiza también el análisis de los dos tubos ascendentes, con el objetivo de poder comparar los resultados con el análisis de los dos tubos existentes, para el mismo horizonte de tráfico.

3.2.1. BRUC 1, SENTIDO BARCELONA (B-40100)

Para un túnel unidireccional, **con salidas de emergencia en el túnel real y en el virtual**, la metodología de análisis de riesgo de la R.C.E. indica que el incendio se posicionará coincidiendo con una salida de emergencia, tanto para el túnel real como para el 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.

Túnel real. Teniendo en cuenta la información disponible en el Manual de Explotación de los túneles del Bruc, revisión 05 con fecha de junio 2019, las salidas de emergencia se encuentran a 356 m y 727 m desde la boca de entrada. El incendio se produce en la segunda salida de emergencia, esto es, a 727 m de la boca de entrada.

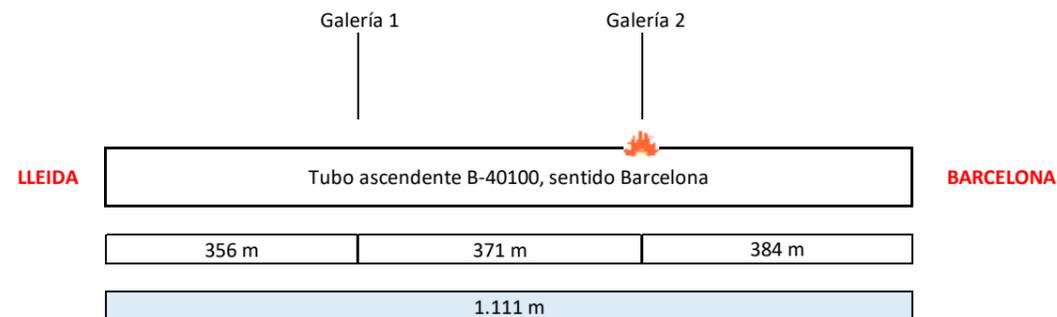


Ilustración 3.2.1. Croquis del posicionamiento del incendio para el túnel real

Túnel virtual. El RD 635/2006 exige que las salidas de emergencia estén como máximo cada 400 m. Se ubican las salidas de emergencia siguiendo la formulación del apartado 5.4. El incendio se posicionará en la segunda salida, esto es, a 755,5 m de la boca de entrada.

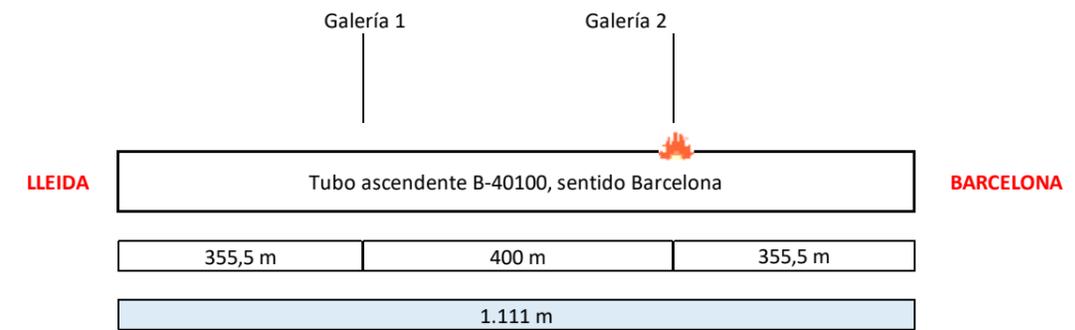


Ilustración 3.2.2. Croquis del posicionamiento del incendio para el túnel virtual

Para analizar este apartado, el túnel real ya está caracterizado en el apartado 3.1. Igualmente, para el túnel virtual, que servirá de comparación ideal, como aquel túnel de referencia con la misma longitud, número de carriles y tipo de circulación, que el túnel real y con la disposición de todo el equipamiento que para su categoría establece el Real Decreto 635/2006 (Tabla 3.2.1).

3.2.1.1. Modelo de riesgo del túnel

% Vehículos pesados	29,80 %
Ancho carril (m)	3,50
Ancho arcén derecho (m)	2,50
Ancho acera derecha (m)	0,50
Pendiente (%)	2,50
Longitud (m)	1.111
Nº carriles	2

Tabla 3.2.2. Características geométricas y porcentaje de vehículos pesados del túnel real

Las tablas en las que se basa el cálculo de los factores correctores se encuentran incluidas en el apartado 5:

Factor corrector del coeficiente de riesgo		FTR	FTV	
Fg	Factor de ponderación por criterios de diseño geométrico del túnel	Real	Virtual	Observaciones
FgCAR	Factor anchura de carriles	1,0000	1,0000	Ancho carril túnel real 3,5 m. Igual para túnel virtual
FgARC	Factor anchura arcén derecho	0,9000	1,0000	Ancho arcén túnel real 2,5 m. El túnel virtual tiene asignado 1 m de ancho.
FgAPA	Factor de existencia de apartaderos en el túnel	1,0500	1,0000	No existente y exigido para el túnel virtual.
FgACE	Factor de existencia de aceras para evacuación	1,1000	1,0000	Se considera que el túnel real no tiene aceras ²¹ .
FgPAV	Factor de tipo de pavimento	1,0500	1,0000	Pavimento de hormigón no existente y exigido.
FgPTE	Factor de pendiente longitudinal del túnel	0,9925	1,0000	Pendiente túnel real < 3%. Túnel virtual tiene asignada una pendiente de 3%
FgREV	Factor de existencia revestimiento rígido del túnel	1,0000	1,0000	Túnel revestido
		1,0833	1,0000	

Tabla 3.2.3. Factores de ponderación por criterios de diseño geométrico del túnel

Factor corrector del coeficiente de riesgo		FTR	FTV	
Feq	Factor de ponderación por criterios de equipamiento del túnel	Real	Virtual	Observaciones
FeqSSEE	Factor de proximidad de los servicios de emergencia	1,2500	1,1500	Considerado en túnel real que la llegada de los servicios > 15 minutos. Túnel virtual entre 10 y 15 minutos
FeqCC	Factor de existencia de centro de control permanente y vigilado con posibilidad de control de accesos	0,9000	0,9000	Existente en túnel real y exigido según RD para túnel virtual

²¹ La Demarcación indica que el ancho de la acera podría ser inferior a 0,5 m y que se debería considerar como inexistente para quedar del lado de la seguridad.

Factor corrector del coeficiente de riesgo		FTR	FTV	
Feq	Factor de ponderación por criterios de equipamiento del túnel	Real	Virtual	Observaciones
FeqOTR	Factor de otras mejoras sobre las dotaciones de seguridad mínimas exigidas en el Real Decreto 635/2006	0,9429	0,9429	El túnel real cuenta con cruce de mediana, doble suministro, red de hidrantes y sistema de radiocomunicación para SSEE. El túnel virtual cuenta con el mismo equipamiento. En el apartado 5.2 se define el criterio utilizado para valorar el factor de otras mejoras
		1,0607	0,9759	

Tabla 3.2.4. Factores de ponderación por criterios de equipamiento del túnel

Factor corrector del coeficiente de riesgo		FTR	FTV	
Fex	Factor de ponderación por criterios de explotación del túnel	Real	Virtual	Observaciones
FexAVP	Factor de permisividad o no de adelantamiento de vehículos pesados en túneles con más de un carril por sentido	0,8700	1,0000	Actualmente existe prohibición de adelantamiento, permitido en el túnel virtual.
FexRAD	Factor de existencia de sistemas de control de velocidad (radares), anunciados y con posibilidad de sanción, en los accesos o en el interior del túnel	1,0000	1,0000	No existe radar
		0,8770	1,0000	

Tabla 3.2.5. Factores de ponderación por criterios de explotación del túnel

Factor corrector del coeficiente de riesgo		FTR	FTV
Total =	Fg x Feq x Fex	0,9997	0,9759

Tabla 3.2.6. Factor corrector del índice de riesgo

Las probabilidades de ocurrencia de los distintos escenarios permanecen invariables para todo el estudio tanto en el túnel real como el virtual, y dependen de la IMD y del porcentaje de vehículos pesados esperados, que se considera un 29,80 %:

% Vehículos pesados	29,80 %
Autovia	0,9291
IMD carril	6.232,5
FIMD autovia	2,8750

Tabla 3.2.7. Información del tráfico

% de vehículos pesados	20 %	29,80 %	30 %	Autopista % con FIMD
Escenario	Probabilidades de ocurrencia (en tanto por uno)			
E1	0,5800	0,4526	0,4500	1,3012
E2	0,3100	0,4178	0,4200	1,2012
E3	0,0200	0,0200	0,0200	0,0575
E4	0,0200	0,0298	0,0300	0,0857
E5	0,0700	0,0798	0,0800	0,2294

Tabla 3.2.8. Probabilidades de ocurrencia de los escenarios

3.2.1.2. Modelo de ventilación forzada

El túnel de Bruc cuenta con ventilación forzada. Según la información disponible en el Manual de Explotación de los túneles del Bruc, revisión 05 con fecha de junio 2019, su diseño cumple con las exigencias del RD 635/2006. Se trata de un sistema con ventiladores longitudinales, que cumple el RD 635/2006 según la documentación del túnel, y adecuado según el apartado 2.11.3 del RD 635/2006, al contar con gestión del tráfico y reducción de la distancia entre salidas de emergencia.

Modelo	Caudal (m ³ /s)	Velocidad aire (m/s)	Empuje (N)	Pot. Motor (kW)	Número	Temperatura resistencia al fuego 2 horas (°C)
JZR 12-45/4	38,2	33,8	1.487	75	14 (2 x 7)	250

Tabla 3.2.9. Características de los ventiladores del sistema de ventilación

La ubicación de los ventiladores se toman de la información disponible en “Estado de Dimensiones y Características de Obra Ejecutada. Obra de emergencia de remodelación y cambio del sistema de ventilación del Túnel de El Bruc en la calzada derecha, del p.km. 565,000 al 566,111. Rehabilitación y refuerzo del Túnel de la Autovía A-2 de El Bruc, calzada izquierda del p.km. 565,150 al 565,850. Términos municipales de Castellolí y El Bruc, (Barcelona). Clave: OEM-B-126/11” y se muestra en la siguiente tabla. Se encuentran colocados por parejas:

Pareja	Distancia a la boca de entrada (m)	Interdistancia (m)
Pareja 1	50	50
Pareja 2	150	100
Pareja 3	250	100
Pareja 4	350	100
Pareja 5	820	470
Pareja 6	920	100
Pareja 7	1020	100

Tabla 3.2.10. Ubicación parejas de ventiladores

A continuación se muestran los sistemas simulados, tanto para el túnel real como para el túnel virtual, encontrándose el incendio en ambos en la salida de emergencia.



Tabla 3.2.11. Representación de la simulación del incendio para el túnel real

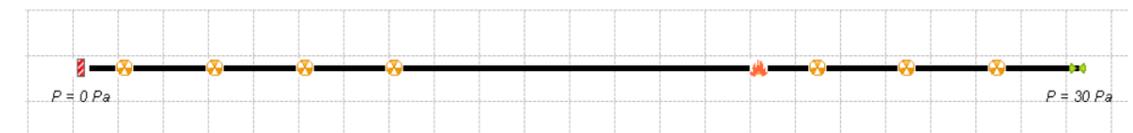


Tabla 3.2.12. Representación de la simulación del incendio para el túnel virtual

Según el Manual de explotación de los túneles del Bruc, revisión 05 con fecha de junio 2019, se considera el siguiente algoritmo de ventilación:

- La detección de incendio se realiza por cable de detección. Por ello, se considerará el tiempo de detección del incendio como aquel tiempo en el que la temperatura alcance 55°C en la zona del incendio.
- Se indica un tiempo de confirmación del operario de 60 s.
- El tiempo de arranque de la primera pareja de ventilación (la más alejada del incendio) será el tiempo de detección más el tiempo de confirmación.
- A partir del arranque de la primera pareja, las siguientes parejas se irán encendiendo cada 10 s.
- Se considera una rampa de 40 s para llegar al 100% del funcionamiento.
- La pareja más cercana al incendio no se enciende, considerándose de reserva.

Label	Number of jet fans	Unit free... thrust [N]	Jet vel... [m/s]	Effici... (0 to...)	Max. wo... tempera... [°C]	Reference density [kg/m3]	Tunnel Cross-s... area [m²]	Cross-sect. area at jet fans ...	Dist. from upstrea...	Control
JZR 12-45/4_1	2	1487.0	33.8	0.9	250.0	1.2	77.0	77.0	50.0	⊖
JZR 12-45/4_2	2	1487.0	33.8	0.9	250.0	1.2	77.0	77.0	150.0	⊖
JZR 12-45/4_3	2	1487.0	33.8	0.9	250.0	1.2	77.0	77.0	250.0	⊖
JZR 12-45/4_4									50.0	⊖
JZR 12-45/4_5									20.0	⊖
JZR 12-45/4_6									20.0	⊖
JZR 12-45/4_7									20.0	⊖

Device control: JZR 12-45/4_1

Parameters

Hour	Minute	Second	Multiplying c...
0	5	50	0.0
0	6	10	0.5
0	6	30	1.0

Buttons: Add, Modify, Delete, OK, Cancel

Ilustración 3.2.3. Funcionamiento del sistema de ventilación

Los datos empleados en el software CAMATT han sido los siguientes:

TÚNEL ANALIZADO

- B-40100

DATOS MEDIOAMBIENTALES

- Altitud media (m): 522
- Temperatura ambiente en el interior del túnel (°C): 15,0
- Densidad del aire (kg/m3): 1,2
- Coeficiente de convección mínimo: 5 W/(m²·K)
- Coeficiente de convección máximo: 50 W/(m²·K)
- Emisividad de la pared: 0,7

TRÁFICO, DATOS DE LOS VEHÍCULOS

- Proporción de vehículos pesados (%): 29,8
- Sigma Cx para coches (m²): 0,90
- Sigma Cx para pesados (m²): 4,55
- Distancia entre vehículos parados (m): 10,00

SECCIÓN DEL TÚNEL

- Longitud sección (m): 1.111
- Pendiente sección (%): 2,50
- Área de la sección transversal para el túnel real y virtual(m²): 77
- Perímetro para el túnel real y virtual(m): 33,8
- Coeficiente de fricción: 0,020
- Revestimiento: Hormigón
- Número de carriles por sentido: 2

TRÁFICO

- Dirección del tráfico: Unidireccional
- Velocidad máxima túnel real (km/h): 80
- Velocidad máxima túnel virtual (km/h): 100
- Intensidad horaria túnel (veh/h): 1.869,75

PRESIÓN EXTERIOR EN LAS BOCAS

Para establecer las presiones en bocas, se ha tomado como punto de partida las pérdidas de carga provocadas por la resistencia al viento exterior. La información de viento proporcionado por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía.

Se considera 5,5 m/s como velocidad para el cálculo de la presión para mantener el análisis del lado de la seguridad. En todo caso, se deben considerar condiciones atmosféricas que favorezcan el flujo del humo en sentido contrario al de circulación, de acuerdo al punto 4.3.2 de la Metodología de Análisis de Riesgo en Túneles de la R.C.E.

Para el establecimiento de la presión, se toma el valor resultado de considerar 5,5 m/s y se introduce en Camatt. A continuación, se simula el escenario 4 definido en MARTE y de potencia 30 MW, valor de potencia que se corresponde al requerido en el RD 635/2006. Se observa la gráfica de opacidad para ver si se obtiene el flujo de humo comentado con anterioridad. En este caso se produce, por lo tanto se considera el valor de presión inicial.

En consecuencia, en este caso, al ser el tubo ascendente y debido a las condiciones meteorológicas y al tráfico del mismo, se ha considerado el escenario en el que la presión en la boca de cota más alta (30 Pa) será mayor que en la boca de cota más baja (0 Pa)

- Boca de entrada (Pa): 0 Pa
- Boca de salida (Pa): 30 Pa

POSICIÓN DEL FUEGO

- Distancia desde la boca de entrada del túnel real (m): 727,0
- Distancia desde la boca de entrada del túnel virtual (m): 755,5

TIEMPO DE DETECCIÓN

Según lo comentado anteriormente, el tiempo de detección corresponde al tiempo en que la temperatura del aire del túnel llega a los 55 °C en la zona del incendio. Se obtienen los siguientes tiempos de detección:

	Tiempo de detección (s)	
	Túnel real	Túnel virtual
Escenario 1	280	295
Escenario 2	290	305
Escenario 3	290	305
Escenario 4	290	305
Escenario 5	120	135

Tabla 3.2.13. Tiempos de detección

3.2.1.3. Modelo de comportamiento de usuarios

Se indican a continuación los datos de régimen de circulación libre y de congestión.

Régimen de circulación libre túnel real	
Longitud túnel	1.111 m
Velocidad circulación	80 km/h
	22,22 m/s
IMD	6.232,5 Veh /día/carril
Intensidad	0,26 veh/s/carril
N (Número de vehículos presentes en túnel por carril)	12,983 veh/carril

Tabla 3.2.14. Régimen de circulación libre del túnel real

Régimen de circulación libre túnel virtual	
Longitud túnel	1.111 m
Velocidad circulación ²²	100 km/h
	27,78 m/s
IMD	6.232,5 Veh /día/carril
Intensidad	0,26 veh/s/carril
N (Número de vehículos presentes en túnel por carril)	10,386 veh/carril

Tabla 3.2.15. Régimen de circulación libre del túnel virtual

Congestión túnel real	
Velocidad crecimiento	2,94 m/s (aguas arriba)
Distancia boca – fuego	727 m
Longitud a recorrer hasta la salida más próxima	371 m
Tiempo de remonte	247,24 s

Tabla 3.2.16. Congestión del túnel real

Congestión túnel virtual	
Velocidad crecimiento	2,86 m/s (aguas arriba)
Distancia boca – fuego	755,5 m
Longitud a recorrer hasta la salida más próxima	400 m
Tiempo de remonte	263,73 s

Tabla 3.2.17. Congestión del túnel virtual

Sobre los gráficos de autoevacuación calculados se superponen las gráficas de evolución de la opacidad de los humos a lo largo del túnel en función del tiempo, obtenidos mediante el software de modelización unidimensional CAMATT.

Se consideran afectados todos aquellos usuarios pertenecientes a las trayectorias que coinciden con un nivel de opacidad de los humos superior o igual a $0,4 \text{ m}^{-1}$ (zona amarilla de la gráfica).

El tiempo de reacción de los restantes usuarios no implicados desde que llegan a la cola de vehículos o ven a un usuario de otro vehículo evacuando es de 7 segundos para el túnel real y para el virtual, que disponen de paneles de señalización variable en el interior y en el exterior (según se recoge en el Manual de Explotación, revisión 05 con fecha de junio 2019), centro de control con CCTV y DAI.

Debido al equipamiento del túnel real y virtual, se produce el cierre del túnel a los 180 segundos, impidiendo la entrada de usuarios, al contar con semáforos, barreras, centro de control y DAI.

²² Se considera una velocidad de 100 km/h en el túnel virtual en base al apartado 2.14.3 del Anexo I del RD 635/2006.

Túnel real:

Se muestra la información más relevante para cada uno de los escenarios.

E1: Incendio de un vehículo ligero. 8 MW de potencia

E1: Incendio de un vehículo ligero. 8 MW de potencia				
Usuarios de los vehículos implicados en el accidente (n=0)				
	Tiempo	Espacio		n 0
T10	0.00	727.00	S10	
T20	90.00	727.00	S20	
T30	461.00	356.00	S30	
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=1)				
	Tiempo	Espacio		n 1
T11	3.40	717.00	S11	
T21	10.40	717.00	S21	
T31	371.40	356.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=2)				
	Tiempo	Espacio		n 2
T11	6.80	707.00	S11	
T21	13.80	707.00	S21	
T31	364.80	356.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=3)				
	Tiempo	Espacio		n 3
T11	10.20	697.00	S11	
T21	17.20	697.00	S21	
T31	358.20	356.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=4)				
	Tiempo	Espacio		n 4
T11	13.60	687.00	S11	
T21	20.60	687.00	S21	
T31	351.60	356.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=5)				
	Tiempo	Espacio		n 5
T11	17.00	677.00	S11	

T21	24.00	677.00	S21
T31	345.00	356.00	S31

¿Llega a entrar en el túnel? Sí
Situación: No atrapado

Tabla 3.2.18. E1: Incendio de un vehículo ligero. 8 MW de potencia

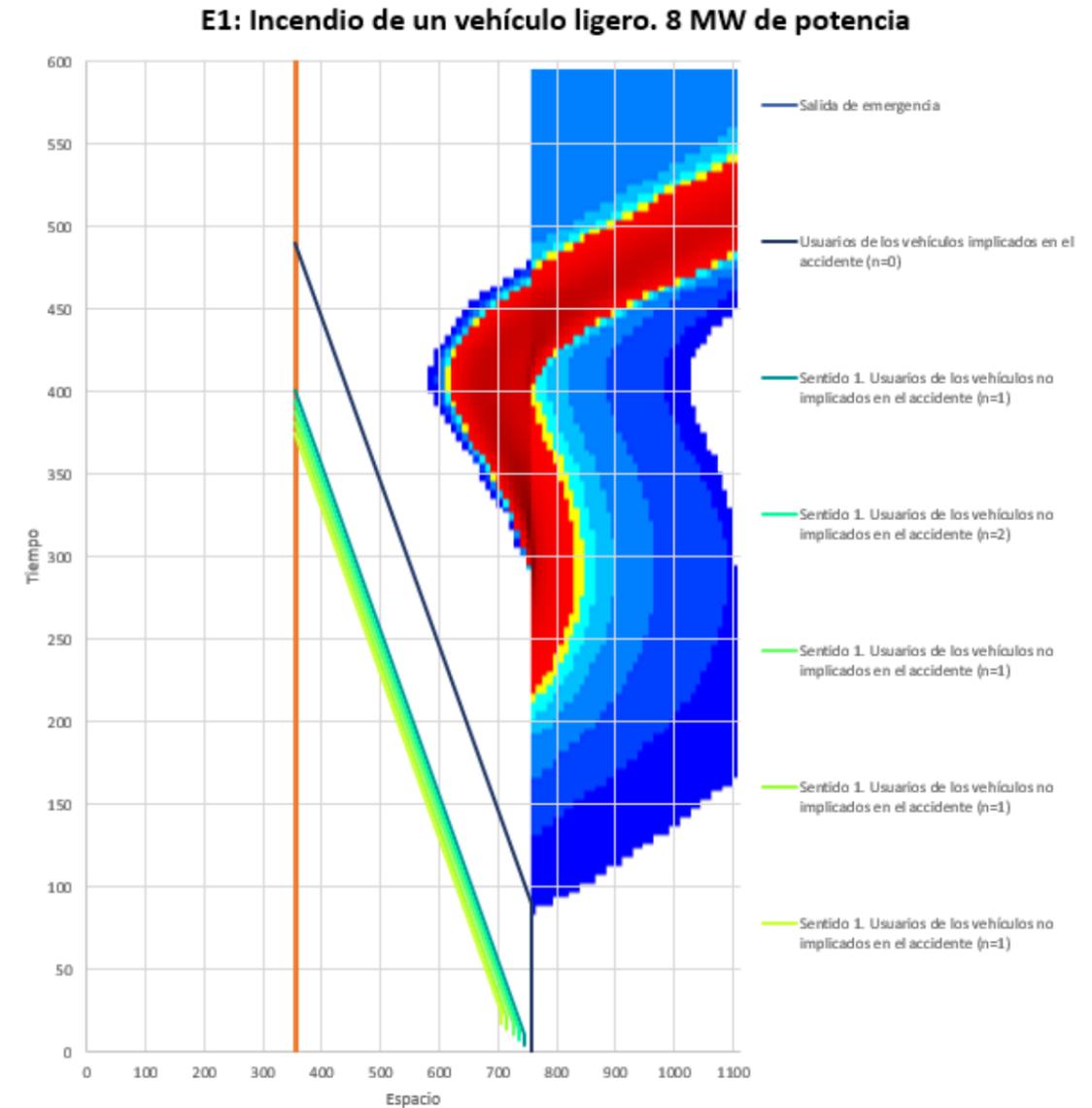


Ilustración 3.2.4. E1: Incendio de un vehículo ligero. 8 MW de potencia. Valores de opacidad (amarillo $k=0.4 \text{ m}^{-1}$)

La tabla anterior muestra los valores más representativos en el dominio de la longitud y el tiempo. La autoevacuación de todos los usuarios se produce de manera satisfactoria ya que la trayectoria de los mismos no se cruza con valores de opacidad de $0,4 \text{ m}^{-1}$ o mayores.

E2: Incendio de un vehículo pesado. 30 MW

E2: Incendio de un vehículo pesado. 30 MW				
Usuarios de los vehículos implicados en el accidente (n=0)				
	Tiempo	Espacio		n 0
T10	0.00	727.00	S10	
T20	90.00	727.00	S20	
T30	461.00	356.00	S30	
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=1)				
	Tiempo	Espacio		n 1
T11	3.40	717.00	S11	
T21	10.40	717.00	S21	
T31	371.40	356.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=2)				
	Tiempo	Espacio		n 2
T11	6.80	707.00	S11	
T21	13.80	707.00	S21	
T31	364.80	356.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=3)				
	Tiempo	Espacio		n 3
T11	10.20	697.00	S11	
T21	17.20	697.00	S21	
T31	358.20	356.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=4)				
	Tiempo	Espacio		n 4
T11	13.60	687.00	S11	
T21	20.60	687.00	S21	
T31	351.60	356.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=5)				
	Tiempo	Espacio		n 5
T11	17.00	677.00	S11	
T21	24.00	677.00	S21	
T31	345.00	356.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				

Situación: No atrapado

Tabla 3.2.19. E2: Incendio de un vehículo pesado. 30 MW

E2: Incendio de un vehículo pesado. 30 MW

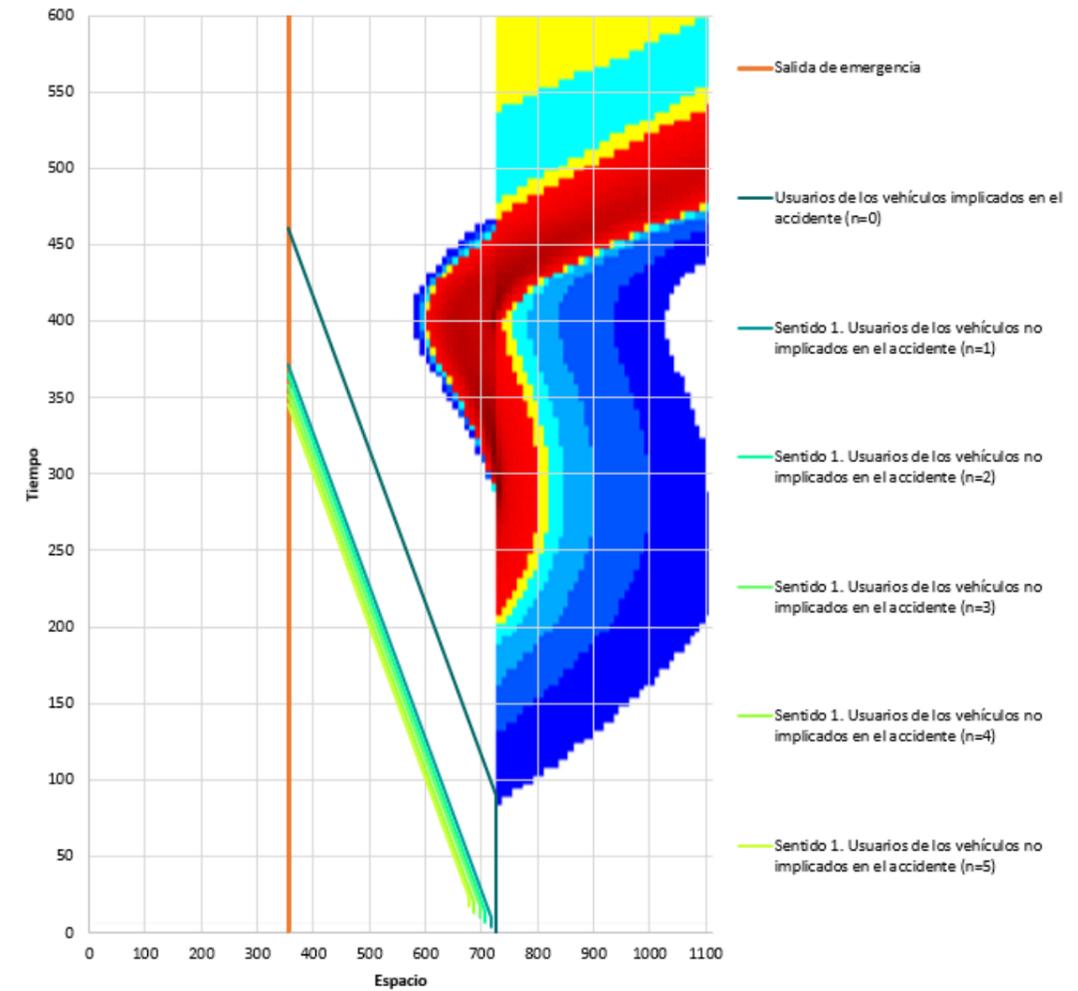


Ilustración 3.2.5. E2: Incendio de un vehículo pesado. 30 MW. Valores de opacidad (amarillo $k=0.4 \text{ m}^{-1}$)

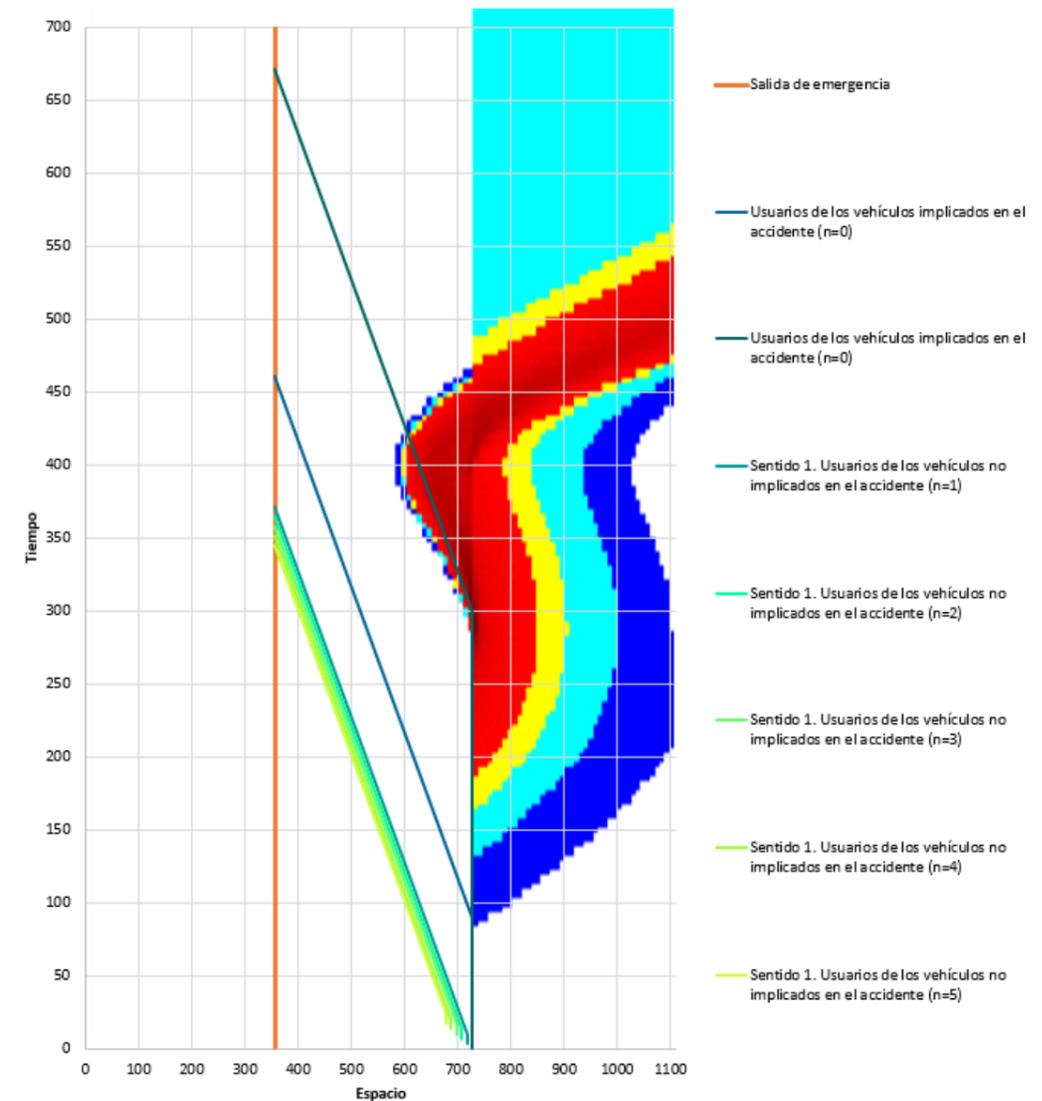
La tabla anterior muestra los valores más representativos en el dominio de la longitud y el tiempo. La autoevacuación de todos los usuarios se produce de manera satisfactoria ya que la trayectoria de los mismos no se cruza con valores de opacidad de $0,4 \text{ m}^{-1}$ o mayores.

E3: Incendio de un vehículo ligero y un autocar. 15 MW

E3: Incendio de un vehículo ligero y un autocar. 15 MW				
Usuarios de los vehículos implicados en el accidente (n=0)				
	Tiempo	Espacio		Autobus 0
T10	0.00	727.00	S10	
T20	300.00	727.00	S20	
T30	671.00	356.00	S30	
Situación: Atrapado				
	Tiempo	Espacio		Ligero 0
T10	0.00	727.00	S10	
T20	90.00	727.00	S20	
T30	461.00	356.00	S30	
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=1)				
	Tiempo	Espacio		n 1
T11	3.40	717.00	S11	
T21	10.40	717.00	S21	
T31	371.40	356.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=2)				
	Tiempo	Espacio		n 2
T11	6.80	707.00	S11	
T21	13.80	707.00	S21	
T31	364.80	356.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=3)				
	Tiempo	Espacio		n 3
T11	10.20	697.00	S11	
T21	17.20	697.00	S21	
T31	358.20	356.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=4)				
	Tiempo	Espacio		n 4
T11	13.60	687.00	S11	
T21	20.60	687.00	S21	
T31	351.60	356.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=5)				

	Tiempo	Espacio		n 5
T11	17.00	677.00	S11	
T21	24.00	677.00	S21	
T31	345.00	356.00	S31	

¿Llega a entrar en el túnel? **Sí**
Situación: **No atrapado**

Tabla 3.2.20. E3: Incendio de un vehículo ligero y un autocar. 15 MW
E3: Incendio de un vehículo ligero y un autocar. 15 MW

Ilustración 3.2.6. E3: Incendio de un vehículo ligero y un autocar. 15 MW. Valores de opacidad (amarillo $k=0.4 \text{ m}^{-1}$)

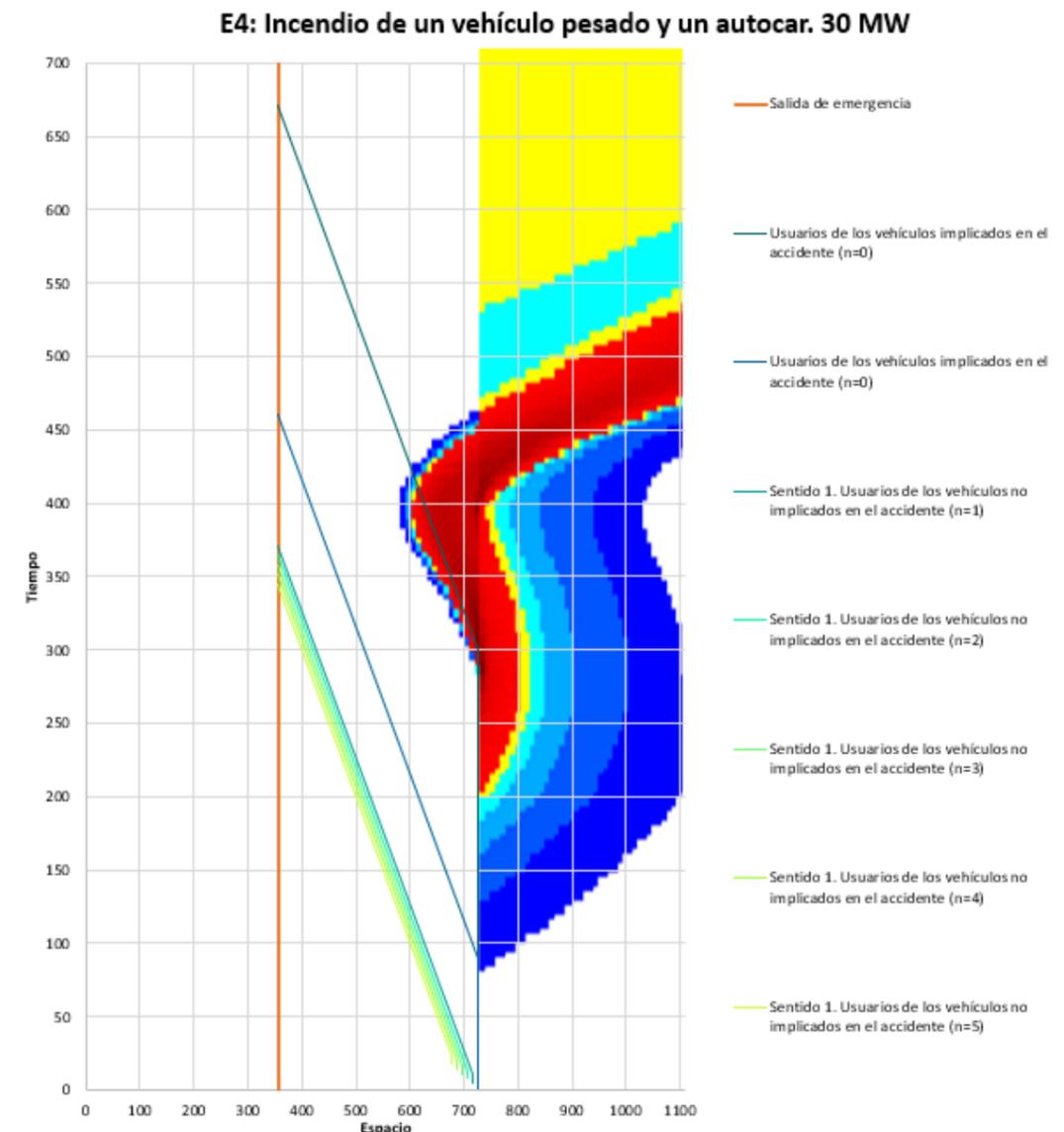
La tabla anterior muestra los valores más representativos en el dominio de la longitud y el tiempo. La autoevacuación de los usuarios del autobús implicado se produce de manera no satisfactoria ya que la trayectoria se cruza con valores de opacidad de $0,4 \text{ m}^{-1}$ o mayores. Por otro lado, la evacuación del resto de usuarios se produce manera satisfactoria.

E4: Incendio de un vehículo pesado y un autocar. 30 MW

E4: Incendio de un vehículo pesado y un autocar. 30 MW				
Usuarios de los vehículos implicados en el accidente (n=0)				
	Tiempo	Espacio		Autobús 0
T10	0.00	727.00	S10	
T20	300.00	727.00	S20	
T30	671.00	356.00	S30	
Situación: Atrapado				
	Tiempo	Espacio		Vehículo pesado 0
T10	0.00	727.00	S10	
T20	90.00	727.00	S20	
T30	461.00	356.00	S30	
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=1)				
	Tiempo	Espacio		n 1
T11	3.40	717.00	S11	
T21	10.40	717.00	S21	
T31	371.40	356.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=2)				
	Tiempo	Espacio		n 2
T11	6.80	707.00	S11	
T21	13.80	707.00	S21	
T31	364.80	356.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=3)				
	Tiempo	Espacio		n 3
T11	10.20	697.00	S11	
T21	17.20	697.00	S21	
T31	358.20	356.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=4)				
	Tiempo	Espacio		n 4
T11	13.60	687.00	S11	
T21	20.60	687.00	S21	
T31	351.60	356.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=5)				

	Tiempo	Espacio		n 5
T11	17.00	677.00	S11	
T21	24.00	677.00	S21	
T31	345.00	356.00	S31	

¿Llega a entrar en el túnel? **Sí**
Situación: **No atrapado**

Tabla 3.2.21. E4: Incendio de un vehículo pesado y un autocar. 30 MW

Ilustración 3.2.7. E4: Incendio de un vehículo pesado y un autocar. 30 MW

La tabla anterior muestra los valores más representativos en el dominio de la longitud y el tiempo. La autoevacuación de los usuarios del autobús implicado se produce de manera no satisfactoria ya que la trayectoria se cruza con valores de opacidad de $0,4 \text{ m}^{-1}$ o mayores. Por otro lado, la evacuación del resto de usuarios se produce manera satisfactoria.

E5: Incendio de un vehículo de pesado. 100 MW

E5: Incendio de un vehículo pesado. 100 MW				
Usuarios de los vehículos implicados en el accidente (n=0)				
	Tiempo	Espacio		n 0
T10	0.00	727.00	S10	
T20	90.00	727.00	S20	
T30	461.00	356.00	S30	
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=1)				
	Tiempo	Espacio		n 1
T11	3.40	717.00	S11	
T21	10.40	717.00	S21	
T31	371.40	356.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=2)				
	Tiempo	Espacio		n 2
T11	6.80	707.00	S11	
T21	13.80	707.00	S21	
T31	364.80	356.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=3)				
	Tiempo	Espacio		n 3
T11	10.20	697.00	S11	
T21	17.20	697.00	S21	
T31	358.20	356.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=4)				
	Tiempo	Espacio		n 4
T11	13.60	687.00	S11	
T21	20.60	687.00	S21	
T31	351.60	356.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=5)				
	Tiempo	Espacio		n 5
T11	17.00	677.00	S11	
T21	24.00	677.00	S21	
T31	345.00	356.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				

Situación: No atrapado

Tabla 3.2.22. E5: Incendio de un vehículo de pesado.100 MW

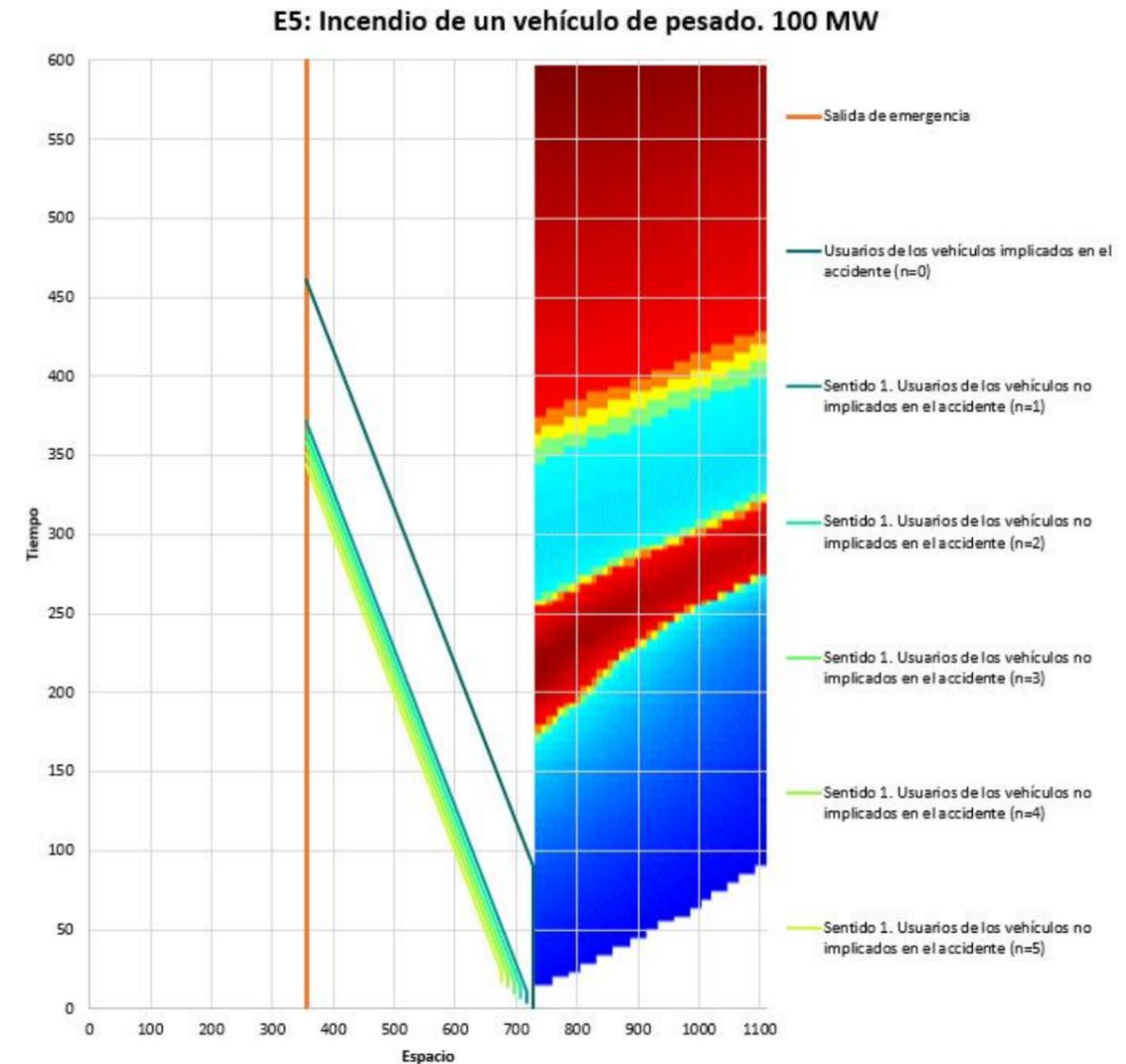


Ilustración 3.2.8 E5: Incendio de un vehículo de pesado. 100 MW

La tabla anterior muestra los valores más representativos en el dominio de la longitud y el tiempo. La autoevacuación de todos los usuarios se produce de manera satisfactoria ya que la trayectoria de los mismos no se cruza con valores de opacidad de $0,4 \text{ m}^{-1}$ o mayores.

A partir del análisis de los datos anteriores se procede a contabilizar las personas que se verían atrapadas en el interior del túnel, y que son aquellas que no pueden efectuar la auto-evacuación de forma satisfactoria siendo por tanto víctimas mortales del accidente.

En este caso, al haberse empleado el modelo de ventilación unidimensional, se considera que una persona queda atrapada en el túnel, siendo por tanto víctima del incendio correspondiente, cuando su trayectoria de huida se cruza con la franja de color amarilla de opacidad, correspondiente al valor de 0,4.

Así, el número de personas que podrían verse afectadas en cada uno de los escenarios analizados es el siguiente:

Escenarios	Por carril	Tubo	Accidente			Total	
	Congestión	Vehículos	Ligero	Pesado	Autocar	Personas	Personas
E1	0	0,00	0			0,00	0,00
E2	0	0,00		0		0,00	0,00
E3	0	0,00	0		1	30,00	30,00
E4	0	0,00		0	1	30,00	30,00
E5	0	0,00		0		0,00	0,00

Tabla 3.2.23. Recuento de personas afectadas para cada escenario

Aplicando a los valores obtenidos los modificadores por equipamiento y el factor corrector por IMD y vehículos pesados, la estimación de personas atrapadas y probabilidad de ocurrencia de cada uno de los escenarios se reflejan en las dos últimas columnas de la siguiente tabla:

Escenarios	FIMD	Drenaje	Puestos	Personas	Probabilidad
E1	1,30	1,00	0,90	0,00	0,00
E2	1,20	1,00	1,00	0,00	0,00
E3	0,06	1,00	0,95	28,50	1,64
E4	0,09	1,00	1,00	30,00	2,57
E5	0,23	1,00	1,00	0,00	0,00

Tabla 3.2.24. Probabilidad de ocurrencia de atrapamiento para cada escenario

El coeficiente de riesgo para el túnel real es:

CRTR	4,2076
-------------	---------------

Túnel virtual:

Se muestra la información más relevante para cada uno de los escenarios.

E1: Incendio de un vehículo ligero. 8 MW de potencia

E1: Incendio de un vehículo ligero. 8 MW de potencia				
Usuarios de los vehículos implicados en el accidente (n=0)				
	Tiempo	Espacio		n 0
T10	0.00	755.50	S10	
T20	90.00	755.50	S20	
T30	490.00	355.50	S30	
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=1)				
	Tiempo	Espacio		n 1
T11	3.49	745.50	S11	
T21	10.49	745.50	S21	
T31	400.49	355.50	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=2)				
	Tiempo	Espacio		n 2
T11	6.98	735.50	S11	
T21	13.98	735.50	S21	
T31	393.98	355.50	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=1)				
	Tiempo	Espacio		n 3
T11	10.47	725.50	S11	
T21	17.47	725.50	S21	
T31	387.47	355.50	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=1)				
	Tiempo	Espacio		n 4
T11	13.96	715.50	S11	
T21	20.96	715.50	S21	
T31	380.96	355.50	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=1)				
	Tiempo	Espacio		n 5
T11	17.45	705.50	S11	

T21	24.45	705.50	S21
T31	374.45	355.50	S31

¿Llega a entrar en el túnel? Sí
Situación: No atrapado

Tabla 3.2.25. E1: Incendio de un vehículo ligero. 8 MW de potencia

E1: Incendio de un vehículo ligero. 8 MW de potencia

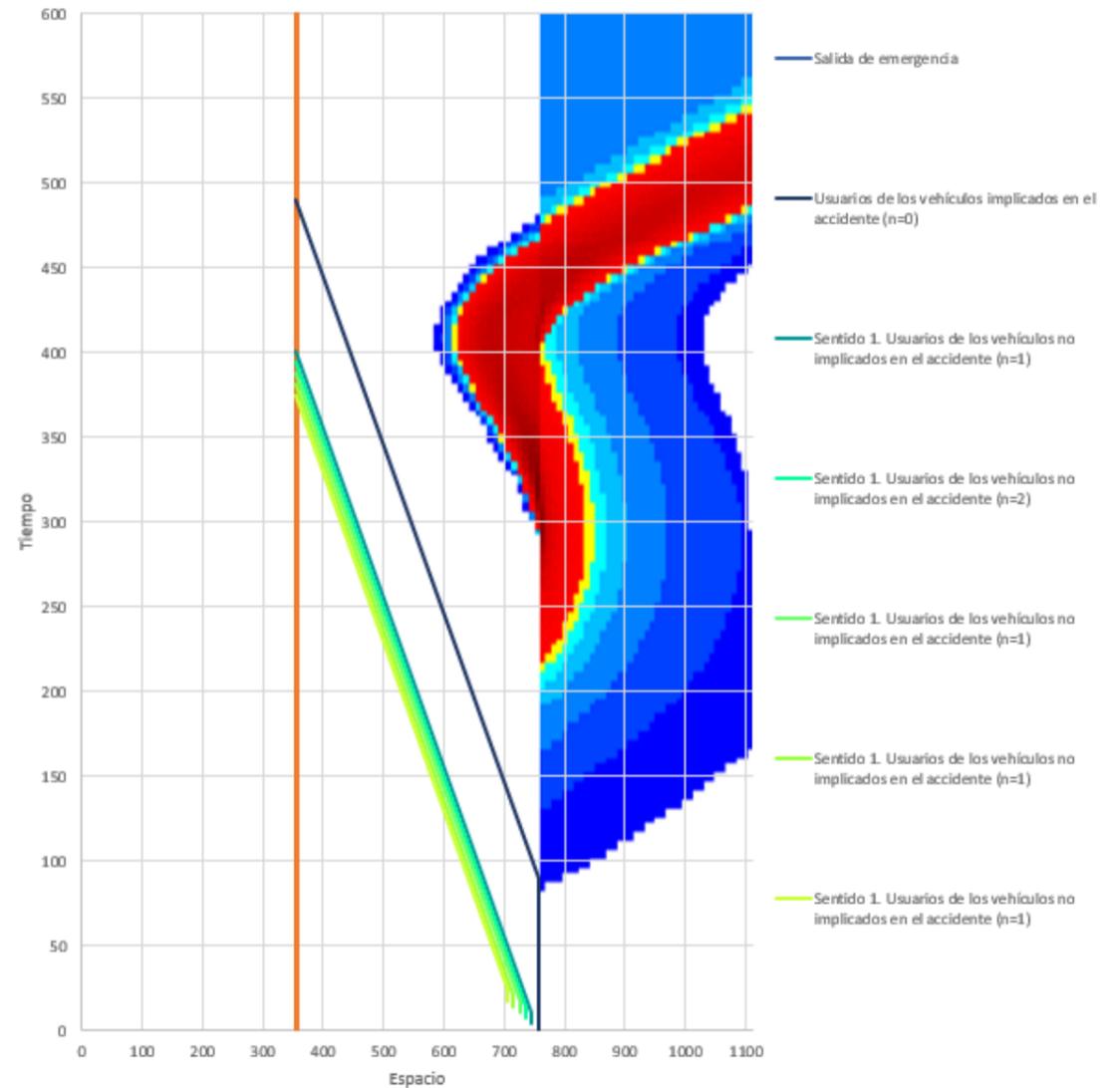


Ilustración 3.2.9. E1: Incendio de un vehículo ligero. 8 MW de potencia. Valores de opacidad (amarillo $k=0.4 \text{ m}^{-1}$)

La tabla anterior muestra los valores más representativos en el dominio de la longitud y el tiempo. La autoevacuación de todos los usuarios se produce de manera satisfactoria ya que la trayectoria de los mismos no se cruza con valores de opacidad de $0,4 \text{ m}^{-1}$ o mayores.

E2: Incendio de un vehículo pesado. 30 MW

E2: Incendio de un vehículo pesado. 30 MW				
Usuarios de los vehículos implicados en el accidente (n=0)				
	Tiempo	Espacio		n 0
T10	0.00	755.50	S10	
T20	90.00	755.50	S20	
T30	490.00	355.50	S30	
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=1)				
	Tiempo	Espacio		n 1
T11	3.49	745.50	S11	
T21	10.49	745.50	S21	
T31	400.49	355.50	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=2)				
	Tiempo	Espacio		n 2
T11	6.98	735.50	S11	
T21	13.98	735.50	S21	
T31	393.98	355.50	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=3)				
	Tiempo	Espacio		n 3
T11	10.47	725.50	S11	
T21	17.47	725.50	S21	
T31	387.47	355.50	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=4)				
	Tiempo	Espacio		n 4
T11	13.96	715.50	S11	
T21	20.96	715.50	S21	
T31	380.96	355.50	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=5)				
	Tiempo	Espacio		n 5
T11	17.45	705.50	S11	
T21	24.45	705.50	S21	
T31	374.45	355.50	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				

Situación: No atrapado

Tabla 3.2.26. E2: Incendio de un vehículo pesado. 30 MW

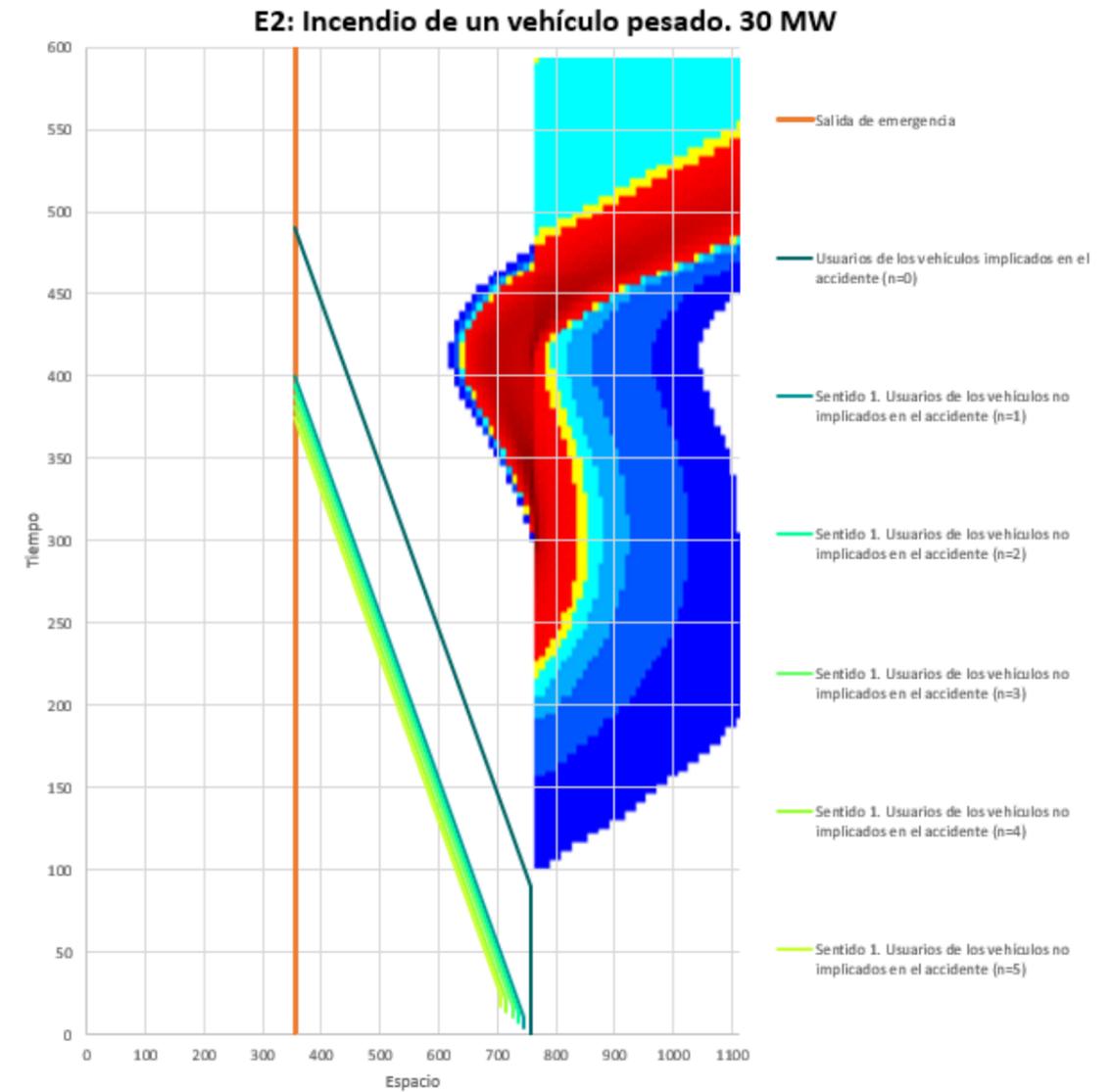


Ilustración 3.2.10. E2: Incendio de un vehículo pesado. 30 MW. Valores de opacidad (amarillo $k=0.4 \text{ m}^{-1}$)

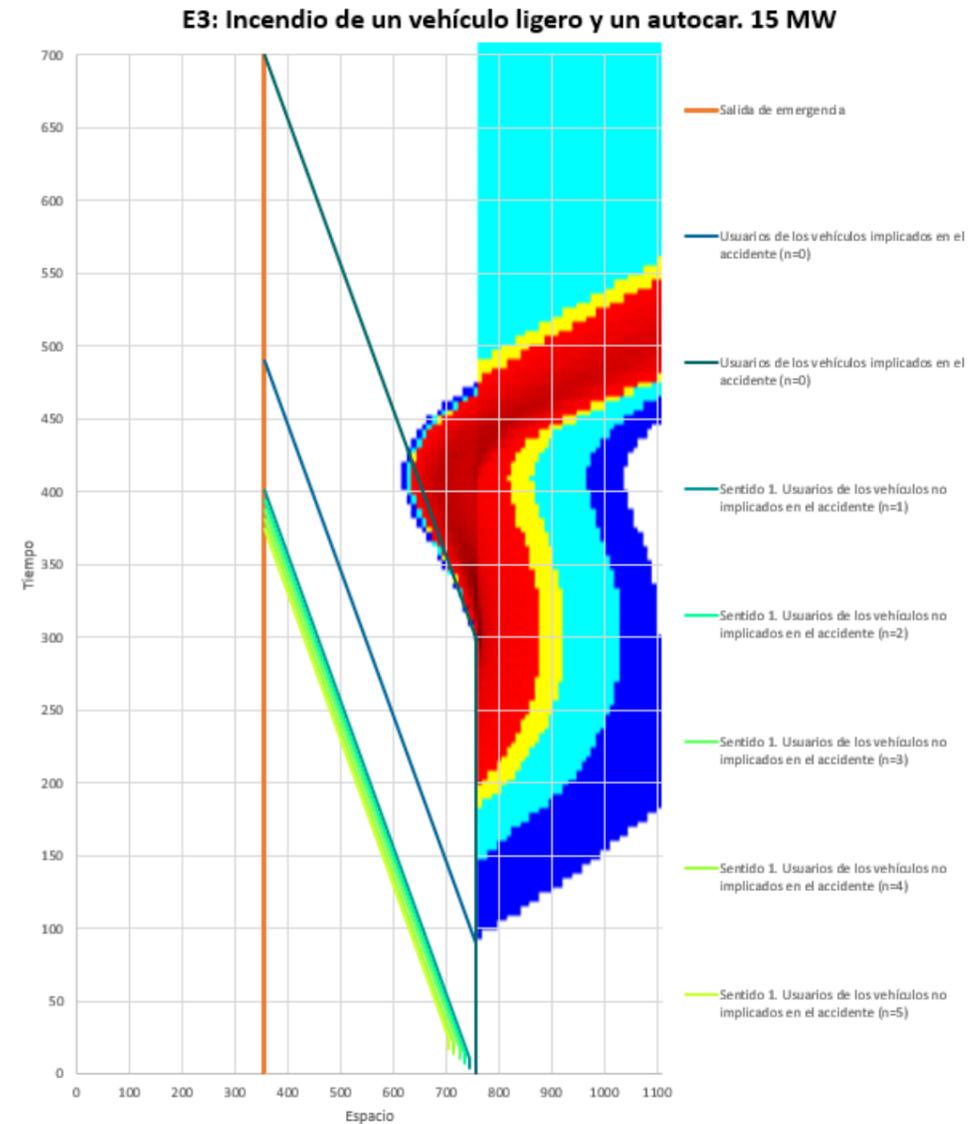
La tabla anterior muestra los valores más representativos en el dominio de la longitud y el tiempo. La autoevacuación de todos los usuarios se produce de manera satisfactoria ya que la trayectoria de los mismos no se cruza con valores de opacidad de $0,4 \text{ m}^{-1}$ o mayores.

E3: Incendio de un vehículo ligero y un autocar. 15 MW

E3: Incendio de un vehículo ligero y un autocar. 15 MW				
Usuarios de los vehículos implicados en el accidente (n=0)				
	Tiempo	Espacio		Autobus 0
T10	0.00	755.50	S10	
T20	300.00	755.50	S20	
T30	700.00	355.50	S30	
Situación: Atrapado				
	Tiempo	Espacio		Ligero 0
T10	0.00	755.50	S10	
T20	90.00	755.50	S20	
T30	490.00	355.50	S30	
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=1)				
	Tiempo	Espacio		n 1
T11	3.49	745.50	S11	
T21	10.49	745.50	S21	
T31	400.49	355.50	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=2)				
	Tiempo	Espacio		n 2
T11	6.98	735.50	S11	
T21	13.98	735.50	S21	
T31	393.98	355.50	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=3)				
	Tiempo	Espacio		n 3
T11	10.47	725.50	S11	
T21	17.47	725.50	S21	
T31	387.47	355.50	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=4)				
	Tiempo	Espacio		n 4
T11	13.96	715.50	S11	
T21	20.96	715.50	S21	
T31	380.96	355.50	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=5)				

	Tiempo	Espacio		n 5
T11	17.45	705.50	S11	
T21	24.45	705.50	S21	
T31	374.45	355.50	S31	

¿Llega a entrar en el túnel? **Sí**
Situación: **No atrapado**

Tabla 3.2.27. E3: Incendio de un vehículo ligero y un autocar. 15 MW

Ilustración 3.2.11. E3: Incendio de un vehículo ligero y un autocar. 15 MW. Valores de opacidad (amarillo $k=0.4 \text{ m}^{-1}$)

La tabla anterior muestra los valores más representativos en el dominio de la longitud y el tiempo. La autoevacuación de los usuarios del autobús implicado se produce de manera no satisfactoria ya que la trayectoria se cruza con valores de opacidad de $0,4 \text{ m}^{-1}$ o mayores. Por otro lado, la evacuación del resto de usuarios se produce manera satisfactoria.

E4: Incendio de un vehículo pesado y un autocar. 30 MW

E4: Incendio de un vehículo pesado y un autocar. 30 MW				
Usuarios de los vehículos implicados en el accidente (n=0)				
	Tiempo	Espacio		Autobús 0
T10	0.00	755.50	S10	
T20	300.00	755.50	S20	
T30	700.00	355.50	S30	
Situación: Atrapado				
	Tiempo	Espacio		Vehículo pesado 0
T10	0.00	755.50	S10	
T20	90.00	755.50	S20	
T30	490.00	355.50	S30	
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=1)				
	Tiempo	Espacio		n 1
T11	3.49	745.50	S11	
T21	10.49	745.50	S21	
T31	400.49	355.50	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=2)				
	Tiempo	Espacio		n 2
T11	6.98	735.50	S11	
T21	13.98	735.50	S21	
T31	393.98	355.50	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=3)				
	Tiempo	Espacio		n 3
T11	10.47	725.50	S11	
T21	17.47	725.50	S21	
T31	387.47	355.50	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=4)				
	Tiempo	Espacio		n 4
T11	13.96	715.50	S11	
T21	20.96	715.50	S21	
T31	380.96	355.50	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=5)				

	Tiempo	Espacio		n 5
T11	17.45	705.50	S11	
T21	24.45	705.50	S21	
T31	374.45	355.50	S31	

¿Llega a entrar en el túnel? Sí
Situación: No atrapado

Tabla 3.2.28. E4: Incendio de un vehículo pesado y un autocar. 30 MW

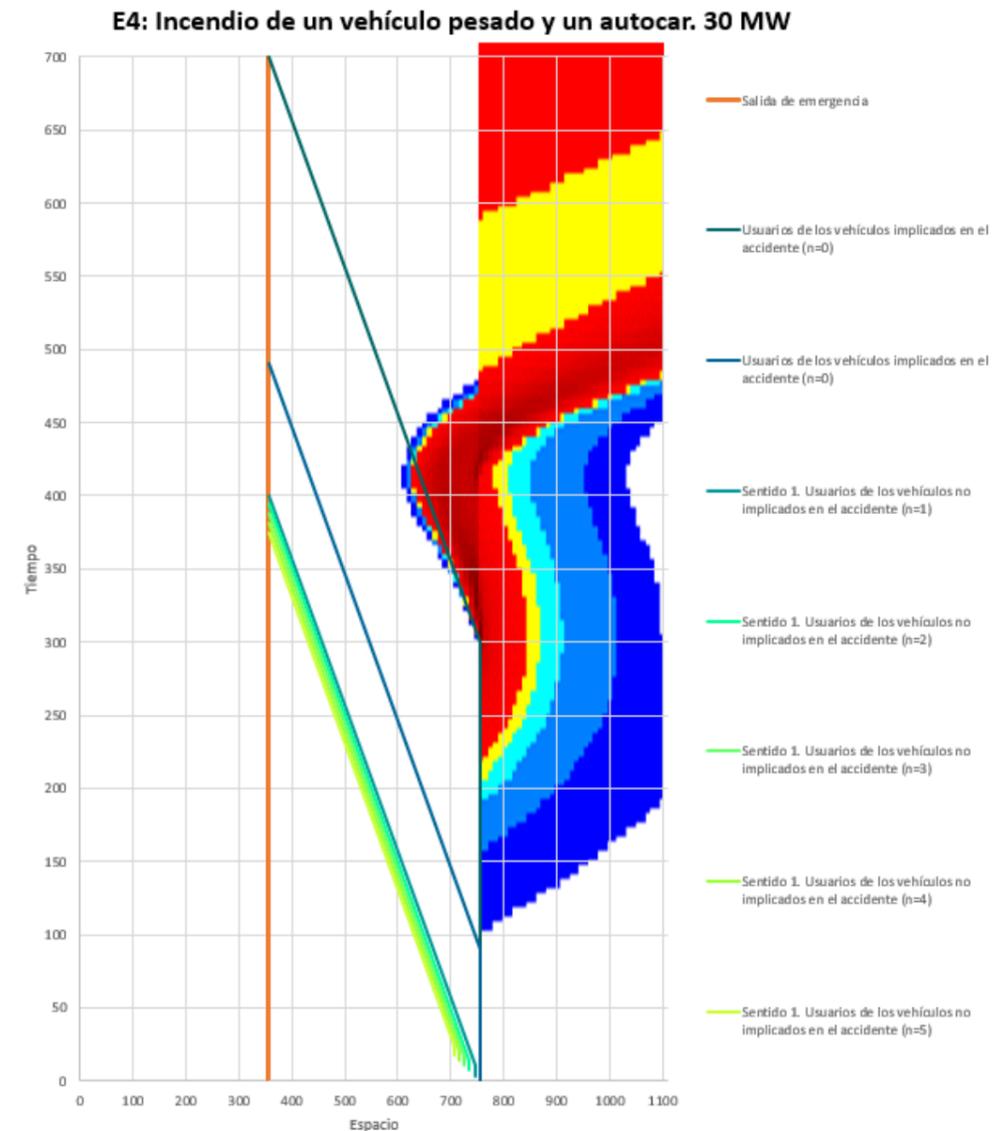


Ilustración 3.2.12. E4: Incendio de un vehículo pesado y un autocar. 30 MW

La tabla anterior muestra los valores más representativos en el dominio de la longitud y el tiempo. La autoevacuación de los usuarios del autobús implicado se produce de manera no satisfactoria ya que la trayectoria se cruza con valores de opacidad de $0,4 \text{ m}^{-1}$ o mayores. Por otro lado, la evacuación del resto de usuarios se produce manera satisfactoria.

E5: Incendio de un vehículo de pesado. 100 MW

E5: Incendio de un vehículo pesado. 100 MW				
Usuarios de los vehículos implicados en el accidente (n=0)				
	Tiempo	Espacio		n 0
T10	0.00	755.50	S10	
T20	90.00	755.50	S20	
T30	490.00	355.50	S30	
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=1)				
	Tiempo	Espacio		n 1
T11	3.49	745.50	S11	
T21	10.49	745.50	S21	
T31	400.49	355.50	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=2)				
	Tiempo	Espacio		n 2
T11	6.98	735.50	S11	
T21	13.98	735.50	S21	
T31	393.98	355.50	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=3)				
	Tiempo	Espacio		n 3
T11	10.47	725.50	S11	
T21	17.47	725.50	S21	
T31	387.47	355.50	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=4)				
	Tiempo	Espacio		n 4
T11	13.96	715.50	S11	
T21	20.96	715.50	S21	
T31	380.96	355.50	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=5)				
	Tiempo	Espacio		n 5
T11	17.45	705.50	S11	
T21	24.45	705.50	S21	
T31	374.45	355.50	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				

Situación: No atrapado
 Tabla 3.2.29. E5: Incendio de un vehículo de pesado.100 MW

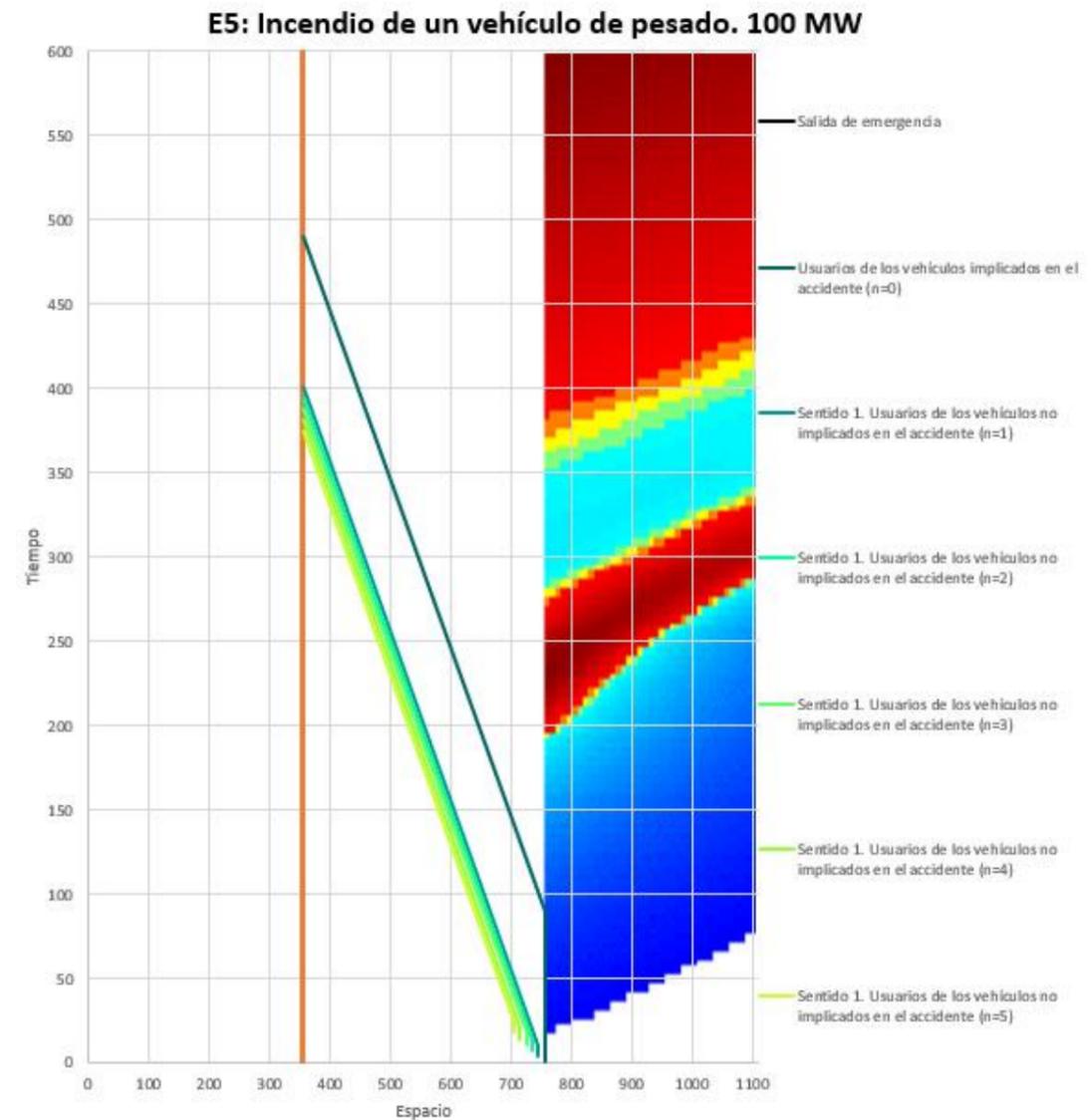


Ilustración 3.2.13 E5: Incendio de un vehículo de pesado. 100 MW

La tabla anterior muestra los valores más representativos en el dominio de la longitud y el tiempo. La autoevacuación de todos los usuarios se produce de manera satisfactoria ya que la trayectoria de los mismos no se cruza con valores de opacidad de 0,4 m⁻¹ o mayores.

En base al análisis de los escenarios, el número de vehículos y personas que se consideran atrapadas es el indicado en la tabla siguiente:

Escenario	Por carril	Tubo	Accidente				Total
	Congestión	Vehículos	Ligero	Pesado	Autocar	Personas	Personas
E1	0	0,00	0			0,00	0,00
E2	0	0,00		0		0,00	0,00
E3	0	0,00	0		1	30,00	30,00
E4	0	0,00		0	1	30,00	30,00
E5	0	0,00		0		0,00	0,00

Tabla 3.2.30. Recuento de personas afectadas para cada escenario

Aplicando a los valores obtenidos los modificadores por equipamiento y el factor corrector por IMD y vehículos pesados, la estimación de personas atrapadas y probabilidad de ocurrencia de cada uno de los escenarios se reflejan en las dos últimas columnas de la siguiente tabla:

Escenarios	FIMD	Drenaje	Puestos	Personas	Probabilidad
E1	1,30	1,00	0,90	0,00	0,00
E2	1,20	1,00	1,00	0,00	0,00
E3	0,06	1,00	0,95	28,50	1,64
E4	0,09	1,00	1,00	30,00	2,57
E5	0,23	1,00	1,00	0,00	0,00

Tabla 3.2.31. Probabilidad de ocurrencia de atrapamiento para cada escenario

CRTV	4,1073
------	---------------

$$IR = \frac{4,2076}{4,1073} = 1,0244$$

El túnel se considera **túnel seguro** de acuerdo con los criterios de aceptación de MARTE.

3.2.2. BRUC 2, SENTIDO BARCELONA (B-40200)

Para un túnel unidireccional, **con salida de emergencia en el túnel real y en el virtual**, la metodología de análisis de riesgo de la R.C.E. indica que el análisis se debe realizar en el mayor tramo de túnel entre dos salidas de emergencia que tengan una tercera entre ellas en la que se produce el incendio.

Túnel real. Teniendo en cuenta la información disponible en el Manual de Explotación de los túneles del Bruc, revisión 05 con fecha de junio 2019, y que en este análisis el sentido de este tubo es Barcelona, las salidas de emergencia se encuentran a 214 m y 522 m desde la boca de entrada. Por lo tanto, el incendio se posiciona en la segunda salida de emergencia, eso es, a 522 m.

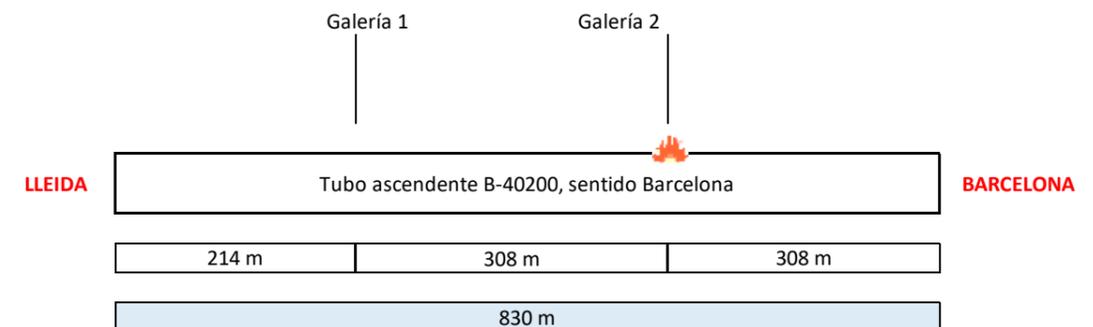


Ilustración 3.2.14. Croquis del posicionamiento del incendio para el túnel real

Túnel virtual. El RD se exige que las salidas de emergencia estén como máximo cada 400 m. En este sentido, al ser la longitud del túnel 830 m, se colocan las salidas de emergencia a 215 m y 615 m desde la boca de entrada, véase apartado 5.4 El incendio se posicionará en la segunda salida de emergencia.

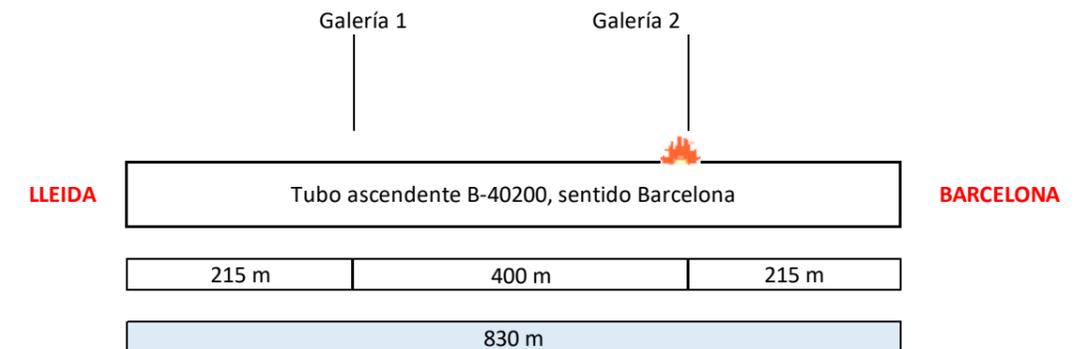


Ilustración 3.2.15. Croquis del posicionamiento del incendio para el túnel virtual

Para analizar este apartado, el túnel real ya está caracterizado en el apartado 3.1. Igualmente, para el túnel virtual, que servirá de comparación ideal, como aquel túnel de referencia con la misma longitud, número de carriles y tipo de circulación, que el túnel real y con la disposición de todo el equipamiento que para su categoría establece el Real Decreto 635/2006 (Tabla 3.2.1).

3.2.2.1. Modelo de riesgo del túnel

% Vehículos pesados	7,20 %
Ancho carril (m)	3,50
Ancho arcén derecho (m)	2,50
Ancho acera derecha (m)	1,00
Pendiente ²³ (%)	4,30
Longitud (m)	830
Nº carriles	2

Tabla 3.2.32. Características geométricas y porcentaje de vehículos pesados del túnel real

Las tablas en las que se basa el cálculo de los factores correctores se encuentran incluidas en el apartado 5:

Factor corrector del coeficiente de riesgo		FTR	FTV	
Fg	Factor de ponderación por criterios de diseño geométrico del túnel	Real	Virtual	Observaciones
FgCAR	Factor anchura de carriles	1,0000	1,0000	Ancho carril túnel real 3,5 m. Igual para túnel virtual
FgARC	Factor anchura arcén derecho	0,9000	1,0000	Ancho arcén túnel real 2,5 m. El túnel virtual tiene asignado 1 m de ancho.
FgAPA	Factor de existencia de apartaderos en el túnel	1,0000	1,0000	Para el túnel real se cumple el apartado 2.7.3 del RD 635/2006 debido a las dimensiones de los arcones. Exigido para el túnel virtual
FgACE	Factor de existencia de aceras para evacuación	1,0000	1,0000	Ancho de acera del túnel real 1 m. Ancho de acera del túnel virtual 0,75 m.
FgPAV	Factor de tipo de pavimento	1,0000	1,0000	Pavimento de hormigón no exigido al tener longitud inferior a 1000 m
FgPTE	Factor de pendiente longitudinal del túnel	1,0260	1,0000	Pendiente túnel real >3%. Túnel virtual tiene asignada una pendiente de 3%

²³ En este análisis se cambia el sentido de circulación y el tubo Bruc 2 pasa a ser ascendente.

Factor corrector del coeficiente de riesgo		FTR	FTV	
FgREV	Factor de existencia revestimiento rígido del túnel	1,0300	1,0000	Túnel sin revestimiento rígido y con instrumentación ²⁴
		0,9511	1,0000	

Tabla 3.2.33. Factores de ponderación por criterios de diseño geométrico del túnel

Factor corrector del coeficiente de riesgo		FTR	FTV	
Feq	Factor de ponderación por criterios de equipamiento del túnel	Real	Virtual	Observaciones
FeqSSEE	Factor de proximidad de los servicios de emergencia	1,2500	1,1500	Considerado en túnel real que la llegada de los servicios > 15 minutos. Túnel virtual entre 10 y 15 minutos
FeqCC	Factor de existencia de centro de control permanente y vigilado con posibilidad de control de accesos	0,9000	0,9000	Existente en túnel real y exigido según RD para túnel virtual
FeqOTR	Factor de otras mejoras sobre las dotaciones de seguridad mínimas exigidas en el Real Decreto 635/2006	0,9429	0,9429	El túnel real cuenta con cruce de mediana, doble suministro, red de hidrantes y sistema de radiocomunicación para SSEE. El túnel virtual cuenta con el mismo equipamiento. En el apartado 5.2 se define el criterio utilizado para valorar el factor de otras mejoras
		1,0607	0,9759	

Tabla 3.2.34. Factores de ponderación por criterios de equipamiento del túnel

²⁴ Se incluyen secciones de auscultación

Factor corrector del coeficiente de riesgo		FTR	FTV	
Fex	Factor de ponderación por criterios de explotación del túnel	Real	Virtual	Observaciones
FexAVP	Factor de permisividad o no de adelantamiento de vehículos pesados en túneles con más de un carril por sentido ²⁵	0,9524	1,0000	Actualmente existe prohibición de adelantamiento, permitido en el túnel virtual.
FexRAD	Factor de existencia de sistemas de control de velocidad (radares), anunciados y con posibilidad de sanción, en los accesos o en el interior del túnel	1,0000	1,0000	No existe radar
		0,9524	1,0000	

Tabla 3.2.35. Factores de ponderación por criterios de explotación del túnel

Factor corrector del coeficiente de riesgo		FTR	FTV
Total =	Fg x Feq x Fex	0,9608	0,9759

Tabla 3.2.36. Factor corrector del índice de riesgo

Las probabilidades de ocurrencia de los distintos escenarios permanecen invariables para todo el estudio tanto en el túnel real como el virtual, y dependen de la IMD y del porcentaje de vehículos pesados esperados, que se considera un 7,20 %:

	Túnel real	Túnel virtual
% Vehículos pesados	7,20 %	7,20 %
Autovia	0,9291	0,9291
IMD carril	11.003,5	9.614,5
FIMD autovia	4,8753	4,30081

Tabla 3.2.37. Información del tráfico

% de vehículos pesados	5 %	7,20 %	10 %	Autopista % con FIMD Túnel Real	Autopista % con FIMD Túnel Virtual
Escenario	Probabilidades de ocurrencia (en tanto por uno)				
E1	0,8500	0,8104	0,7600	3,9509	3,4854
E2	0,1100	0,1408	0,1800	0,6864	0,6056
E3	0,0200	0,0200	0,0200	0,0975	0,0860
E4	0,0100	0,0100	0,0100	0,0488	0,0430
E5	0,0100	0,0188	0,0300	0,0917	0,0809

Tabla 3.2.38. Probabilidades de ocurrencia de los escenarios

3.2.2.2. Modelo de ventilación forzada

El túnel de Bruc cuenta con ventilación forzada. Según la información disponible en el Manual de Explotación de los túneles del Bruc, revisión 05 con fecha de junio 2019, su diseño cumple con las exigencias del RD 635/2006. Se trata de un sistema con ventiladores longitudinales, que cumple el RD 635/2006 según la documentación del túnel, y adecuado según el apartado 2.11.3 del RD 635/2006, al contar con gestión del tráfico y reducción de la distancia entre salidas de emergencia.

En dicho documento se proporcionan los datos característicos de los ventiladores y que se muestran en la siguiente tabla:

Modelo	Caudal (m ³ /s)	Velocidad aire (m/s)	Empuje (N)	Pot. Motor (kW)	Número	Temperatura resistencia al fuego 2 horas (°C)
A-NR8JT5/Z0,05/1250/GR/6	40,0	32,6	1.487	75	16 (2 x 8)	400

Tabla 3.2.39. Características de los ventiladores del sistema de ventilación de Bruc 2

La ubicación de los ventiladores se toman de la información disponible en “Estado de Dimensiones y Características de Obra Ejecutada. Obra de emergencia de remodelación y cambio del sistema de ventilación del Túnel de El Bruc en la calzada derecha, del p.km. 565,000 al 566,111. Rehabilitación y refuerzo del Túnel de la Autovía A-2 de El Bruc, calzada izquierda del p.km. 565,150 al 565,850. Términos municipales de Castellolí y El Bruc, (Barcelona). Clave: OEM-B-126/11”. En este análisis, al cambiarse el sentido de circulación del tráfico, los ventiladores quedan ubicados según se muestra en la siguiente tabla. Se encuentran colocados por parejas:

²⁵ Para el túnel real, se considera que la señal de prohibición de adelantamiento seguirá existiendo al cambiar el sentido de circulación del tubo.

Pareja	Distancia a la boca de entrada (m)	Interdistancia (m)
Pareja 1	69	69
Pareja 2	172	103
Pareja 3	275	103
Pareja 4	369	94
Pareja 5	465	96
Pareja 6	559	94
Pareja 7	665	106
Pareja 8	766	101

Tabla 3.2.40. Ubicación parejas de ventiladores

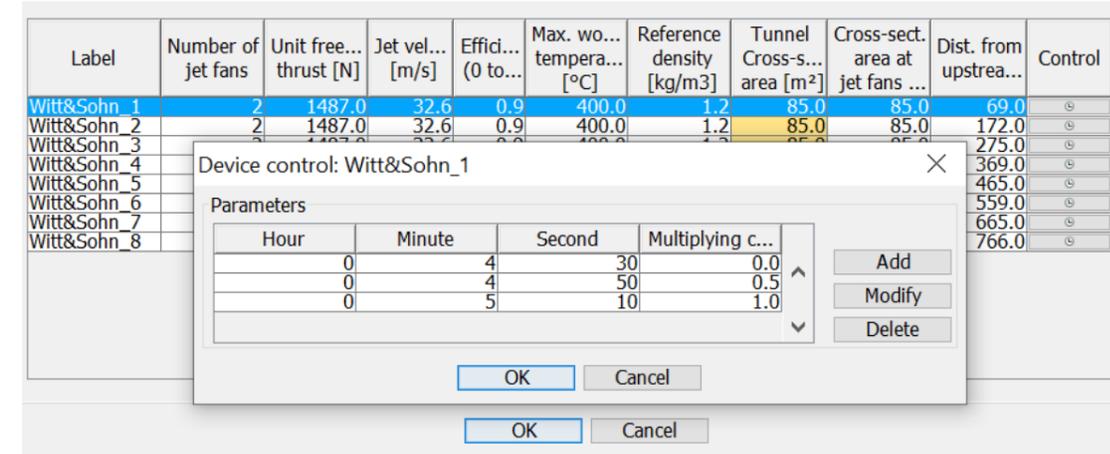
A continuación se muestra el sistema simulado, tanto para el túnel real como para el túnel virtual.


Ilustración 3.2.16. Representación de la simulación del incendio para el túnel real

Ilustración 3.2.17. Representación de la simulación del incendio para el túnel virtual

Se define el funcionamiento del sistema de ventilación se define teniendo en cuenta la información del Manual de Explotación de los túneles del Bruc, revisión 05 con fecha de junio 2019.

- La detección de incendio se realiza por cable de detección . Por ello, se considerará el tiempo de detección del incendio como aquel tiempo en el que la temperatura alcance 55°C en la zona del incendio.
- Se considera un tiempo de confirmación del operario de 60 s.
- El tiempo de arranque de la primera pareja de ventilación (la más alejada del incendio) será el tiempo de detección más el tiempo de confirmación.
- A partir del arranque de la primera pareja, las siguientes parejas se irán encendiendo cada 10 s.
- Se considera una rampa de 40 s para llegar al 100% del funcionamiento del ventilador.
- La pareja más cercana al incendio no se enciende, considerándose de reserva.


Ilustración 3.2.18. Ejemplo de funcionamiento del sistema de ventilación

Los datos empleados en el software CAMATT han sido los siguientes:

TÚNEL ANALIZADO

- B-40200

DATOS MEDIOAMBIENTALES

- Altitud media (m): 522,0
- Temperatura ambiente en el interior del túnel (°C): 15,0
- Densidad del aire (kg/m3): 1,152
- Coeficiente de convección mínimo: 5 W/(m²·K)
- Coeficiente de convección máximo: 50 W/(m²·K)
- Emisividad de la pared: 0,7

TRÁFICO, DATOS DE LOS VEHÍCULOS

- Proporción de vehículos pesados (%): 7,20
- Sigma Cx para coches (m²): 0,90
- Sigma Cx para pesados (m²): 4,55
- Distancia entre vehículos parados (m): 10,00

SECCIÓN DEL TÚNEL

- Longitud sección (m): 830
- Pendiente sección (%): +4,30
- Área de la sección transversal para el túnel real y virtual(m²): 85
- Perímetro para el túnel real y virtual(m): 41,00
- Coeficiente de fricción del túnel real: 0,030

Cabe destacar que el valor de coeficiente de fricción del túnel real se modifica frente al valor corriente de 0,02 propuesto en MARTE. Esto se ha solicitado desde Demarcación, teniendo en cuenta que el túnel no se encuentra revestido.²⁶

- Coeficiente de fricción del túnel virtual: 0,020
- Revestimiento: Hormigón
- Número de carriles por sentido: 2

TRÁFICO

- Dirección del tráfico: Unidireccional
- Velocidad máxima túnel real (km/h): 80
- Velocidad máxima túnel virtual (km/h): 100
- Intensidad horaria para el túnel real (veh/h): 3.301,05
- Intensidad horaria para el túnel virtual (veh/h): 2.884,35

PRESIÓN EXTERIOR EN LAS BOCAS

Para establecer las presiones en bocas, se ha tomado como punto de partida las pérdidas de carga provocadas por la resistencia al viento exterior. La información de viento proporcionado por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía.

Se considera 5,5 m/s como velocidad para el cálculo de la presión para mantener el análisis del lado de la seguridad. En todo caso, se deben considerar condiciones atmosféricas que favorezcan el flujo del humo en sentido contrario al de circulación, de acuerdo al punto 4.3.2 de la Metodología de Análisis de Riesgo en Túneles de la R.C.E.

En consecuencia, al ser el tubo estudiado ascendente en sentido Barcelona y las condiciones meteorológicas cambiantes, se ha considerado el escenario en el que la presión en la boca de cota más alta (18 Pa) será mayor que en la boca de cota más baja (0 Pa).

Para el establecimiento de la presión, se toma el valor resultado de considerar 5,5 m/s y se introduce en Camatt. A continuación, se simula el escenario 4 definido en MARTE y de potencia 30 MW, valor de potencia que se corresponde al requerido en el RD 635/2006. Se observa la gráfica de opacidad para ver si se obtiene el flujo de humo comentado con anterioridad. En este caso se produce, por lo tanto se considera el valor de presión inicial.

- Boca de entrada (Pa): 0 Pa
- Boca de salida (Pa): 18 Pa

POSICIÓN DEL FUEGO

- Distancia desde la boca de entrada del túnel real (m): 522
- Distancia desde la boca de entrada del túnel virtual (m): 615

TIEMPO DE DETECCIÓN

Según lo comentado anteriormente, el tiempo de detección corresponde al tiempo en que la temperatura del aire del túnel llega a los 55 °C en la zona del incendio.

Se obtienen los siguientes tiempos de detección:

	Tiempo de detección (s)	
	Túnel real	Túnel virtual
Escenario 1	200	250
Escenario 2	210	285
Escenario 3	210	285
Escenario 4	210	285
Escenario 5	90	115

Tabla 3.2.41. Tiempos de detección

²⁶. Se considera la información del documento "Túneles con paramentos rugosos y con cavidades" con autores Gabriele Vigne, Jimmy Jönsson y Fernando Hacar de la Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo, Volumen

15 nº1 pp58-60, Julio 2015, en concreto de la información de coeficiente de fricción del aire con las paredes del túnel para túneles sin revestir (tabla 6).

3.2.2.3. Modelo de comportamiento de usuarios

Se indican a continuación los datos de régimen de circulación libre y de congestión.

Régimen de circulación libre túnel real	
Longitud túnel	830 m
Velocidad circulación	80 km/h
	22,22 m/s
IMD	11.003,5 Veh /día/carril
Intensidad	0,46 veh/s/carril
N (Número de vehículos presentes en túnel por carril)	17,124 veh/carril

Tabla 3.2.42. Régimen de circulación libre del túnel real

Régimen de circulación libre túnel virtual	
Longitud túnel	830 m
Velocidad circulación ²⁷	100 km/h
	27,78 m/s
IMD	9.614,5 Veh /día/carril
Intensidad	0,40 veh/s/carril
N (Número de vehículos presentes en túnel por carril)	11,970 veh/carril

Tabla 3.2.43. Régimen de circulación libre del túnel virtual

Congestión túnel real	
Velocidad crecimiento	5,78 m/s (aguas arriba)
Distancia boca – fuego	522 m
Longitud a recorrer hasta la salida más próxima	308 m
Tiempo de remonte	90,36 s

Tabla 3.2.44. Congestión del túnel real

Congestión túnel virtual	
Velocidad crecimiento	4,68 m/s (aguas arriba)
Distancia boca – fuego	615 m
Longitud a recorrer hasta la salida más próxima	400 m
Tiempo de remonte	131,38 s

Tabla 3.2.45. Congestión del túnel virtual

Sobre los gráficos de autoevacuación calculados se superponen las gráficas de evolución de la opacidad de los humos a lo largo del túnel en función del tiempo, obtenidos mediante el software de modelización unidimensional CAMATT.

Se consideran afectados todos aquellos usuarios pertenecientes a las trayectorias que coinciden con un nivel de opacidad de los humos superior o igual a $0,4 \text{ m}^{-1}$ (zona amarilla de la gráfica).

El tiempo de reacción de los restantes usuarios no implicados desde que llegan a la cola de vehículos o ven a un usuario de otro vehículo evacuando es de 7 segundos para el túnel real, que dispone de paneles de señalización variable en el interior y en el exterior, centro de control con CCTV y DAI (según se recoge en el Manual de Explotación, revisión 05 con fecha de junio 2019)²⁸. Por otro lado, el tiempo de reacción en el túnel virtual será de 10 segundos para el virtual, que dispone de megafonía, centro de control con CCTV y DAI.

Debido al equipamiento del túnel real y virtual, se produce el cierre del túnel a los 180 segundos, impidiendo la entrada de usuarios, al contar con semáforos, barreras, centro de control y DAI²⁹.

²⁷ Se considera una velocidad de 100 km/h en el túnel virtual en base al apartado 2.14.3 del Anexo I del RD 635/2006.

²⁸ Se considera que el túnel seguirá contando con el equipamiento indicado al cambiar de sentido de circulación.

²⁹ Se considera que el túnel seguirá contando con el equipamiento indicado al cambiar de sentido de circulación.

Túnel real:

Se muestra la información más relevante para cada uno de los escenarios.

E1: Incendio de un vehículo ligero. 8 MW de potencia

E1: Incendio de un vehículo ligero. 8 MW de potencia			
Usuarios de los vehículos implicados en el accidente (n=0)			
	Tiempo	Espacio	n 0
T10	0.00	522.00 S10	
T20	90.00	522.00 S20	
T30	398.00	214.00 S30	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí			
Situación: No atrapado			
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=1)			
	Tiempo	Espacio	n 1
T11	1.73	512.00 S11	
T21	8.73	512.00 S21	
T31	306.73	214.00 S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí			
Situación: No atrapado			
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=2)			
	Tiempo	Espacio	n 2
T11	3.46	502.00 S11	
T21	10.46	502.00 S21	
T31	298.46	214.00 S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí			
Situación: No atrapado			
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=3)			
	Tiempo	Espacio	n 3
T11	5.19	492.00 S11	
T21	12.19	492.00 S21	
T31	290.19	214.00 S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí			
Situación: No atrapado			
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=4)			
	Tiempo	Espacio	n 4
T11	6.92	482.00 S11	
T21	13.92	482.00 S21	
T31	281.92	214.00 S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí			
Situación: No atrapado			
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=5)			
	Tiempo	Espacio	n 5
T11	8.66	472.00 S11	

T21	15.66	472.00	S21
T31	273.66	214.00	S31

¿Llega a entrar en el túnel? Sí

Situación: No atrapado

Tabla 3.2.46. E1: Incendio de un vehículo ligero. 8 MW de potencia

E1: Incendio de un vehículo ligero. 8 MW de potencia

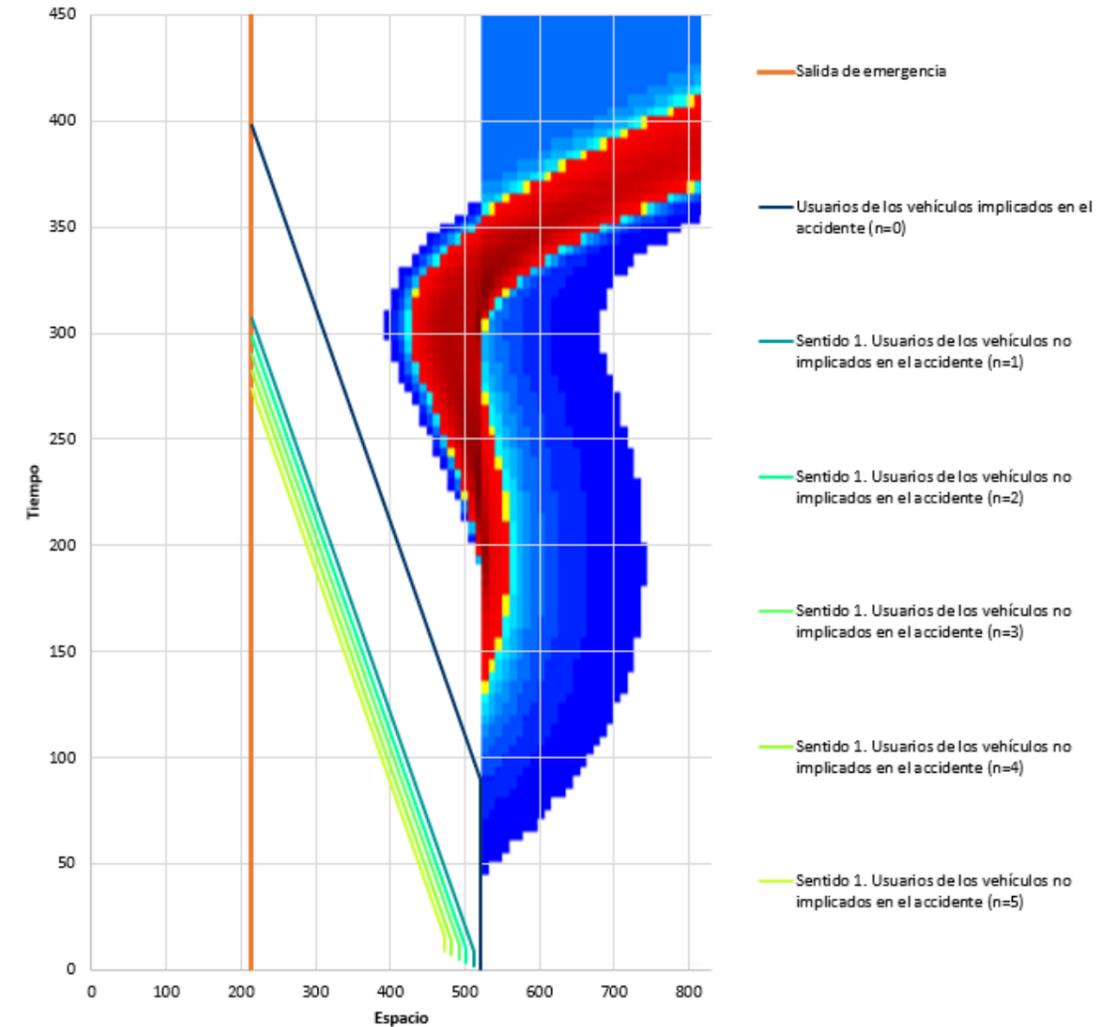


Ilustración 3.2.19. E1: Incendio de un vehículo ligero. 8 MW de potencia. Valores de opacidad (amarillo $k=0.4 \text{ m}^{-1}$)

La tabla anterior muestra los valores más representativos en el dominio de la longitud y el tiempo. La autoevacuación de todos los usuarios se produce de manera satisfactoria ya que la trayectoria de los mismos no se cruza con valores de opacidad de $0,4 \text{ m}^{-1}$ o mayores.

E2: Incendio de un vehículo pesado. 30 MW

E2: Incendio de un vehículo pesado. 30 MW				
Usuarios de los vehículos implicados en el accidente (n=0)				
	Tiempo	Espacio		n 0
T10	0.00	522.00 S10		
T20	90.00	522.00 S20		
T30	398.00	214.00 S30		
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=1)				
	Tiempo	Espacio		n 1
T11	1.73	512.00 S11		
T21	8.73	512.00 S21		
T31	306.73	214.00 S31		
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=2)				
	Tiempo	Espacio		n 2
T11	3.46	502.00 S11		
T21	10.46	502.00 S21		
T31	298.46	214.00 S31		
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=3)				
	Tiempo	Espacio		n 3
T11	5.19	492.00 S11		
T21	12.19	492.00 S21		
T31	290.19	214.00 S31		
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=4)				
	Tiempo	Espacio		n 4
T11	6.92	482.00 S11		
T21	13.92	482.00 S21		
T31	281.92	214.00 S31		
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=5)				
	Tiempo	Espacio		n 5
T11	8.66	472.00 S11		
T21	15.66	472.00 S21		
T31	273.66	214.00 S31		
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				

Situación: No atrapado

Tabla 3.2.47. E2: Incendio de un vehículo pesado. 30 MW

E2: Incendio de un vehículo pesado. 30 MW

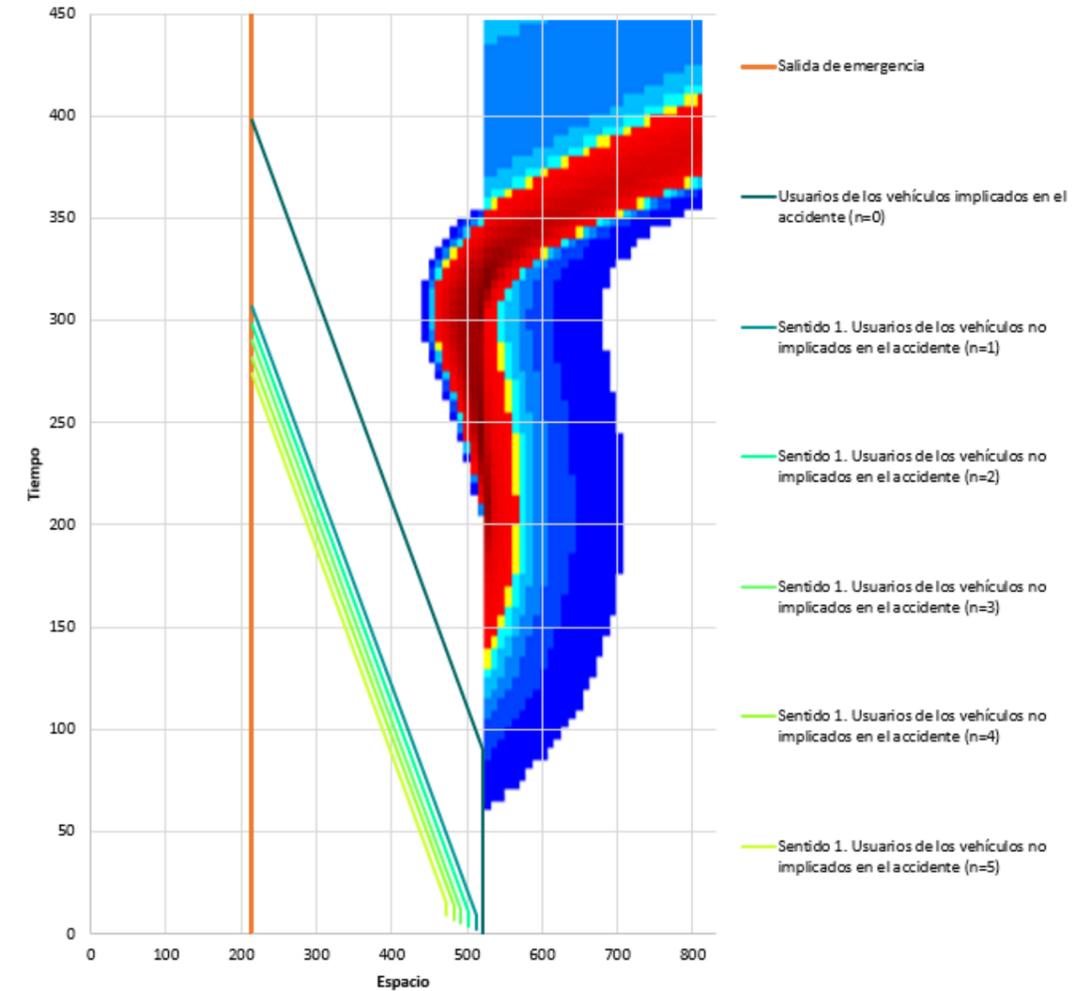


Ilustración 3.2.20. E2: Incendio de un vehículo pesado. 30 MW. Valores de opacidad (amarillo $k=0.4 \text{ m}^{-1}$)

La tabla anterior muestra los valores más representativos en el dominio de la longitud y el tiempo. La autoevacuación de todos los usuarios se produce de manera satisfactoria ya que la trayectoria de los mismos no se cruza con valores de opacidad de $0,4 \text{ m}^{-1}$ o mayores.

E3: Incendio de un vehículo ligero y un autocar. 15 MW

E3: Incendio de un vehículo ligero y un autocar. 15 MW				
Usuarios de los vehículos implicados en el accidente (n=0)				
	Tiempo	Espacio		Autobus 0
T10	0.00	522.00	S10	
T20	300.00	522.00	S20	
T30	608.00	214.00	S30	
Situación: Atrapado				
	Tiempo	Espacio		Ligero 0
T10	0.00	522.00	S10	
T20	90.00	522.00	S20	
T30	398.00	214.00	S30	
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=1)				
	Tiempo	Espacio		n 1
T11	1.73	512.00	S11	
T21	8.73	512.00	S21	
T31	306.73	214.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=2)				
	Tiempo	Espacio		n 2
T11	3.46	502.00	S11	
T21	10.46	502.00	S21	
T31	298.46	214.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=3)				
	Tiempo	Espacio		n 3
T11	5.19	492.00	S11	
T21	12.19	492.00	S21	
T31	290.19	214.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=4)				
	Tiempo	Espacio		n 4
T11	6.92	482.00	S11	
T21	13.92	482.00	S21	
T31	281.92	214.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=5)				

	Tiempo	Espacio		n 5
T11	8.66	472.00	S11	
T21	15.66	472.00	S21	
T31	273.66	214.00	S31	

¿Llega a entrar en el túnel? **Sí**
Situación: **No atrapado**

Tabla 3.2.48. E3: Incendio de un vehículo ligero y un autocar. 15 MW

E3: Incendio de un vehículo ligero y un autocar. 15 MW

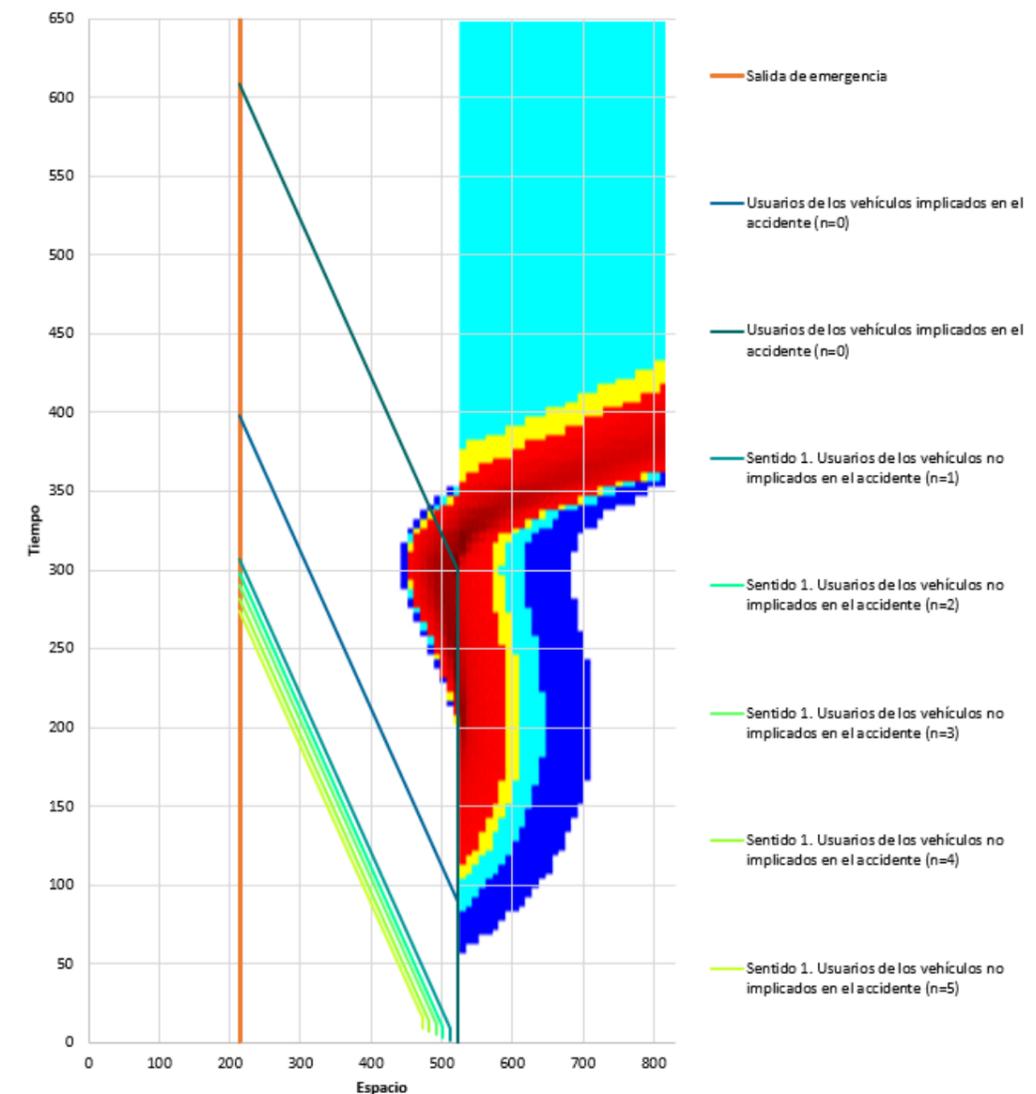


Ilustración 3.2.21. E3: Incendio de un vehículo ligero y un autocar. 15 MW. Valores de opacidad (amarillo $k=0.4 \text{ m}^{-1}$)

La tabla anterior muestra los valores más representativos en el dominio de la longitud y el tiempo. La autoevacuación de los usuarios del autobús implicado se produce de manera no satisfactoria ya que la trayectoria de los mismos se cruza con valores de opacidad de $0,4 \text{ m}^{-1}$ o mayores. Por otro lado, la evacuación del resto de usuarios se produce manera satisfactoria.

E4: Incendio de un vehículo pesado y un autocar. 30 MW

E4: Incendio de un vehículo pesado y un autocar. 30 MW				
Usuarios de los vehículos implicados en el accidente (n=0)				
	Tiempo	Espacio	S	Autobús
T10	0.00	522.00	S10	0
T20	300.00	522.00	S20	
T30	608.00	214.00	S30	
Situación: Atrapado				
	Tiempo	Espacio	S	Vehículo pesado
T10	0.00	522.00	S10	0
T20	90.00	522.00	S20	
T30	398.00	214.00	S30	
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=1)				
	Tiempo	Espacio	S	n
T11	1.73	512.00	S11	1
T21	8.73	512.00	S21	
T31	306.73	214.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=2)				
	Tiempo	Espacio	S	n
T11	3.46	502.00	S11	2
T21	10.46	502.00	S21	
T31	298.46	214.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=3)				
	Tiempo	Espacio	S	n
T11	5.19	492.00	S11	3
T21	12.19	492.00	S21	
T31	290.19	214.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=4)				
	Tiempo	Espacio	S	n
T11	6.92	482.00	S11	4
T21	13.92	482.00	S21	
T31	281.92	214.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				

Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=5)				
	Tiempo	Espacio	S	n
T11	8.66	472.00	S11	5
T21	15.66	472.00	S21	
T31	273.66	214.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				

Tabla 3.2.49. E4: Incendio de un vehículo pesado y un autocar. 30 MW

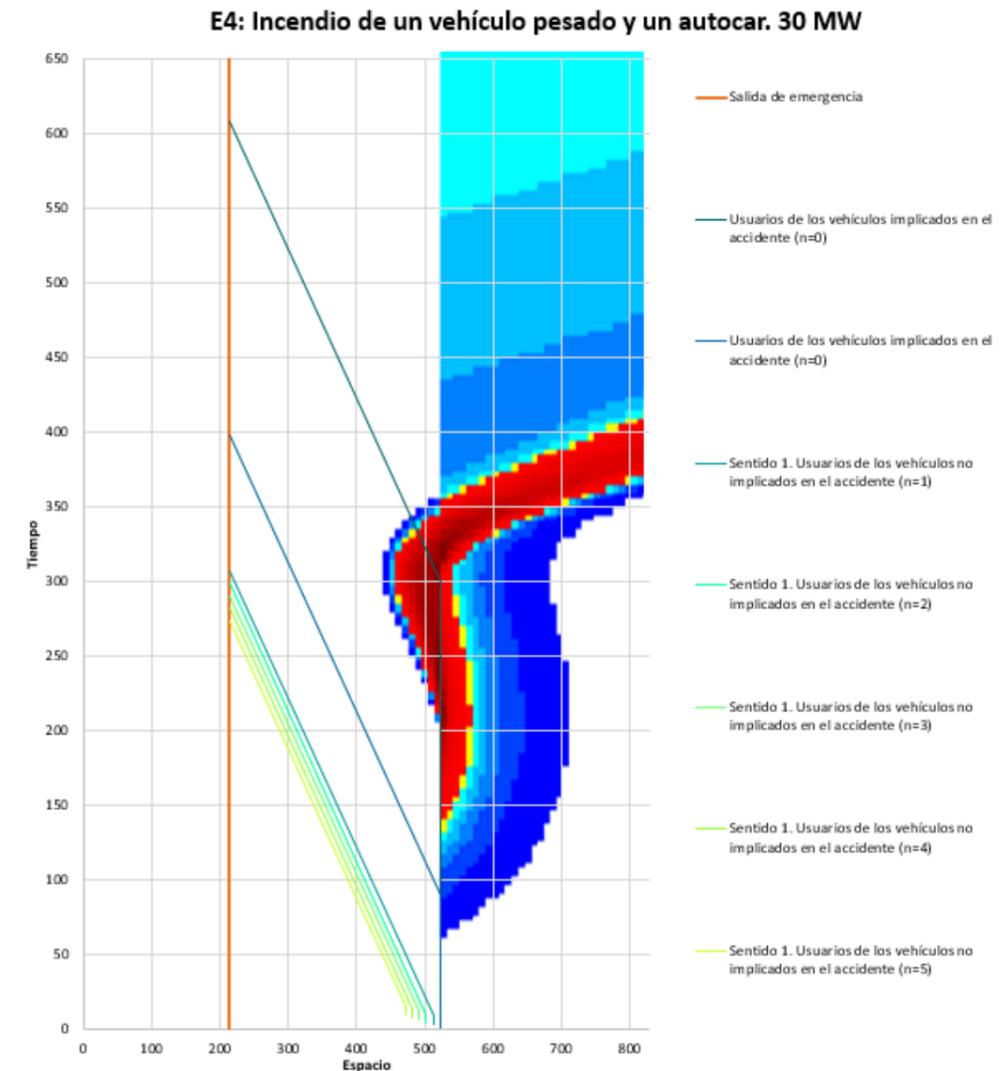


Ilustración 3.2.22. E4: Incendio de un vehículo pesado y un autocar. 30 MW

La tabla anterior muestra los valores más representativos en el dominio de la longitud y el tiempo. La autoevacuación de los usuarios del autobús implicado se produce de manera no satisfactoria ya que la trayectoria de los mismos se cruza con valores de opacidad de $0,4 \text{ m}^{-1}$ o mayores. Por otro lado, la evacuación del resto de usuarios se produce manera satisfactoria.

E5: Incendio de un vehículo de pesado. 100 MW

E5: Incendio de un vehículo pesado. 100 MW				
Usuarios de los vehículos implicados en el accidente (n=0)				
	Tiempo	Espacio		n 0
T10	0.00	522.00	S10	
T20	90.00	522.00	S20	
T30	398.00	214.00	S30	
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=1)				
	Tiempo	Espacio		n 1
T11	1.73	512.00	S11	
T21	8.73	512.00	S21	
T31	306.73	214.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=2)				
	Tiempo	Espacio		n 2
T11	3.46	502.00	S11	
T21	10.46	502.00	S21	
T31	298.46	214.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=3)				
	Tiempo	Espacio		n 3
T11	5.19	492.00	S11	
T21	12.19	492.00	S21	
T31	290.19	214.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=4)				
	Tiempo	Espacio		n 4
T11	6.92	482.00	S11	
T21	13.92	482.00	S21	
T31	281.92	214.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=5)				
	Tiempo	Espacio		n 5
T11	8.66	472.00	S11	
T21	15.66	472.00	S21	
T31	273.66	214.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				

Situación: No atrapado

Tabla 3.2.50. E5: Incendio de un vehículo de pesado.100 MW

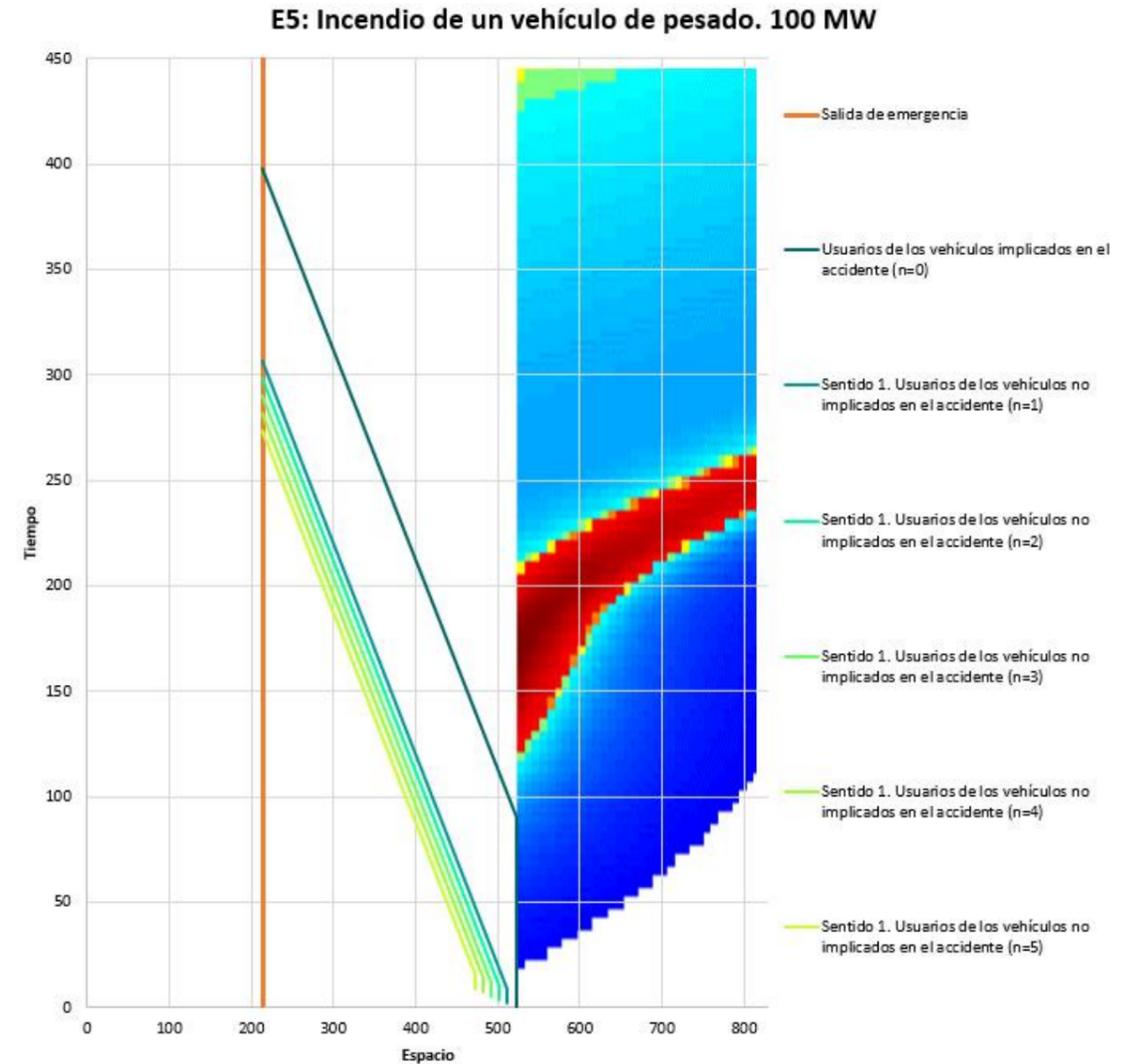


Ilustración 3.2.23 E5: Incendio de un vehículo de pesado. 100 MW

La tabla anterior muestra los valores más representativos en el dominio de la longitud y el tiempo. La autoevacuación de los usuarios implicados se produce de manera satisfactoria ya que la trayectoria no se cruza con valores de opacidad de 0,4 m⁻¹ o mayores.

A partir del análisis de los datos anteriores se procede a contabilizar las personas que se verían atrapadas en el interior del túnel, y que son aquellas que no pueden efectuar la auto-evacuación de forma satisfactoria siendo por tanto víctimas mortales del accidente.

En este caso, al haberse empleado el modelo de ventilación unidimensional, se considera que una persona queda atrapada en el túnel, siendo por tanto víctima del incendio correspondiente, cuando su trayectoria de huida se cruza con la franja de color amarilla de opacidad, correspondiente al valor de 0,4.

Así, el número de personas que podrían verse afectadas en cada uno de los escenarios analizados es el siguiente:

Escenarios	Por carril	Tubo	Accidente			Total	
	Congestión	Vehículos	Ligero	Pesado	Autocar	Personas	Personas
E1	0	0,00	0			0,00	0,00
E2	0	0,00		0		0,00	0,00
E3	0	0,00	0		1	30,00	30,00
E4	0	0,00		0	1	30,00	30,00
E5	0	0,00		0		0,00	0,00

Tabla 3.2.51. Recuento de personas afectadas para cada escenario

Aplicando a los valores obtenidos los modificadores por equipamiento y el factor corrector por IMD y vehículos pesados, la estimación de personas atrapadas y probabilidad de ocurrencia de cada uno de los escenarios se reflejan en las dos últimas columnas de la siguiente tabla:

Escenarios	FIMD	Drenaje	Puestos	Personas	Probabilidad
E1	3,95	1,00	0,90	0,00	0,00
E2	0,69	1,00	1,00	0,00	0,00
E3	0,10	1,00	0,95	28,50	2,78
E4	0,05	1,00	1,00	30,00	1,46
E5	0,09	1,00	1,00	0,00	0,00

Tabla 3.2.52. Probabilidad de ocurrencia de atrapamiento para cada escenario

El coeficiente de riesgo para el túnel real es:

CRTR	4,0753
-------------	---------------

Túnel virtual:

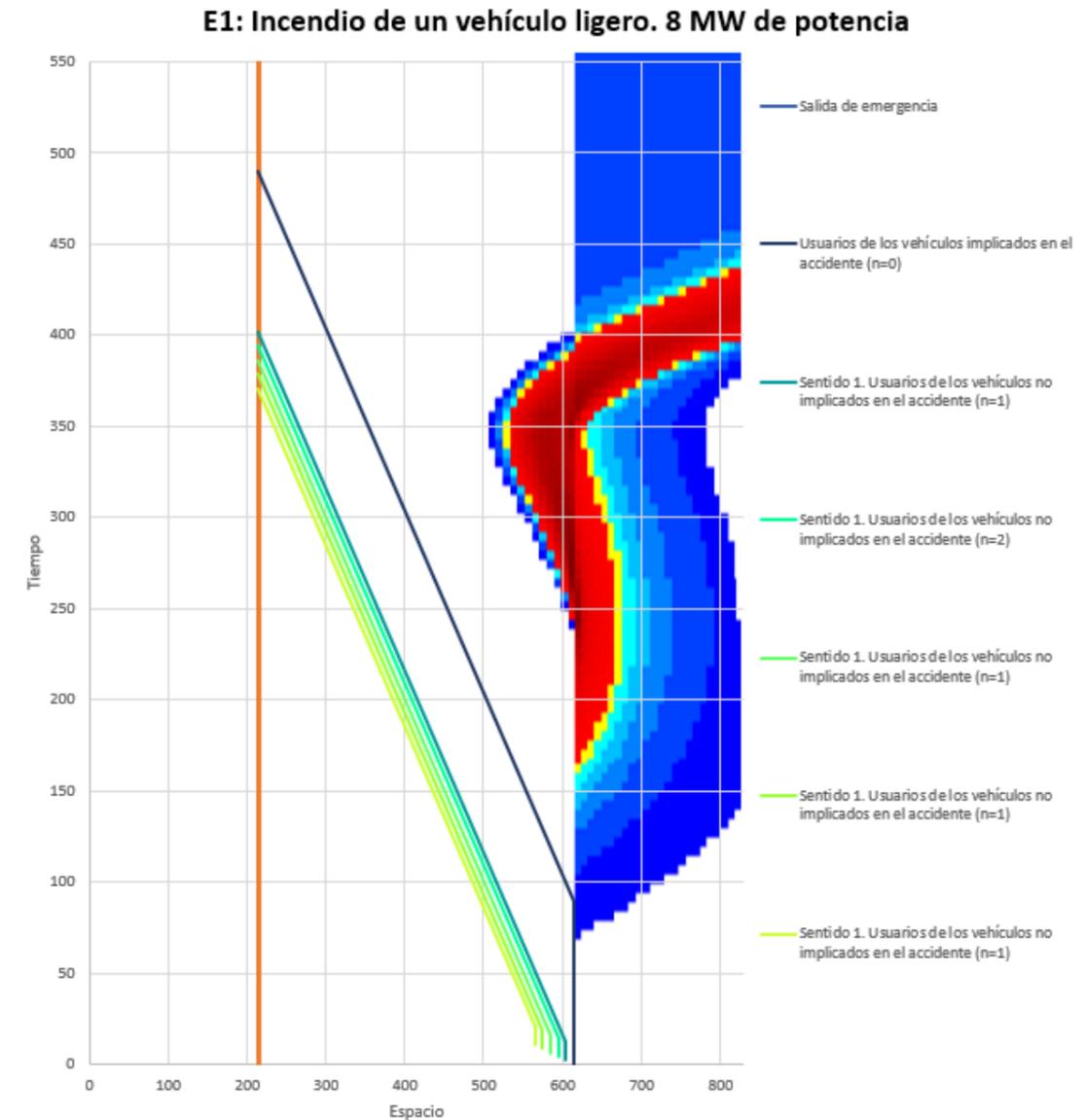
Se muestra la información más relevante para cada uno de los escenarios.

E1: Incendio de un vehículo ligero. 8 MW de potencia

E1: Incendio de un vehículo ligero. 8 MW de potencia				
Usuarios de los vehículos implicados en el accidente (n=0)				
	Tiempo	Espacio		n 0
T10	0.00	615.00	S10	
T20	90.00	615.00	S20	
T30	490.00	215.00	S30	
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=1)				
	Tiempo	Espacio		n 1
T11	2.14	605.00	S11	
T21	12.14	605.00	S21	
T31	402.14	215.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=2)				
	Tiempo	Espacio		n 2
T11	4.27	595.00	S11	
T21	14.27	595.00	S21	
T31	394.27	215.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=1)				
	Tiempo	Espacio		n 3
T11	6.41	585.00	S11	
T21	16.41	585.00	S21	
T31	386.41	215.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=1)				
	Tiempo	Espacio		n 4
T11	8.54	575.00	S11	
T21	18.54	575.00	S21	
T31	378.54	215.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=1)				
	Tiempo	Espacio		n 5
T11	10.68	565.00	S11	

T21	20.68	565.00	S21
T31	370.68	215.00	S31

¿Llega a entrar en el túnel? Sí
Situación: No atrapado

Tabla 3.2.53. E1: Incendio de un vehículo ligero. 8 MW de potencia

Ilustración 3.2.24. E1: Incendio de un vehículo ligero. 8 MW de potencia. Valores de opacidad (amarillo $k=0.4 \text{ m}^{-1}$)

La tabla anterior muestra los valores más representativos en el dominio de la longitud y el tiempo. La autoevacuación de todos los usuarios se produce de manera satisfactoria ya que la trayectoria de los mismos no se cruza con valores de opacidad de $0,4 \text{ m}^{-1}$ o mayores.

E2: Incendio de un vehículo pesado. 30 MW

E2: Incendio de un vehículo pesado. 30 MW				
Usuarios de los vehículos implicados en el accidente (n=0)				
	Tiempo	Espacio		n 0
T10	0.00	615.00	S10	
T20	90.00	615.00	S20	
T30	490.00	215.00	S30	
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=1)				
	Tiempo	Espacio		n 1
T11	2.14	605.00	S11	
T21	12.14	605.00	S21	
T31	402.14	215.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=2)				
	Tiempo	Espacio		n 2
T11	4.27	595.00	S11	
T21	14.27	595.00	S21	
T31	394.27	215.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=3)				
	Tiempo	Espacio		n 3
T11	6.41	585.00	S11	
T21	16.41	585.00	S21	
T31	386.41	215.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=4)				
	Tiempo	Espacio		n 4
T11	8.54	575.00	S11	
T21	18.54	575.00	S21	
T31	378.54	215.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=5)				
	Tiempo	Espacio		n 5
T11	10.68	565.00	S11	
T21	20.68	565.00	S21	
T31	370.68	215.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				

Situación: No atrapado

Tabla 3.2.54. E2: Incendio de un vehículo pesado. 30 MW

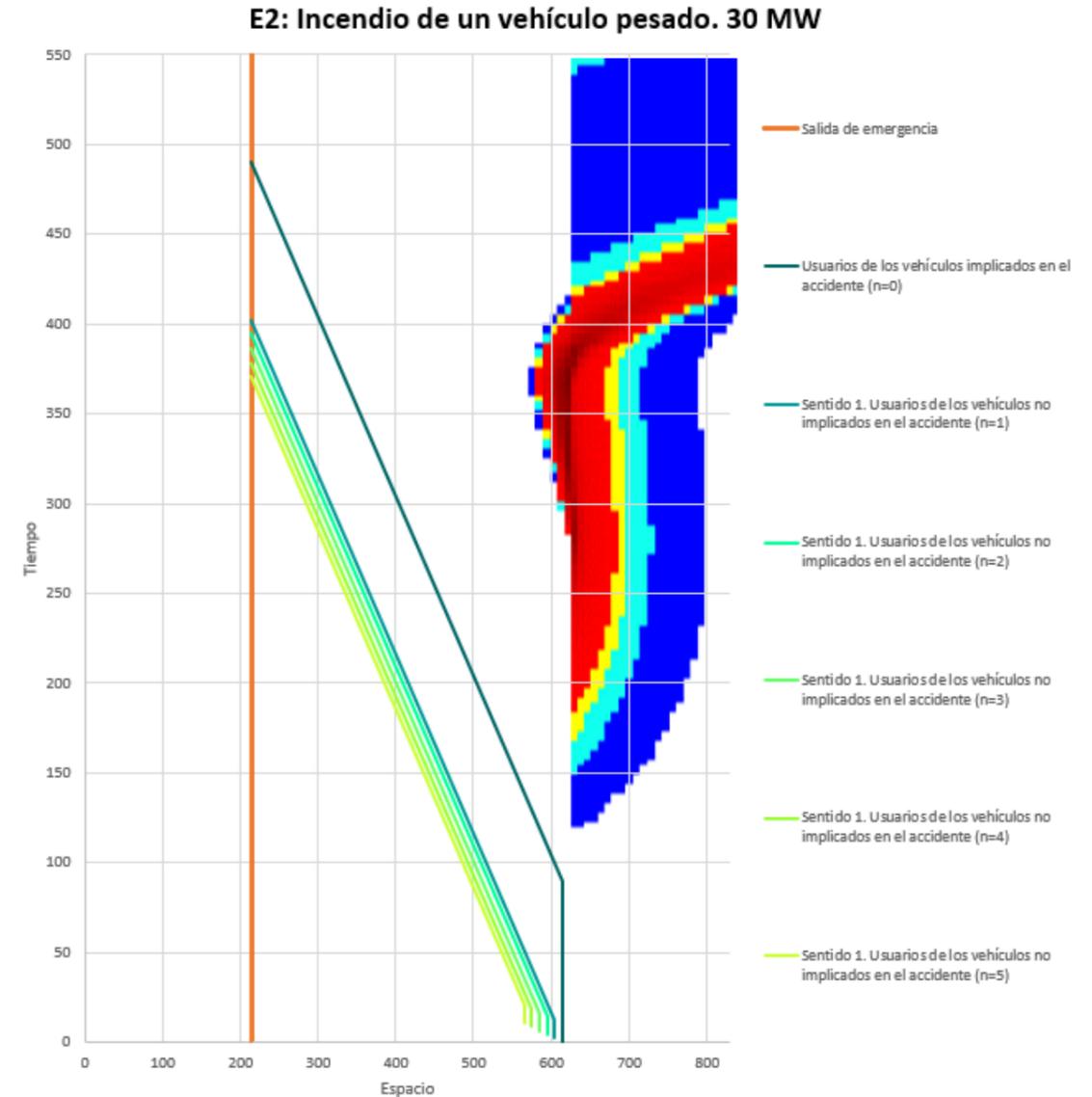


Ilustración 3.2.25. E2: Incendio de un vehículo pesado. 30 MW. Valores de opacidad (amarillo k=0.4 m⁻¹)

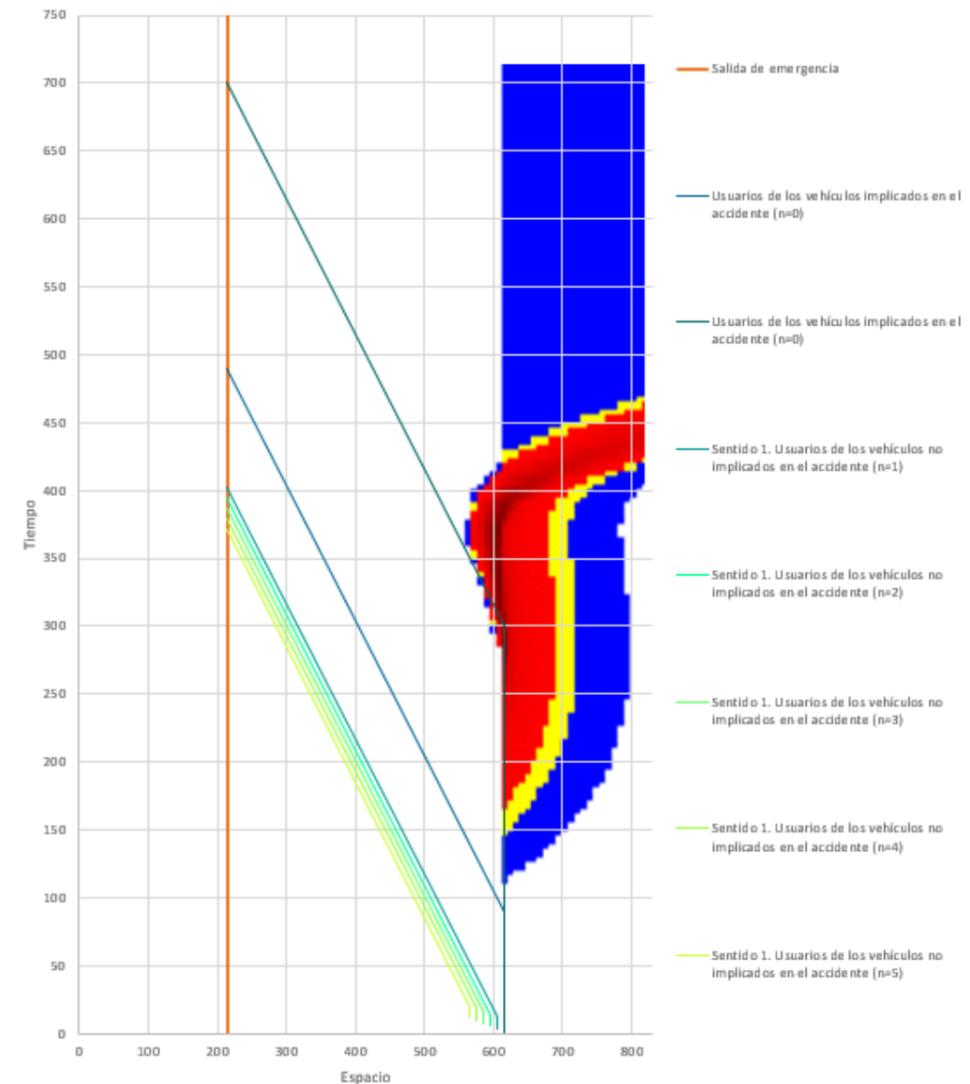
La tabla anterior muestra los valores más representativos en el dominio de la longitud y el tiempo. La autoevacuación de todos los usuarios se produce de manera satisfactoria ya que la trayectoria de los mismos no se cruza con valores de opacidad de 0,4 m⁻¹ o mayores.

E3: Incendio de un vehículo ligero y un autocar. 15 MW

E3: Incendio de un vehículo ligero y un autocar. 15 MW				
Usuarios de los vehículos implicados en el accidente (n=0)				
	Tiempo	Espacio		Autobus 0
T10	0.00	615.00	S10	
T20	300.00	615.00	S20	
T30	700.00	215.00	S30	
Situación: Atrapado				
	Tiempo	Espacio		Ligero 0
T10	0.00	615.00	S10	
T20	90.00	615.00	S20	
T30	490.00	215.00	S30	
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=1)				
	Tiempo	Espacio		n 1
T11	2.14	605.00	S11	
T21	12.14	605.00	S21	
T31	402.14	215.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=2)				
	Tiempo	Espacio		n 2
T11	4.27	595.00	S11	
T21	14.27	595.00	S21	
T31	394.27	215.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=3)				
	Tiempo	Espacio		n 3
T11	6.41	585.00	S11	
T21	16.41	585.00	S21	
T31	386.41	215.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=4)				
	Tiempo	Espacio		n 4
T11	8.54	575.00	S11	
T21	18.54	575.00	S21	
T31	378.54	215.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=5)				

	Tiempo	Espacio	n 5
T11	10.68	565.00	S11
T21	20.68	565.00	S21
T31	370.68	215.00	S31

¿Llega a entrar en el túnel? **Sí**
Situación: **No atrapado**

Tabla 3.2.55. E3: Incendio de un vehículo ligero y un autocar. 15 MW
E3: Incendio de un vehículo ligero y un autocar. 15 MW

Ilustración 3.2.26. E3: Incendio de un vehículo ligero y un autocar. 15 MW. Valores de opacidad (amarillo k=0.4 m⁻¹)

La tabla anterior muestra los valores más representativos en el dominio de la longitud y el tiempo. La autoevacuación de los usuarios del autobús implicado se produce de manera no satisfactoria ya que la trayectoria de los mismos se cruza con valores de opacidad de 0,4 m⁻¹ o mayores. Por otro lado, la evacuación del resto de usuarios se produce manera satisfactoria.

E4: Incendio de un vehículo pesado y un autocar. 30 MW

E4: Incendio de un vehículo pesado y un autocar. 30 MW				
Usuarios de los vehículos implicados en el accidente (n=0)				
	Tiempo	Espacio		Autobús 0
T10	0.00	615.00	S10	
T20	300.00	615.00	S20	
T30	700.00	215.00	S30	
Situación: Atrapado				
	Tiempo	Espacio		Vehículo pesado 0
T10	0.00	615.00	S10	
T20	90.00	615.00	S20	
T30	490.00	215.00	S30	
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=1)				
	Tiempo	Espacio		n 1
T11	2.14	605.00	S11	
T21	12.14	605.00	S21	
T31	402.14	215.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=2)				
	Tiempo	Espacio		n 2
T11	4.27	595.00	S11	
T21	14.27	595.00	S21	
T31	394.27	215.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=3)				
	Tiempo	Espacio		n 3
T11	6.41	585.00	S11	
T21	16.41	585.00	S21	
T31	386.41	215.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=4)				
	Tiempo	Espacio		n 4
T11	8.54	575.00	S11	
T21	18.54	575.00	S21	
T31	378.54	215.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=5)				

	Tiempo	Espacio		n 5
T11	10.68	565.00	S11	
T21	20.68	565.00	S21	
T31	370.68	215.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				

Tabla 3.2.56. E4: Incendio de un vehículo pesado y un autocar. 30 MW

E4: Incendio de un vehículo pesado y un autocar. 30 MW

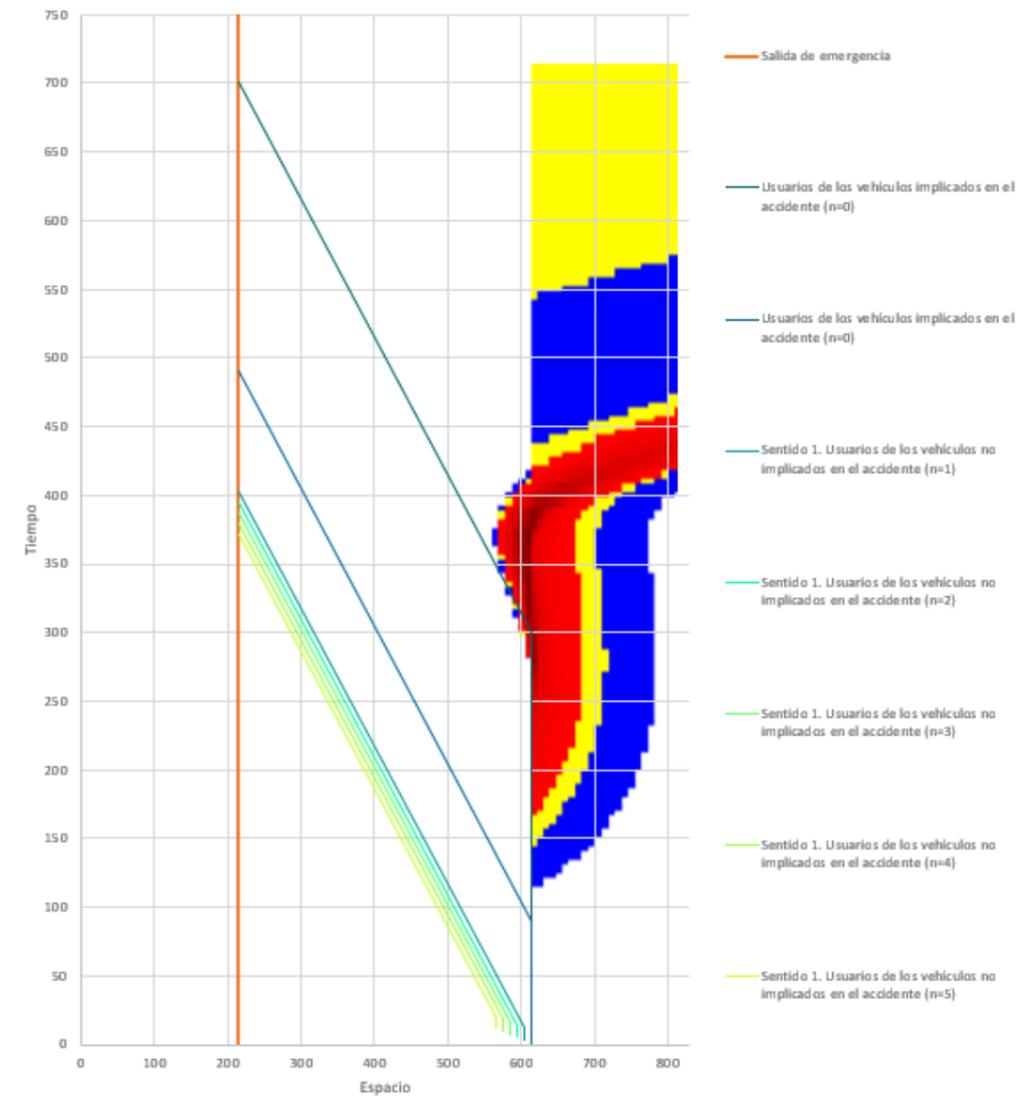


Ilustración 3.2.27. E4: Incendio de un vehículo pesado y un autocar. 30 MW

La tabla anterior muestra los valores más representativos en el dominio de la longitud y el tiempo. La autoevacuación de los usuarios del autobús implicado se produce de manera no satisfactoria ya que la trayectoria de los mismos se cruza con valores de opacidad de 0,4 m⁻¹ o mayores. Por otro lado, la evacuación del resto de usuarios se produce manera satisfactoria.

E5: Incendio de un vehículo de pesado. 100 MW

E5: Incendio de un vehículo pesado. 100 MW				
Usuarios de los vehículos implicados en el accidente (n=0)				
	Tiempo	Espacio		n 0
T10	0.00	615.00	S10	
T20	90.00	615.00	S20	
T30	490.00	215.00	S30	
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=1)				
	Tiempo	Espacio		n 1
T11	2.14	605.00	S11	
T21	12.14	605.00	S21	
T31	402.14	215.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=2)				
	Tiempo	Espacio		n 2
T11	4.27	595.00	S11	
T21	14.27	595.00	S21	
T31	394.27	215.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=3)				
	Tiempo	Espacio		n 3
T11	6.41	585.00	S11	
T21	16.41	585.00	S21	
T31	386.41	215.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=4)				
	Tiempo	Espacio		n 4
T11	8.54	575.00	S11	
T21	18.54	575.00	S21	
T31	378.54	215.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=5)				
	Tiempo	Espacio		n 5
T11	10.68	565.00	S11	
T21	20.68	565.00	S21	
T31	370.68	215.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				

Situación: No atrapado

Tabla 3.2.57. E5: Incendio de un vehículo de pesado.100 MW

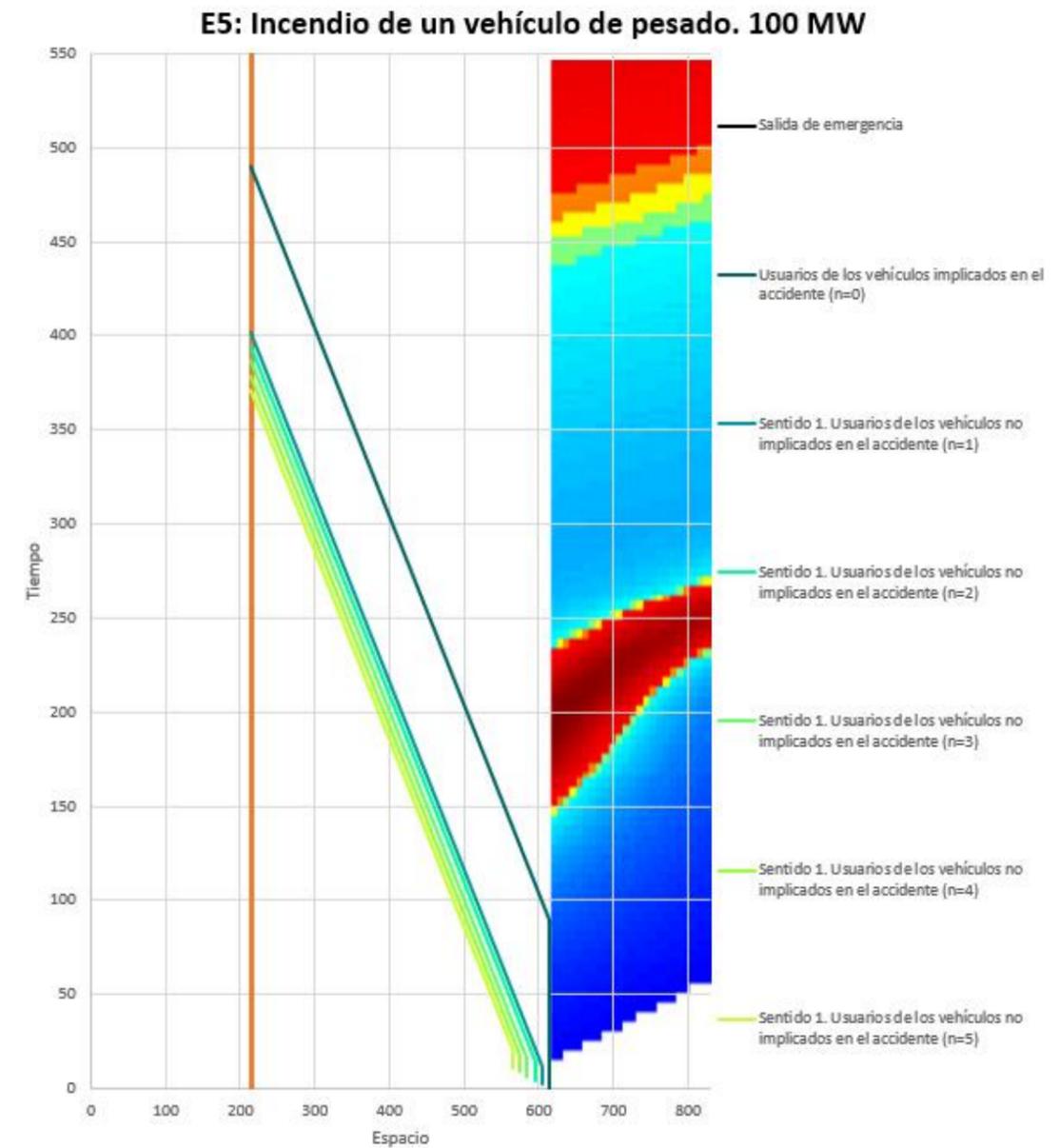


Ilustración 3.2.28 E5: Incendio de un vehículo de pesado. 100 MW

La tabla anterior muestra los valores más representativos en el dominio de la longitud y el tiempo. La autoevacuación de los usuarios implicados se produce de manera satisfactoria ya que la trayectoria no se cruza con valores de opacidad de 0,4 m⁻¹ o mayores.

En base al análisis de los escenarios, el número de vehículos y personas que se consideran atrapadas es el indicado en la tabla siguiente:

Escenario	Por carril	Tubos	Accidente				Total
	Congestión	Vehículos	Ligero	Pesado	Autocar	Personas	Personas
E1	0	0,00	0			0,00	0,00
E2	0	0,00		0		0,00	0,00
E3	0	0,00	0		1	30,00	30,00
E4	0	0,00		0	1	30,00	30,00
E5	0	0,00		0		0,00	0,00

Tabla 3.2.58. Recuento de personas afectadas para cada escenario

Aplicando a los valores obtenidos los modificadores por equipamiento y el factor corrector por IMD y vehículos pesados, la estimación de personas atrapadas y probabilidad de ocurrencia de cada uno de los escenarios se reflejan en las dos últimas columnas de la siguiente tabla:

Escenarios	FIMD	Drenaje	Puestos	Personas	Probabilidad
E1	3,49	1,00	0,90	0,00	0,00
E2	0,61	1,00	1,00	0,00	0,00
E3	0,09	1,00	0,95	28,50	2,45
E4	0,04	1,00	1,00	30,00	1,29
E5	0,08	1,00	1,00	0,00	0,00

Tabla 3.2.59. Probabilidad de ocurrencia de atrapamiento para cada escenario

CRTV	3,6514
------	--------

$$IR = \frac{4,0753}{3,6514} = 1,1161$$

El túnel se considera como **túnel seguro**, según los criterios de aceptación de la MARTE.

3.2.3. BRUC 3, SENTIDO LLEIDA (NUEVO TUBO)

Para un túnel unidireccional, **con salidas de emergencia en el túnel real y en el virtual**, la metodología de análisis de riesgo de la R.C.E. indica que el incendio se posicionará coincidiendo con una salida de emergencia, tanto para el túnel real como para el 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.

Túnel real. Teniendo en cuenta la longitud del túnel (725 m) y que sería un túnel de nueva proyección, para este anteproyecto se realiza el reparto de salidas de emergencia siguiendo la formulación del apartado 5.4. Por tanto, el túnel real y virtual tendrán la misma ubicación de salidas de emergencia y posicionamiento del incendio (362,5 m desde la boca de entrada), según la representación a continuación:

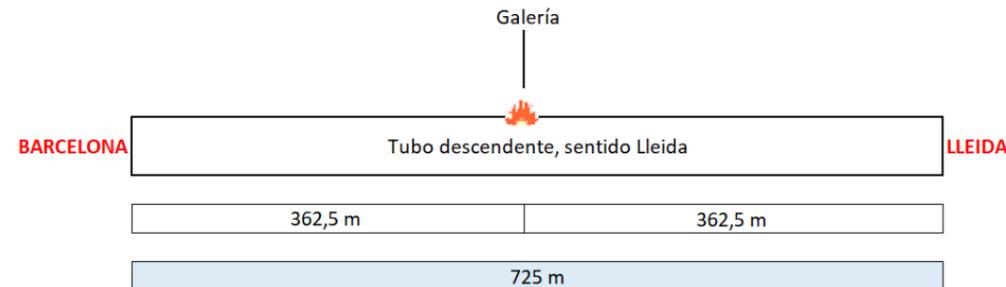


Ilustración 3.2.29. Croquis del posicionamiento del incendio para el túnel real y virtual

Para analizar este apartado, el túnel real ya está caracterizado en el apartado 3.1. Igualmente, para el túnel virtual, que servirá de comparación ideal, como aquel túnel de referencia con la misma longitud, número de carriles y tipo de circulación, que el túnel real y con la disposición de todo el equipamiento que para su categoría establece el Real Decreto 635/2006 (Tabla 2.2.1).

3.2.3.1. Modelo de riesgo del túnel

% Vehículos pesados	16,6 %
Ancho carril (m)	3,50
Ancho arcén derecho (m)	1,00
Ancho acera derecha (m)	0,75
Pendiente (%)	-3,00
Longitud (m)	725
Nº carriles	3

Tabla 3.2.60. Características geométricas y porcentaje de vehículos pesados

Las tablas en las que se basa el cálculo de los factores correctores se encuentran incluidas en el apartado 5:

Factor corrector del coeficiente de riesgo		FTR	FTV	
Fg	Factor de ponderación por criterios de diseño geométrico del túnel	Real	Virtual	Observaciones
FgCAR	Factor anchura de carriles	1,0000	1,0000	Ancho carril túnel real 3,5 m. Igual para túnel virtual
FgARC	Factor anchura arcén derecho	1,0000	1,0000	Ancho arcén túnel real 1,0 m. El túnel virtual tiene asignado 1 m de ancho.
FgAPA	Factor de existencia de apartaderos en el túnel	1,0500	1,0000	El túnel real no cuenta con apartaderos ni cumple las características del apartado 2.7 del RD 635/2006. En el túnel virtual si se consideran.
FgACE	Factor de existencia de aceras para evacuación	1,0000	1,0000	Ancho de acera del túnel real y túnel virtual 0,75 m.
FgPAV	Factor de tipo de pavimento	1,0000	1,0000	Pavimento de hormigón no existente y no exigido por ser longitud menor de 1000 m
FgPTE	Factor de pendiente longitudinal del túnel	1,0000	1,0000	Pendiente túnel real 3%. Túnel virtual tiene asignada una pendiente de 3%
FgREV	Factor de existencia revestimiento rígido del túnel	1,0000	1,0000	Túnel revestido
		1,0500	1,0000	

Tabla 3.2.61. Factores de ponderación por criterios de diseño geométrico del túnel

Factor corrector del coeficiente de riesgo		FTR	FTV	
Feq	Factor de ponderación por criterios de equipamiento del túnel	Real	Virtual	Observaciones
FeqSSEE	Factor de proximidad de los servicios de emergencia	1,2500	1,1500	Considerado en túnel real que la llegada de los servicios > 15 minutos. Túnel virtual entre 10 y 15 minutos
FeqCC	Factor de existencia de centro de control permanente y vigilado con posibilidad de control de accesos	0,9000	0,9000	Existente en túnel real y exigido según RD para túnel virtual
FeqOTR	Factor de otras mejoras sobre las dotaciones de seguridad mínimas exigidas en el Real Decreto 635/2006	0,9429	0,9429	El túnel real cuenta con cruce de mediana, doble suministro, red de hidrantes y sistema de radiocomunicación para SSEE. El túnel virtual cuenta con el mismo equipamiento En el apartado 5.2 se define mas detalladamente el criterio utilizado para valorar el factor de otras mejoras
		1,0607	0,9759	

Tabla 3.2.62. Factores de ponderación por criterios de equipamiento del túnel

Factor corrector del coeficiente de riesgo		FTR	FTV	
Fex	Factor de ponderación por criterios de explotación del túnel	Real	Virtual	Observaciones
FexAVP	Factor de permisividad o no de adelantamiento de vehículos pesados en túneles con más de un carril por sentido	0,8904	1,0000	Dispondrá ³⁰ de prohibición de adelantamiento, permitido en el túnel virtual.
FexRAD	Factor de existencia de sistemas de control de velocidad (radares), anunciados y con posibilidad de sanción, en los accesos o en el interior del túnel	1,0000	1,0000	No existe radar
		0,8904	1,0000	

Tabla 3.2.63. Factores de ponderación por criterios de explotación del túnel

Factor corrector del coeficiente de riesgo		FTR	FTV
Total =	Fg x Feq x Fex	0,9917	0,9759

Tabla 3.2.64. Factor corrector del índice de riesgo

Las probabilidades de ocurrencia de los distintos escenarios permanecen invariables para todo el estudio tanto en el túnel real como el virtual, y dependen de la IMD y del porcentaje de vehículos pesados esperados, que se considera un 16,60 % para el túnel real y para el túnel virtual:

	TÚNEL REAL	TÚNEL VIRTUAL
% Vehículos pesados	16,60 %	16,60 %
Autovia	0,9291	0,9291
IMD carril	11165,33	10451,66
FIMD autovia	4,9419	4,6477

Tabla 3.2.65. Información del tráfico

% de vehículos pesados	15 %	16,60 %	20 %	Autopista T REAL % con FIMD
Escenario	Probabilidades de ocurrencia (en tanto por uno)			
E1	0,6700	0,6412	0,5800	3,1687
E2	0,2500	0,2692	0,3100	1,3303
E3	0,0200	0,0200	0,0200	0,0988
E4	0,0100	0,0132	0,0200	0,0652
E5	0,0500	0,0564	0,0700	0,2787

Tabla 3.2.66. Probabilidades de ocurrencia de los escenarios para el túnel real

% de vehículos pesados	15 %	16,60 %	20 %	Autopista T VIRTUAL % con FIMD
Escenario	Probabilidades de ocurrencia (en tanto por uno)			
E1	0,6700	0,6412	0,5800	2,9801
E2	0,2500	0,2692	0,3100	1,2512
E3	0,0200	0,0200	0,0200	0,0930
E4	0,0100	0,0132	0,0200	0,0613
E5	0,0500	0,0564	0,0700	0,2621

Tabla 3.2.67. Probabilidades de ocurrencia de los escenarios para el túnel virtual

³⁰ Se considera que el nuevo tubo contará con señal de prohibición de adelantamiento de vehículos pesados.

3.2.3.2. Modelo de ventilación forzada

Se dimensiona un sistema de ventilación para el nuevo tubo, cumpliendo con lo establecido en el RD 635/2006 que indica que los sistemas de ventilación deberán poder extraer el humo para un incendio tipo con potencia mínima de 30W y caudal mínimo de humos de 120 m³/s. Este dimensionamiento se ha hecho teniendo en cuenta las premisas consideradas en el documento “Informe que sobre el proyecto de ventilación del nuevo túnel del Bruc presenta a la consideración de TYPESA el Centro de Modelado en Ingeniería Mecánica (CEMIM)”, de 2001. Los ventiladores dimensionados tendrán las siguientes características:

Modelo	Caudal (m ³ /s)	Velocidad aire (m/s)	Empuje (N)	Pot. Motor (kW)	Número
JZR 12-45/4	38,2	33,8	1.487	45	12 (2 x 6)

Tabla 3.2.68. Características de los ventiladores del sistema de ventilación

A continuación se muestran los sistemas simulados, tanto para el túnel real como para el túnel virtual, encontrándose el incendio en ambos en la salida de emergencia.



Ilustración 3.2.30. Representación de la simulación del incendio para el túnel real y virtual

Se define el funcionamiento del sistema de ventilación se define teniendo en cuenta la información del Manual de Explotación de los túneles del Bruc, revisión 05 con fecha de junio 2019. Se considera que el nuevo tubo tendrá el mismo funcionamiento.

- La detección de incendio se realiza por cable de detección . Por ello, se considerará el tiempo de detección del incendio como aquel tiempo en el que la temperatura alcance 55°C en la zona del incendio.
- Se considera un tiempo de confirmación del operario de 60 s.
- El tiempo de arranque de la primera pareja de ventilación (la más alejada del incendio) será el tiempo de detección más el tiempo de confirmación.
- A partir del arranque de la primera pareja, las siguientes parejas se irán encendiendo cada 10 s.
- Se considera una rampa de 40 s para llegar al 100% del funcionamiento del ventilador.
- La pareja más cercana al incendio no se enciende, considerándose de reserva.

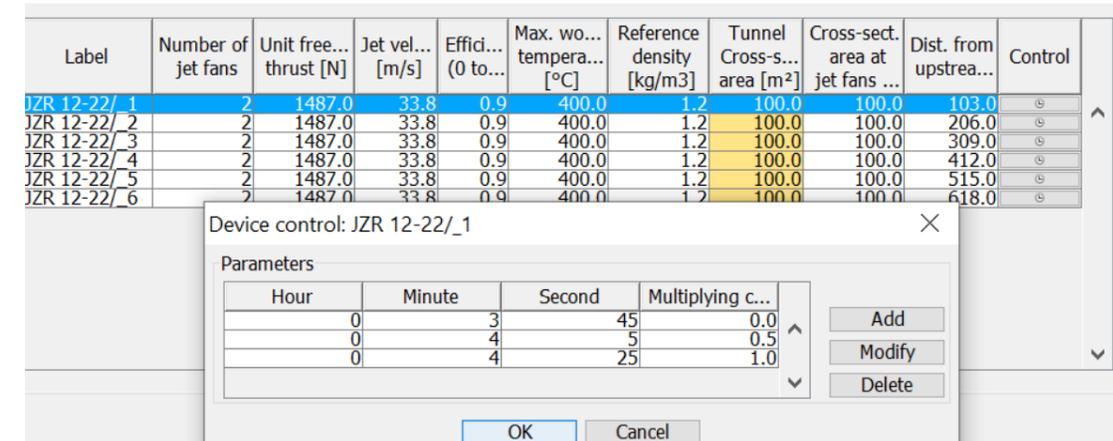


Ilustración 3.2.31. Ejemplo de funcionamiento del sistema de ventilación

Los datos empleados en el software CAMATT han sido los siguientes:

TÚNEL ANALIZADO

- Bruc 3

DATOS MEDIOAMBIENTALES

- Altitud media (m): 522
- Temperatura ambiente en el interior del túnel (°C): 15,0
- Densidad del aire (kg/m3): 1,2
- Coeficiente de convección mínimo: 5 W/(m²·K)
- Coeficiente de convección máximo: 50 W/(m²·K)
- Emisividad de la pared: 0,7

TRÁFICO, DATOS DE LOS VEHÍCULOS

- Proporción de vehículos pesados en el túnel real y virtual (%): 16,60
- Sigma Cx para coches (m²): 0,90
- Sigma Cx para pesados (m²): 4,55
- Distancia entre vehículos parados (m): 10,00

SECCIÓN DEL TÚNEL

- Longitud sección (m): 725
- Pendiente sección (%): -3,00
- Área de la sección transversal para el túnel real y virtual(m²): 100
- Perímetro para el túnel real y virtual(m): 39,54
- Coeficiente de fricción: 0,020
- Revestimiento: Hormigón
- Número de carriles por sentido: 3

TRÁFICO

- Dirección del tráfico: Unidireccional

- Velocidad máxima túnel real (km/h): 80
- Velocidad máxima túnel virtual (km/h): 100
- Intensidad horaria túnel real (veh/h): 5.024,4
- Intensidad horaria túnel virtual (veh/h): 4.703,25

PRESIÓN EXTERIOR EN LAS BOCAS

Para establecer las presiones en bocas, se ha tomado como punto de partida las pérdidas de carga provocadas por la resistencia al viento exterior. La información de viento proporcionado por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía.

Se considera 5,5 m/s como velocidad para el cálculo de la presión para mantener el análisis del lado de la seguridad. En todo caso, se deben considerar condiciones atmosféricas que favorezcan el flujo del humo en sentido contrario al de circulación, de acuerdo al punto 4.3.2 de la Metodología de Análisis de Riesgo en Túneles de la R.C.E.

Para el establecimiento de la presión, se toma el valor resultado de considerar 5,5 m/s y se introduce en Camatt. A continuación, se simula el escenario 4 definido en MARTE y de potencia 30 MW, valor de potencia que se corresponde al requerido en el RD 635/2006. Se observa la gráfica de opacidad para ver si se obtiene el flujo de humo comentado con anterioridad. En este caso se produce, por lo tanto se considera el valor de presión inicial.

En consecuencia, en este caso, al ser el tubo descendente y debido a las condiciones meteorológicas y al tráfico del mismo, se ha considerado el escenario en el que la presión en la boca de cota más baja (18 Pa) será mayor que en la boca de cota más alta (0 Pa)

- Boca de entrada (Pa): 0 Pa
- Boca de salida (Pa): 18 Pa

POSICIÓN DEL FUEGO

- Distancia desde la boca de entrada del túnel real y virtual (m): 362,5

TIEMPO DE DETECCIÓN

Según lo comentado anteriormente, el tiempo de detección corresponde al tiempo en que la temperatura del aire del túnel llega a los 55 °C en la zona del incendio. Se obtienen los siguientes tiempos de detección:

	Tiempo de detección (s)	
	Túnel real	Túnel virtual
Escenario 1	165	175
Escenario 2	155	165
Escenario 3	155	165
Escenario 4	155	165
Escenario 5	140	150

Tabla 3.2.69. Tiempos de detección
3.2.3.3. Modelo de comportamiento de usuarios

Se indican a continuación los datos de régimen de circulación libre y de congestión.

Régimen de circulación libre túnel real	
Longitud túnel	725 m
Velocidad circulación ³¹	80 km/h
	22,22 m/s
IMD	1165,33 Veh /día/carril
Intensidad	0,47 veh/s/carril
N (Número de vehículos presentes en túnel por carril)	15,178 veh/carril

Tabla 3.2.70. Régimen de circulación libre del túnel real

Régimen de circulación libre túnel virtual	
Longitud túnel	725 m
Velocidad circulación ³²	100 km/h
	27,78 m/s
IMD	10451,66 Veh /día/carril
Intensidad	0,44 veh/s/carril
N (Número de vehículos presentes en túnel por carril)	11,366 veh/carril

Tabla 3.2.71. Régimen de circulación libre del túnel virtual

³¹ Se considera que la velocidad de circulación será la misma que para los tubos Bruc 1 y Bruc 2.

³² Se considera una velocidad de 100 km/h en el túnel virtual en base al apartado 2.14.3 del Anexo I del RD 635/2006.

Congestión túnel real	
Velocidad crecimiento	5,88 m/s (aguas arriba)
Distancia boca – fuego	362,5 m
Longitud a recorrer hasta la salida más próxima	362,5 m
Tiempo de remonte	61,61 s

Tabla 3.2.72. Congestión del túnel real

Congestión túnel virtual	
Velocidad crecimiento	5,16 m/s (aguas arriba)
Distancia boca – fuego	362,5 m
Longitud a recorrer hasta la salida más próxima	362,5 m
Tiempo de remonte	70,19 s

Tabla 3.2.73. Congestión del túnel virtual

Sobre los gráficos de autoevacuación calculados se superponen las gráficas de evolución de la opacidad de los humos a lo largo del túnel en función del tiempo, obtenidos mediante el software de modelización unidimensional CAMATT.

Se consideran afectados todos aquellos usuarios pertenecientes a las trayectorias que coinciden con un nivel de opacidad de los humos superior o igual a $0,4 \text{ m}^{-1}$ (zona amarilla de la gráfica).

El tiempo de reacción de los restantes usuarios no implicados desde que llegan a la cola de vehículos o ven a un usuario de otro vehículo evacuando es de 7 segundos para el túnel real que dispone de paneles de señalización variable en el interior y en el exterior, centro de control con CCTV y DAI. Mientras que en el túnel virtual será de 10 segundos por contar con megafonía, centro de control con CCTV y DAI.

Debido al equipamiento del túnel real y virtual, se produce el cierre del túnel a los 180 segundos, impidiendo la entrada de usuarios, al contar con semáforos, barreras, centro de control y DAI.

Túnel real:

Se muestra la información más relevante para cada uno de los escenarios.

E1: Incendio de un vehículo ligero. 8 MW de potencia

E1: Incendio de un vehículo ligero. 8 MW de potencia			
Usuarios de los vehículos implicados en el accidente (n=0)			
	Tiempo	Espacio	n
T10	0.00	362.50 S10	0
T20	90.00	362.50 S20	
T30	452.50	0.00 S30	
Situación: No atrapado			
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=1)			
	Tiempo	Espacio	n
T11	1.70	352.50 S11	1
T21	8.70	352.50 S21	
T31	361.20	0.00 S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí			
Situación: No atrapado			
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=2)			
	Tiempo	Espacio	n
T11	3.40	342.50 S11	2
T21	10.40	342.50 S21	
T31	352.90	0.00 S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí			
Situación: No atrapado			
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=3)			
	Tiempo	Espacio	n
T11	5.10	332.50 S11	3
T21	12.10	332.50 S21	
T31	344.60	0.00 S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí			
Situación: No atrapado			
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=4)			
	Tiempo	Espacio	n
T11	6.80	322.50 S11	4
T21	13.80	322.50 S21	
T31	336.30	0.00 S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí			
Situación: No atrapado			
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=5)			
	Tiempo	Espacio	n
T11	8.50	312.50 S11	5

T21	15.50	312.50	S21
T31	328.00	0.00	S31
¿Llega a entrar en el túnel? Sí			
Situación: No atrapado			

Tabla 3.2.74. E1: Incendio de un vehículo ligero. 8 MW de potencia

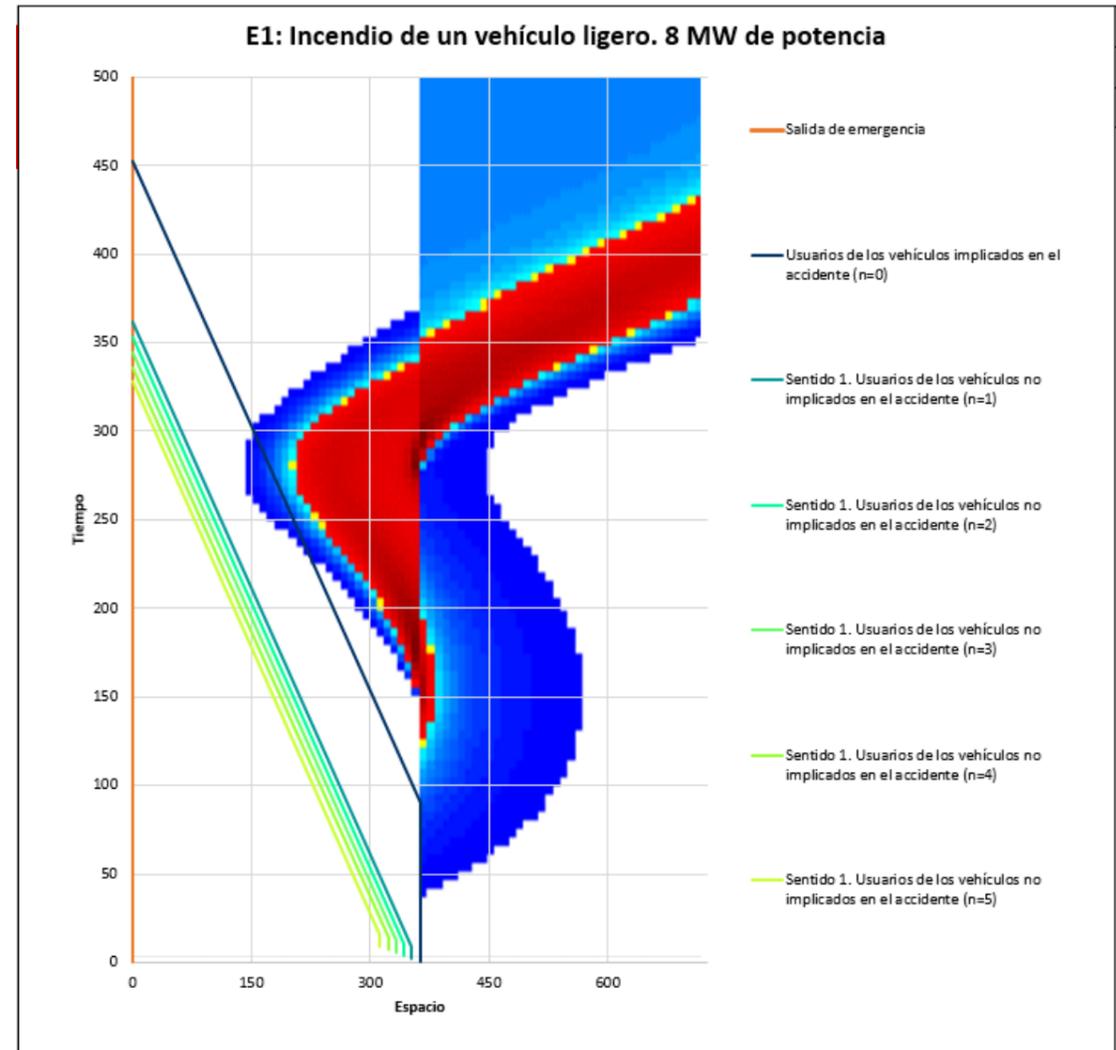


Ilustración 3.2.32. E1: Incendio de un vehículo ligero. 8 MW de potencia. Valores de opacidad (amarillo $k=0.4 \text{ m}^{-1}$)

La tabla anterior muestra los valores más representativos en el dominio de la longitud y el tiempo. La autoevacuación de todos los usuarios se produce de manera satisfactoria ya que la trayectoria de los mismos no se cruza con valores de opacidad de $0,4 \text{ m}^{-1}$ o mayores.

E2: Incendio de un vehículo pesado. 30 MW

E2: Incendio de un vehículo pesado. 30 MW				
Usuarios de los vehículos implicados en el accidente (n=0)				
	Tiempo	Espacio		n 0
T10	0.00	362.50	S10	
T20	90.00	362.50	S20	
T30	452.50	0.00	S30	
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=1)				
	Tiempo	Espacio		n 1
T11	1.70	352.50	S11	
T21	8.70	352.50	S21	
T31	361.20	0.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=2)				
	Tiempo	Espacio		n 2
T11	3.40	342.50	S11	
T21	10.40	342.50	S21	
T31	352.90	0.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=3)				
	Tiempo	Espacio		n 3
T11	5.10	332.50	S11	
T21	12.10	332.50	S21	
T31	344.60	0.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=4)				
	Tiempo	Espacio		n 4
T11	6.80	322.50	S11	
T21	13.80	322.50	S21	
T31	336.30	0.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=5)				
	Tiempo	Espacio		n 5
T11	8.50	312.50	S11	
T21	15.50	312.50	S21	
T31	328.00	0.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				

Situación: No atrapado
 Tabla 3.2.75. E2: Incendio de un vehículo pesado. 30 MW

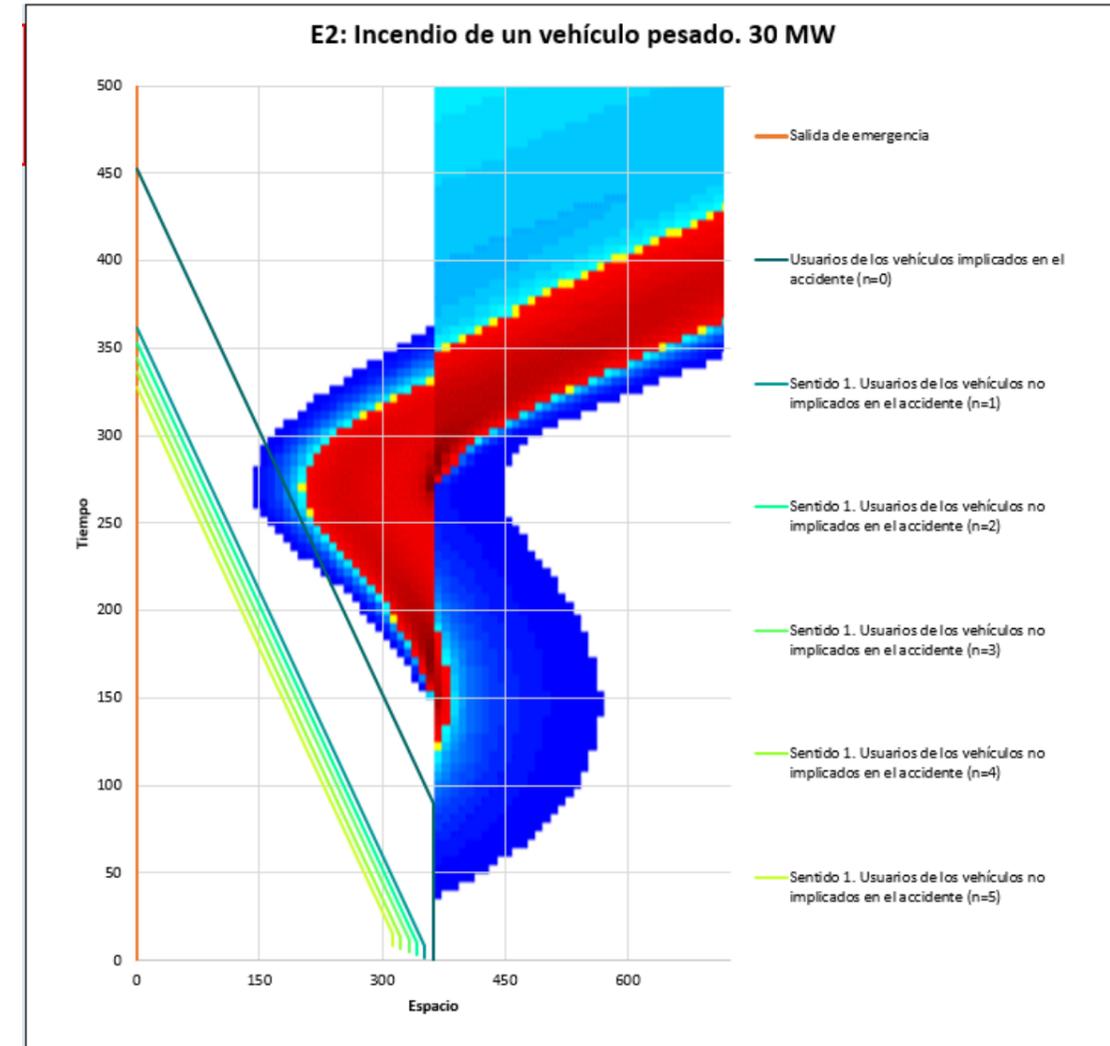


Ilustración 3.2.33. E2: Incendio de un vehículo pesado. 30 MW. Valores de opacidad (amarillo $k=0.4 \text{ m}^{-1}$)

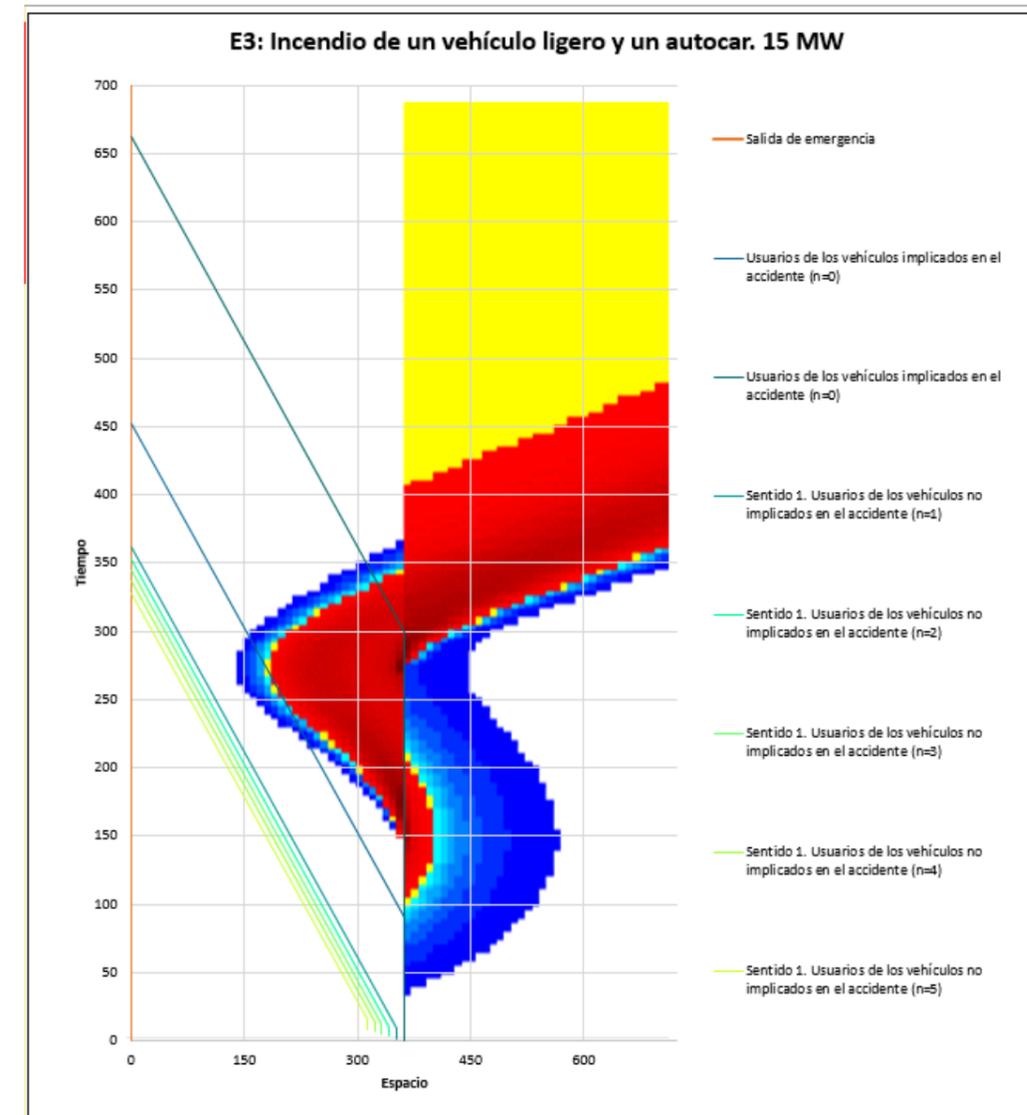
La tabla anterior muestra los valores más representativos en el dominio de la longitud y el tiempo. La autoevacuación de todos los usuarios se produce de manera satisfactoria ya que la trayectoria de los mismos no se cruza con valores de opacidad de $0,4 \text{ m}^{-1}$ o mayores.

E3: Incendio de un vehículo ligero y un autocar. 15 MW

E3: Incendio de un vehículo ligero y un autocar. 15 MW				
Usuarios de los vehículos implicados en el accidente (n=0)				
	Tiempo	Espacio		Autobus 0
T10	0.00	362.50	S10	
T20	300.00	362.50	S20	
T30	662.50	0.00	S30	
Situación: Atrapado				
	Tiempo	Espacio		Ligero 0
T10	0.00	362.50	S10	
T20	90.00	362.50	S20	
T30	452.50	0.00	S30	
Situación: Atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=1)				
	Tiempo	Espacio		n 1
T11	1.70	352.50	S11	
T21	8.70	352.50	S21	
T31	361.20	0.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=2)				
	Tiempo	Espacio		n 2
T11	3.40	342.50	S11	
T21	10.40	342.50	S21	
T31	352.90	0.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=3)				
	Tiempo	Espacio		n 3
T11	5.10	332.50	S11	
T21	12.10	332.50	S21	
T31	344.60	0.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=4)				
	Tiempo	Espacio		n 4
T11	6.80	322.50	S11	
T21	13.80	322.50	S21	
T31	336.30	0.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=5)				

	Tiempo	Espacio	n 5
T11	8.50	312.50	S11
T21	15.50	312.50	S21
T31	328.00	0.00	S31

¿Llega a entrar en el túnel? Sí
Situación: **No atrapado**

Tabla 3.2.76. E3: Incendio de un vehículo ligero y un autocar. 15 MW

Ilustración 3.2.34. E3: Incendio de un vehículo ligero y un autocar. 15 MW. Valores de opacidad (amarillo k=0.4 m⁻¹)

La tabla anterior muestra los valores más representativos en el dominio de la longitud y el tiempo. La autoevacuación de los usuarios del autobús implicado y del vehículo ligero se produce de manera no satisfactoria ya que la trayectoria de los mismos se cruza con valores de opacidad de 0,4 m⁻¹ o mayores. Por otro lado, la evacuación del resto de usuarios se produce manera satisfactoria.

E4: Incendio de un vehículo pesado y un autocar. 30 MW

E4: Incendio de un vehículo pesado y un autocar. 30 MW				
Usuarios de los vehículos implicados en el accidente (n=0)				
	Tiempo	Espacio	Autobús	0
T10	0.00	362.50	S10	
T20	300.00	362.50	S20	
T30	662.50	0.00	S30	
Situación: Atrapado				
	Tiempo	Espacio	Vehículo pesado	0
T10	0.00	362.50	S10	
T20	90.00	362.50	S20	
T30	452.50	0.00	S30	
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=1)				
	Tiempo	Espacio		n 1
T11	1.70	352.50	S11	
T21	8.70	352.50	S21	
T31	361.20	0.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=2)				
	Tiempo	Espacio		n 2
T11	3.40	342.50	S11	
T21	10.40	342.50	S21	
T31	352.90	0.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=3)				
	Tiempo	Espacio		n 3
T11	5.10	332.50	S11	
T21	12.10	332.50	S21	
T31	344.60	0.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=4)				
	Tiempo	Espacio		n 4
T11	6.80	322.50	S11	
T21	13.80	322.50	S21	
T31	336.30	0.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=5)				

	Tiempo	Espacio		n 5
T11	8.50	312.50	S11	
T21	15.50	312.50	S21	
T31	328.00	0.00	S31	

¿Llega a entrar en el túnel? **Sí**
Situación: **No atrapado**

Tabla 3.2.77. E4: Incendio de un vehículo pesado y un autocar. 30 MW

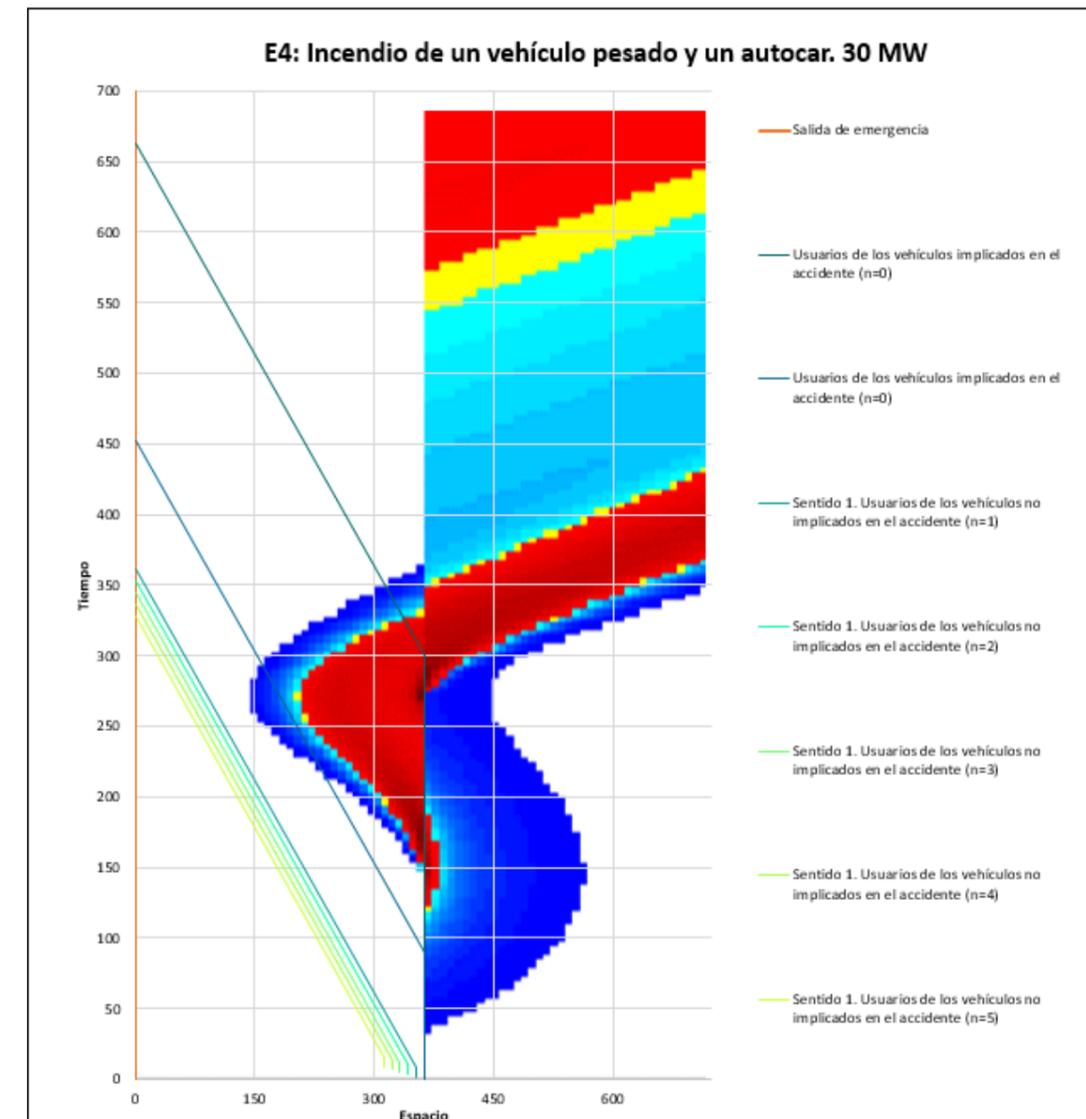


Ilustración 3.2.35. E4: Incendio de un vehículo pesado y un autocar. 30 MW

La tabla anterior muestra los valores más representativos en el dominio de la longitud y el tiempo. La autoevacuación de los usuarios del autobús implicado se produce de manera no satisfactoria ya que la trayectoria de los mismos se cruza con valores de opacidad de $0,4 \text{ m}^{-1}$ o mayores. Por otro lado, la evacuación del resto de usuarios se produce manera satisfactoria.

E5: Incendio de un vehículo de pesado. 100 MW

E5: Incendio de un vehículo pesado. 100 MW				
Usuarios de los vehículos implicados en el accidente (n=0)				
	Tiempo	Espacio		n 0
T10	0.00	362.50	S10	
T20	90.00	362.50	S20	
T30	452.50	0.00	S30	
Situación: Atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=1)				
	Tiempo	Espacio		n 1
T11	1.70	352.50	S11	
T21	8.70	352.50	S21	
T31	361.20	0.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=2)				
	Tiempo	Espacio		n 2
T11	3.40	342.50	S11	
T21	10.40	342.50	S21	
T31	352.90	0.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=3)				
	Tiempo	Espacio		n 3
T11	5.10	332.50	S11	
T21	12.10	332.50	S21	
T31	344.60	0.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=4)				
	Tiempo	Espacio		n 4
T11	6.80	322.50	S11	
T21	13.80	322.50	S21	
T31	336.30	0.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=5)				
	Tiempo	Espacio		n 5
T11	8.50	312.50	S11	
T21	15.50	312.50	S21	
T31	328.00	0.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				

Situación: No atrapado

Tabla 3.2.78. E5: Incendio de un vehículo de pesado.100 MW

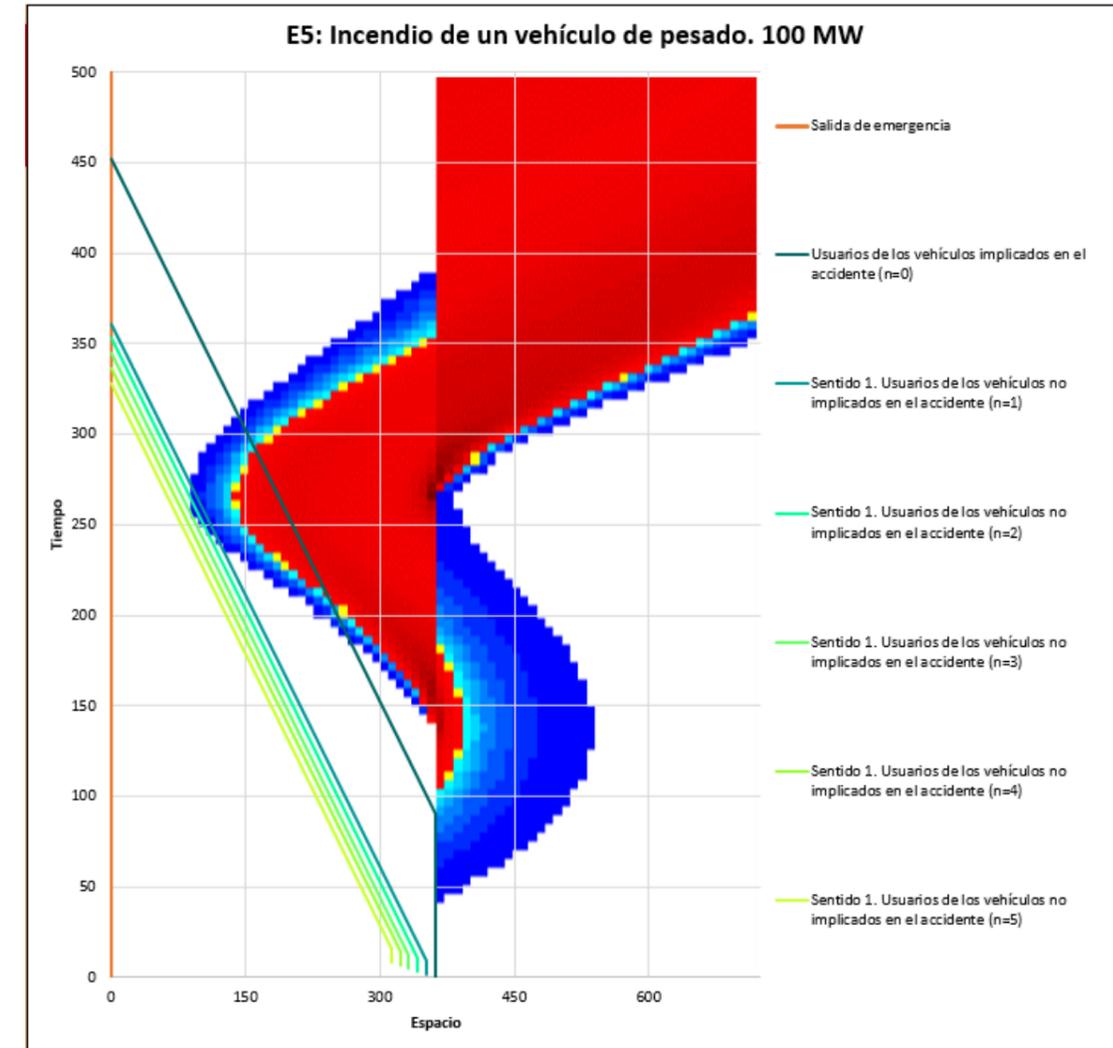


Ilustración 3.2.36 E5: Incendio de un vehículo de pesado. 100 MW

La tabla anterior muestra los valores más representativos en el dominio de la longitud y el tiempo. La autoevacuación de los usuarios implicados se produce de manera satisfactoria ya que la trayectoria no se cruza con valores de opacidad de $0,4 \text{ m}^{-1}$ o mayores. Por otro lado, la evacuación de los usuarios no implicados se produce manera satisfactoria.

A partir del análisis de los datos anteriores se procede a contabilizar las personas que se verían atrapadas en el interior del túnel, y que son aquellas que no pueden efectuar la auto-evacuación de forma satisfactoria siendo por tanto víctimas mortales del accidente.

En este caso, al haberse empleado el modelo de ventilación unidimensional, se considera que una persona queda atrapada en el túnel, siendo por tanto víctima del incendio correspondiente, cuando su trayectoria de huida se cruza con la franja de color amarilla de opacidad, correspondiente al valor de 0,4.

Así, el número de personas que podrían verse afectadas en cada uno de los escenarios analizados es el siguiente:

Escenarios	Por carril	Tubo	Accidente			Total	
	Congestión	Personas	Ligero	Pesado	Autocar	Personas	Personas
E1	0	0,00	0			0,00	0,00
E2	0	0,00		0		0,00	0,00
E3	0	0,00	1		1	31,50	31,50
E4	0	0,00		0	1	30,00	30,00
E5	0	0,00		1		1,00	1,00

Tabla 3.2.79. Recuento de personas afectadas para cada escenario

Aplicando a los valores obtenidos los modificadores por equipamiento y el factor corrector por IMD y vehículos pesados, la estimación de personas atrapadas y probabilidad de ocurrencia de cada uno de los escenarios se reflejan en las dos últimas columnas de la siguiente tabla:

Escenarios	FIMD	Drenaje	Puestos	Personas	Probabilidad
E1	3,17	1,00	0,90	0,00	0,00
E2	1,33	1,00	1,00	0,00	0,00
E3	0,10	1,00	0,95	29,93	2,96
E4	0,07	1,00	1,00	30,00	1,96
E5	0,28	1,00	1,00	1,00	0,28

Tabla 3.2.80. Probabilidad de ocurrencia de atrapamiento para cada escenario

El coeficiente de riesgo para el túnel real es:

CRTR	5,1502
------	--------

Túnel virtual:

Se muestra la información más relevante para cada uno de los escenarios.

E1: Incendio de un vehículo ligero. 8 MW de potencia

E1: Incendio de un vehículo ligero. 8 MW de potencia				
Usuarios de los vehículos implicados en el accidente (n=0)				
	Tiempo	Espacio		n 0
T10	0.00	362.50	S10	
T20	90.00	362.50	S20	
T30	452.50	0.00	S30	
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=1)				
	Tiempo	Espacio		n 1
T11	1.94	352.50	S11	
T21	11.94	352.50	S21	
T31	364.44	0.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=2)				
	Tiempo	Espacio		n 2
T11	3.87	342.50	S11	
T21	13.87	342.50	S21	
T31	356.37	0.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=1)				
	Tiempo	Espacio		n 3
T11	5.81	332.50	S11	
T21	15.81	332.50	S21	
T31	348.31	0.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=1)				
	Tiempo	Espacio		n 4
T11	7.75	322.50	S11	
T21	17.75	322.50	S21	
T31	340.25	0.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=1)				
	Tiempo	Espacio		n 5
T11	9.68	312.50	S11	

T21	19.68	312.50	S21
T31	332.18	0.00	S31

¿Llega a entrar en el túnel? Sí
Situación: No atrapado

Tabla 3.2.81. E1: Incendio de un vehículo ligero. 8 MW de potencia

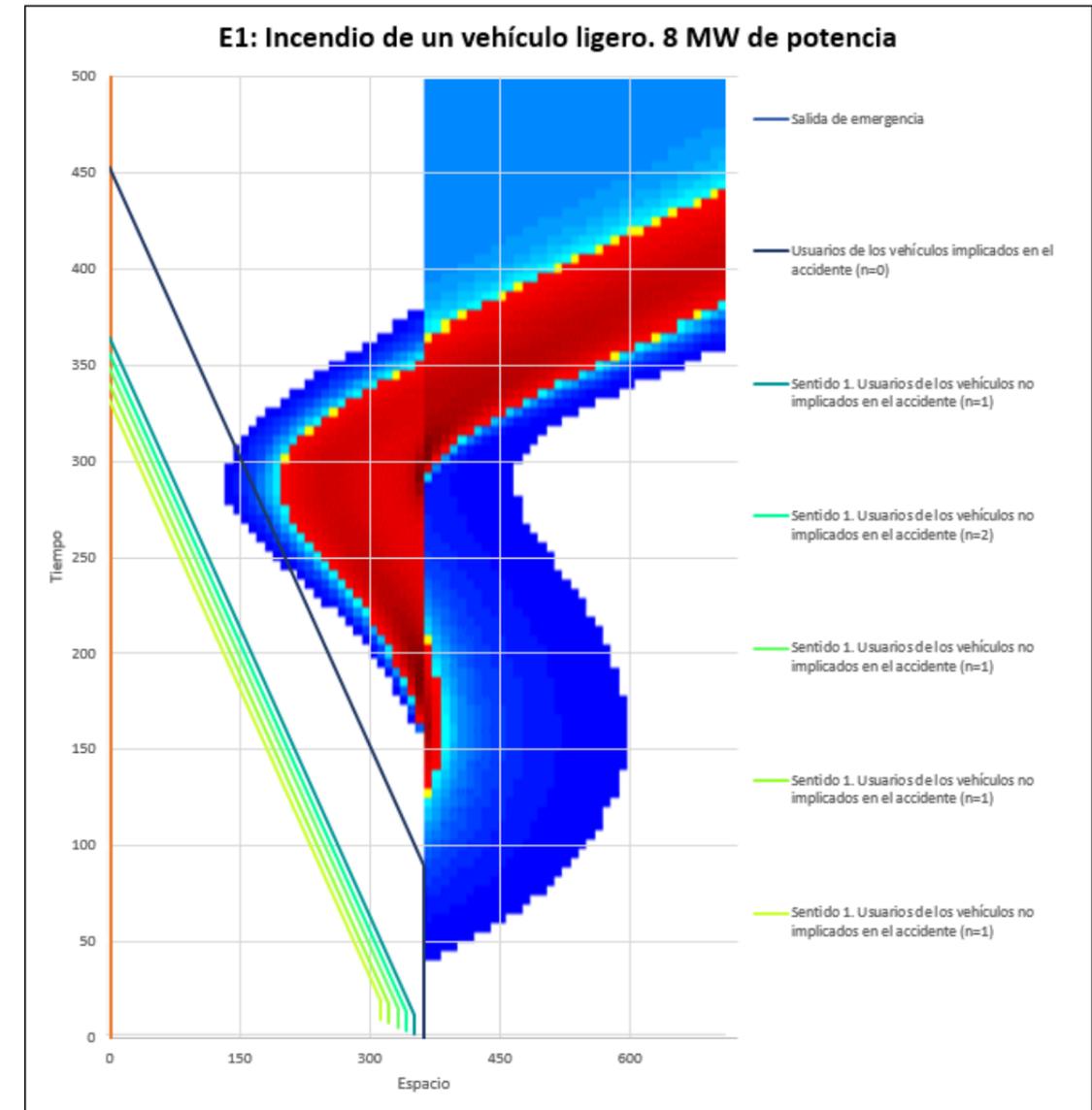


Ilustración 3.2.37. E1: Incendio de un vehículo ligero. 8 MW de potencia. Valores de opacidad (amarillo $k=0.4 \text{ m}^{-1}$)

La tabla anterior muestra los valores más representativos en el dominio de la longitud y el tiempo. La autoevacuación de todos los usuarios se produce de manera satisfactoria ya que la trayectoria de los mismos no se cruza con valores de opacidad de $0,4 \text{ m}^{-1}$ o mayores.

E2: Incendio de un vehículo pesado. 30 MW

E2: Incendio de un vehículo pesado. 30 MW				
Usuarios de los vehículos implicados en el accidente (n=0)				
	Tiempo	Espacio		n 0
T10	0.00	362.50	S10	
T20	90.00	362.50	S20	
T30	452.50	0.00	S30	
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=1)				
	Tiempo	Espacio		n 1
T11	1.94	352.50	S11	
T21	11.94	352.50	S21	
T31	364.44	0.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=2)				
	Tiempo	Espacio		n 2
T11	3.87	342.50	S11	
T21	13.87	342.50	S21	
T31	356.37	0.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=3)				
	Tiempo	Espacio		n 3
T11	5.81	332.50	S11	
T21	15.81	332.50	S21	
T31	348.31	0.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=4)				
	Tiempo	Espacio		n 4
T11	7.75	322.50	S11	
T21	17.75	322.50	S21	
T31	340.25	0.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=5)				
	Tiempo	Espacio		n 5
T11	9.68	312.50	S11	
T21	19.68	312.50	S21	
T31	332.18	0.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				

Situación: No atrapado

Tabla 3.2.82. E2: Incendio de un vehículo pesado. 30 MW

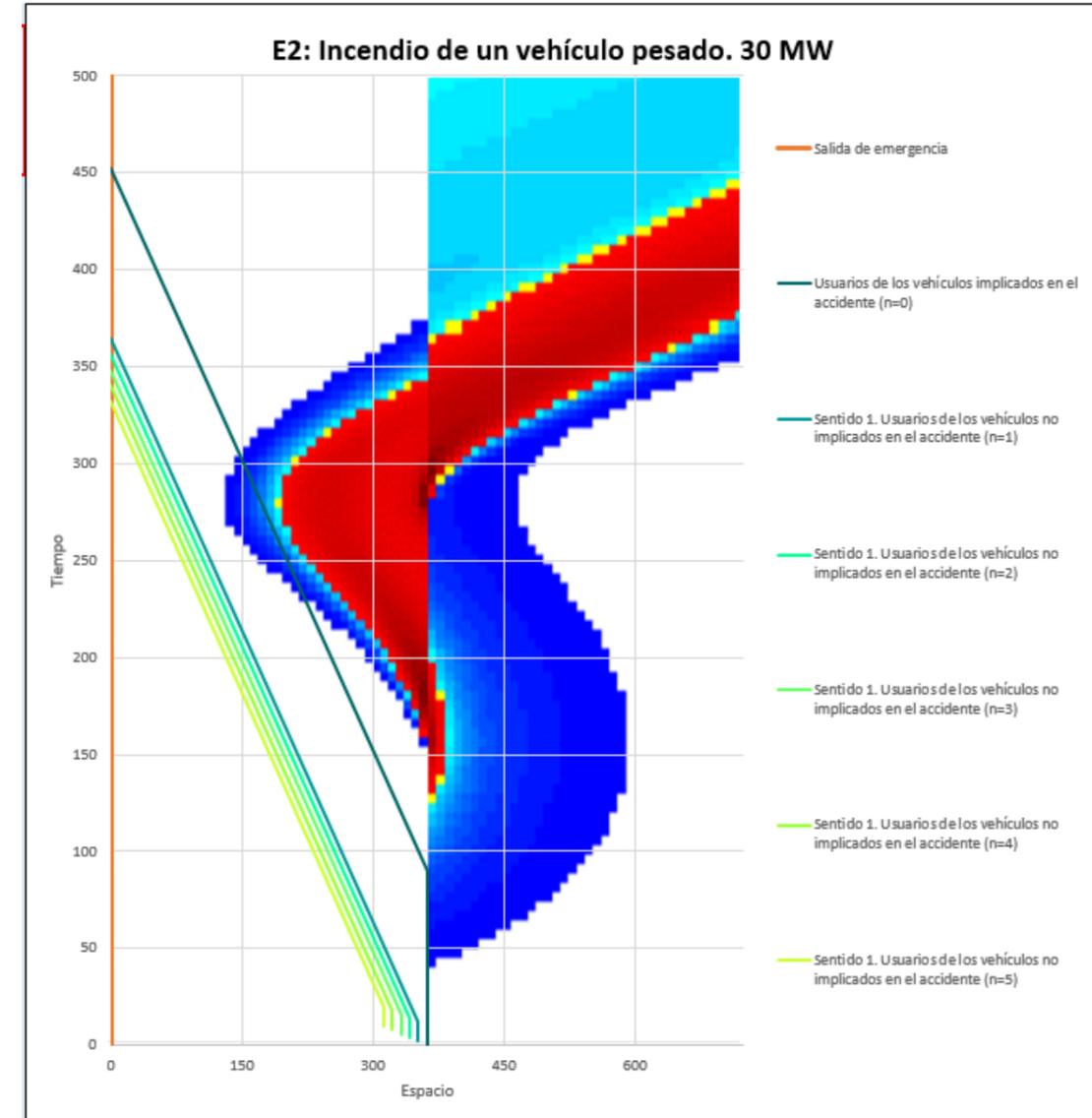


Ilustración 3.2.38. E2: Incendio de un vehículo pesado. 30 MW. Valores de opacidad (amarillo k=0.4 m⁻¹)

La tabla anterior muestra los valores más representativos en el dominio de la longitud y el tiempo. La autoevacuación de todos los usuarios se produce de manera satisfactoria ya que la trayectoria de los mismos no se cruza con valores de opacidad de 0,4 m⁻¹ o mayores.

E3: Incendio de un vehículo ligero y un autocar. 15 MW

E3: Incendio de un vehículo ligero y un autocar. 15 MW				
Usuarios de los vehículos implicados en el accidente (n=0)				
	Tiempo	Espacio	Autobus	0
T10	0.00	362.50	S10	
T20	300.00	362.50	S20	
T30	662.50	0.00	S30	
Situación: Atrapado				
	Tiempo	Espacio	Ligero	0
T10	0.00	362.50	S10	
T20	90.00	362.50	S20	
T30	452.50	0.00	S30	
Situación: Atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=1)				
	Tiempo	Espacio	n	1
T11	1.94	352.50	S11	
T21	11.94	352.50	S21	
T31	364.44	0.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=2)				
	Tiempo	Espacio	n	2
T11	3.87	342.50	S11	
T21	13.87	342.50	S21	
T31	356.37	0.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=3)				
	Tiempo	Espacio	n	3
T11	5.81	332.50	S11	
T21	15.81	332.50	S21	
T31	348.31	0.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=4)				
	Tiempo	Espacio	n	4
T11	7.75	322.50	S11	
T21	17.75	322.50	S21	
T31	340.25	0.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=5)				

	Tiempo	Espacio	n
T11	9.68	312.50	S11
T21	19.68	312.50	S21
T31	332.18	0.00	S31

¿Llega a entrar en el túnel? **Sí**
Situación: **No atrapado**

Tabla 3.2.83. E3: Incendio de un vehículo ligero y un autocar. 15 MW

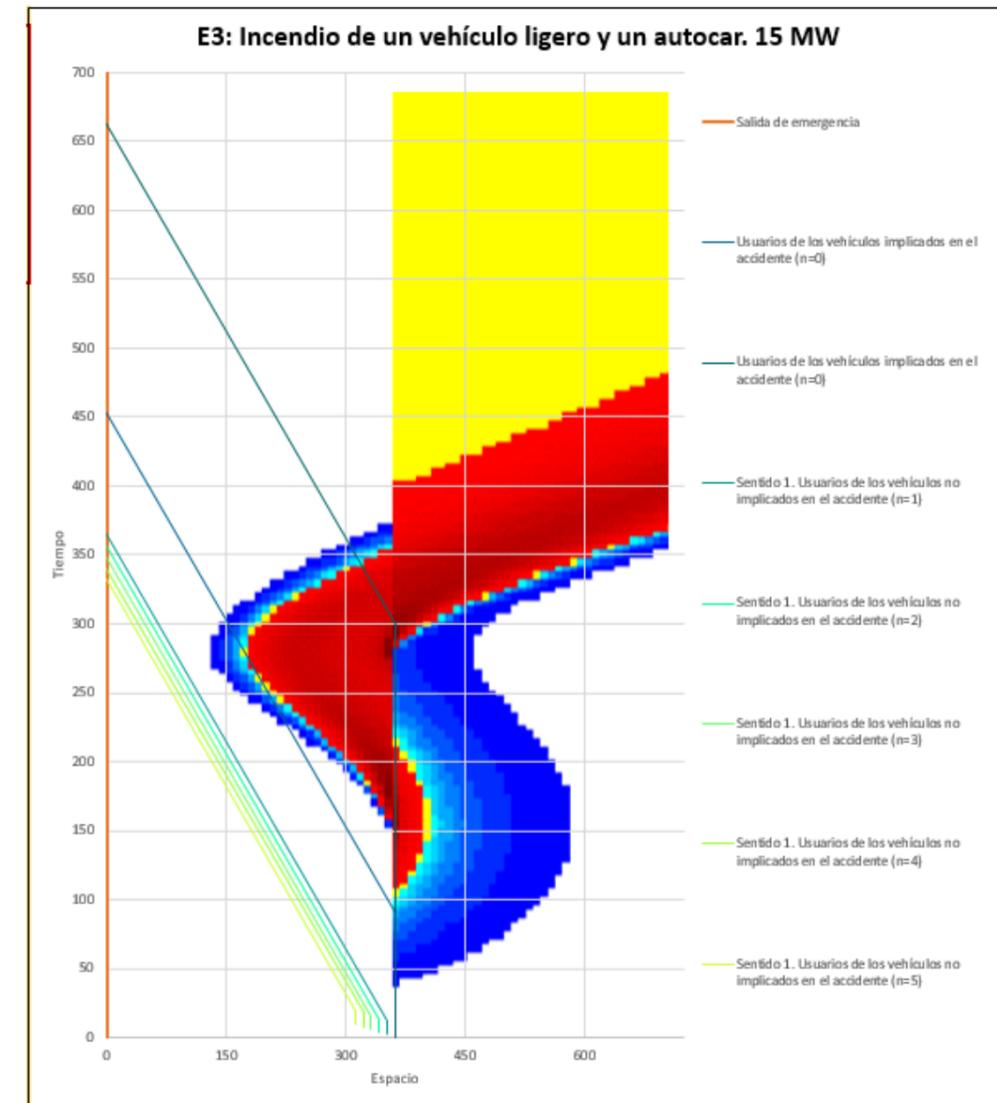


Ilustración 3.2.39. E3: Incendio de un vehículo ligero y un autocar. 15 MW. Valores de opacidad (amarillo $k=0.4 \text{ m}^{-1}$)

La tabla anterior muestra los valores más representativos en el dominio de la longitud y el tiempo. La autoevacuación de los usuarios del autobús y del vehículo ligero implicado se produce de manera no satisfactoria ya que la trayectoria se cruza con valores de opacidad de $0,4 \text{ m}^{-1}$ o mayores. Por otro lado, la evacuación del resto de usuarios no implicados se produce manera satisfactoria.

E4: Incendio de un vehículo pesado y un autocar. 30 MW

E4: Incendio de un vehículo pesado y un autocar. 30 MW				
Usuarios de los vehículos implicados en el accidente (n=0)				
	Tiempo	Espacio		Autobús 0
T10	0.00	362.50	S10	
T20	300.00	362.50	S20	
T30	662.50	0.00	S30	
Situación: Atrapado				
	Tiempo	Espacio		Vehículo pesado 0
T10	0.00	362.50	S10	
T20	90.00	362.50	S20	
T30	452.50	0.00	S30	
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=1)				
	Tiempo	Espacio		n 1
T11	1.94	352.50	S11	
T21	11.94	352.50	S21	
T31	364.44	0.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=2)				
	Tiempo	Espacio		n 2
T11	3.87	342.50	S11	
T21	13.87	342.50	S21	
T31	356.37	0.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=3)				
	Tiempo	Espacio		n 3
T11	5.81	332.50	S11	
T21	15.81	332.50	S21	
T31	348.31	0.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=4)				
	Tiempo	Espacio		n 4
T11	7.75	322.50	S11	
T21	17.75	322.50	S21	
T31	340.25	0.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=5)				

	Tiempo	Espacio		n 5
T11	9.68	312.50	S11	
T21	19.68	312.50	S21	
T31	332.18	0.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				

Tabla 3.2.84. E4: Incendio de un vehículo pesado y un autocar. 30 MW

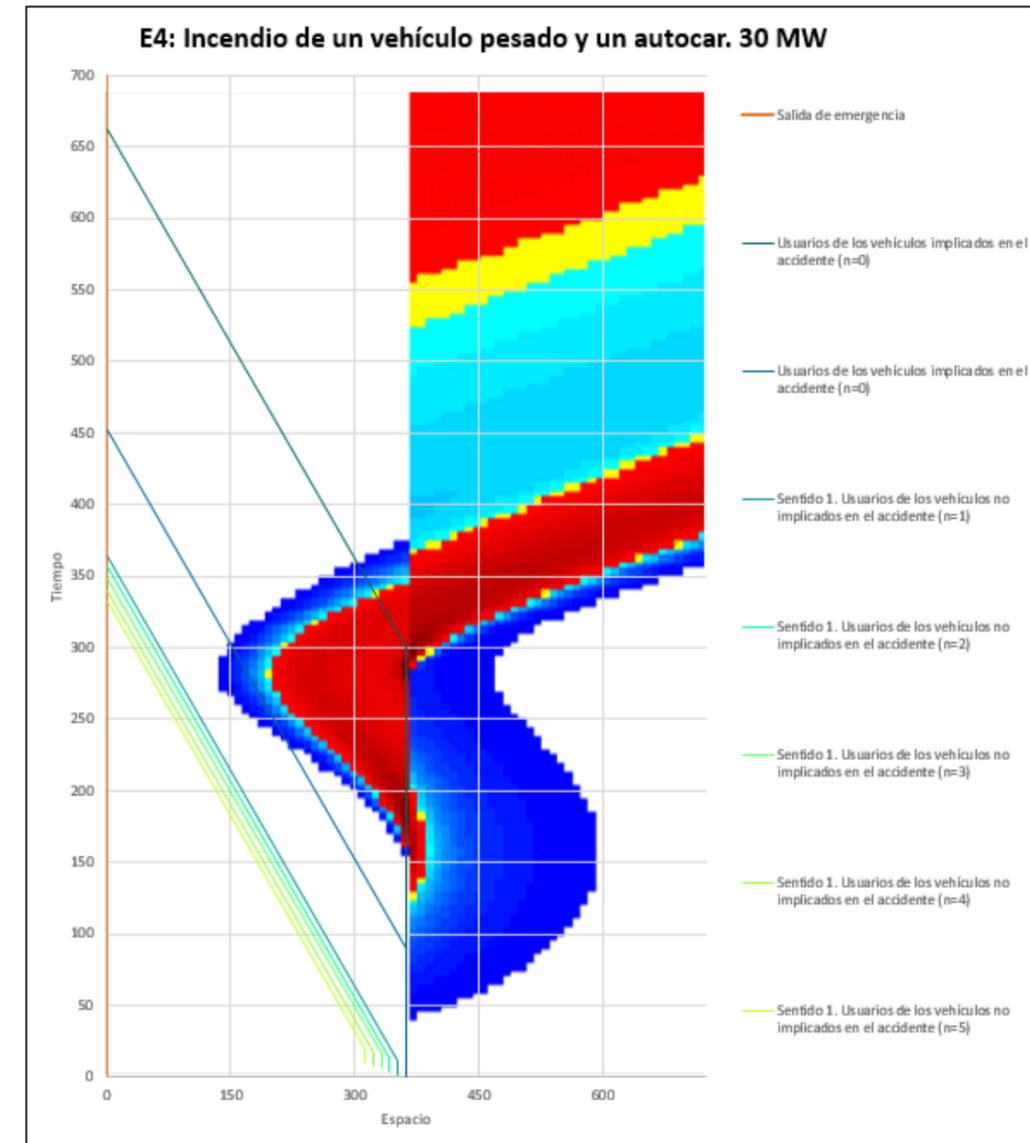


Ilustración 3.2.40. E4: Incendio de un vehículo pesado y un autocar. 30 MW

La tabla anterior muestra los valores más representativos en el dominio de la longitud y el tiempo. La autoevacuación de los usuarios del autobús implicado se produce de manera no satisfactoria ya que la trayectoria se cruza con valores de opacidad de $0,4 \text{ m}^{-1}$ o mayores. Por otro lado, la evacuación del resto de usuarios implicados y no implicados se produce manera satisfactoria.

E5: Incendio de un vehículo de pesado. 100 MW

E5: Incendio de un vehículo pesado. 100 MW				
Usuarios de los vehículos implicados en el accidente (n=0)				
	Tiempo	Espacio		n 0
T10	0.00	362.50	S10	
T20	90.00	362.50	S20	
T30	452.50	0.00	S30	
Situación: Atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=1)				
	Tiempo	Espacio		n 1
T11	1.94	352.50	S11	
T21	11.94	352.50	S21	
T31	364.44	0.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=2)				
	Tiempo	Espacio		n 2
T11	3.87	342.50	S11	
T21	13.87	342.50	S21	
T31	356.37	0.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=3)				
	Tiempo	Espacio		n 3
T11	5.81	332.50	S11	
T21	15.81	332.50	S21	
T31	348.31	0.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=4)				
	Tiempo	Espacio		n 4
T11	7.75	322.50	S11	
T21	17.75	322.50	S21	
T31	340.25	0.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				
Situación: No atrapado				
Sentido 1. Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n=5)				
	Tiempo	Espacio		n 5
T11	9.68	312.50	S11	
T21	19.68	312.50	S21	
T31	332.18	0.00	S31	
¿Llega a entrar en el túnel? Sí				

Situación: No atrapado
 Tabla 3.2.85. E5: Incendio de un vehículo de pesado. 100 MW

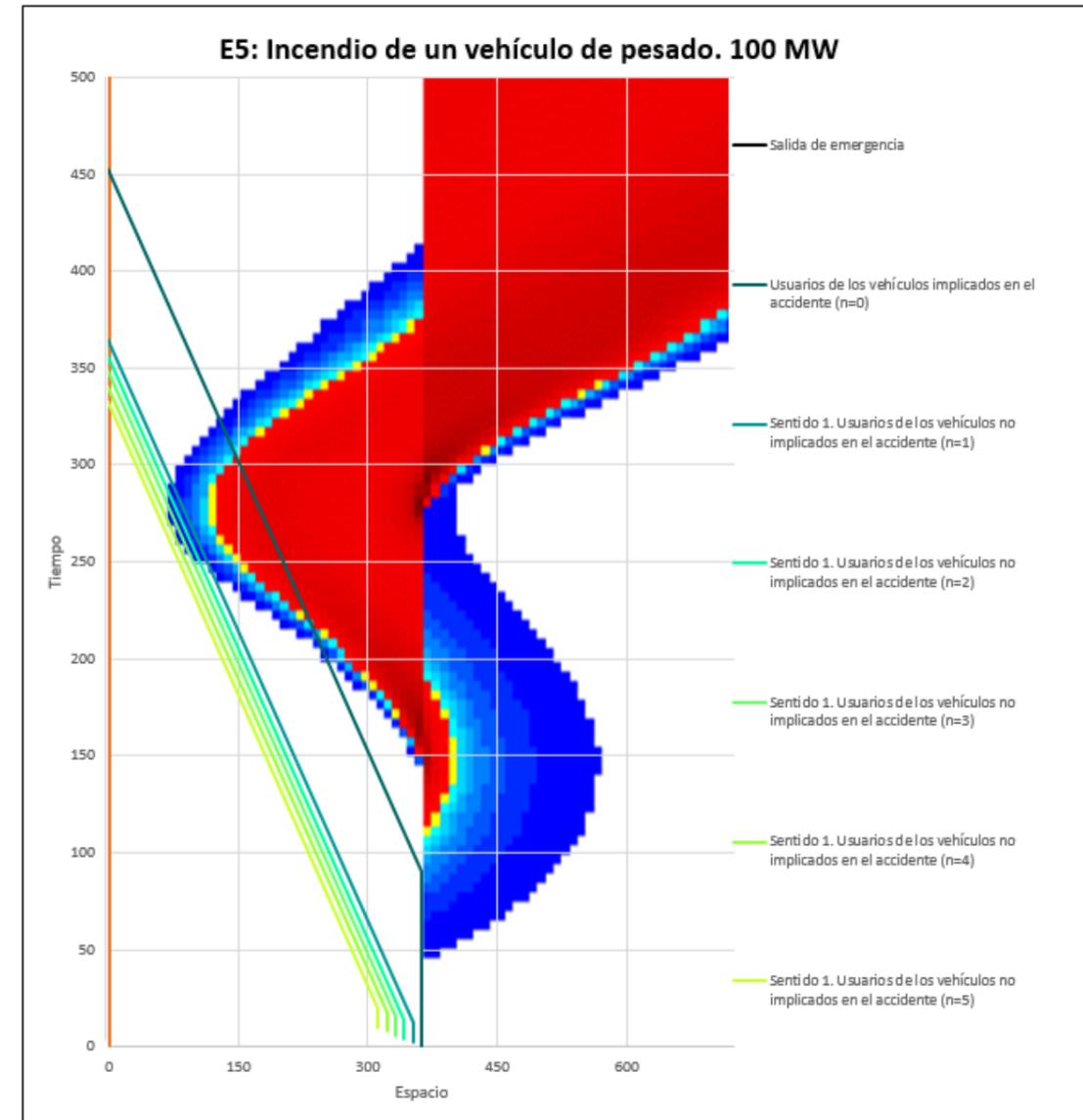


Ilustración 3.2.41 E5: Incendio de un vehículo de pesado. 100 MW

La tabla anterior muestra los valores más representativos en el dominio de la longitud y el tiempo. La autoevacuación del vehículo pesado implicado se produce de manera no satisfactoria ya que la trayectoria se cruza con valores de opacidad de 0,4 m⁻¹ o mayores. Por otro lado, la evacuación del resto de usuarios no implicados se produce manera satisfactoria.

En base al análisis de los escenarios, el número de vehículos y personas que se consideran atrapadas es el indicado en la tabla siguiente:

Escenario	Por carril	Accidente					Total
	Congestión	Total	Ligero	Pesado	Autocar	Personas	Personas
E1	0	0,00	0			0,00	0,00
E2	0	0,00		0		0,00	0,00
E3	0	0,00	1		1	30,00	31,50
E4	0	0,00		0	1	30,00	30,00
E5	0	0,00		1		1,00	1,00

Tabla 3.2.86. Recuento de personas afectadas para cada escenario

Aplicando a los valores obtenidos los modificadores por equipamiento y el factor corrector por IMD y vehículos pesados, la estimación de personas atrapadas y probabilidad de ocurrencia de cada uno de los escenarios se reflejan en las dos últimas columnas de la siguiente tabla:

Escenarios	FIMD	Drenaje	Puestos	Personas	Probabilidad
E1	2,98	1,00	0,90	0,00	0,00
E2	1,25	1,00	1,00	0,00	0,00
E3	0,09	1,00	0,95	29,93	2,78
E4	0,06	1,00	1,00	30,00	1,84
E5	0,26	1,00	1,00	1,00	0,26

Tabla 3.2.87. Probabilidad de ocurrencia de atrapamiento para cada escenario

CRTV	4,7664
------	--------

$$IR = \frac{5,1502}{4,7665} = 1,0805$$

El túnel se considera **túnel seguro** de acuerdo con los criterios de aceptación de MARTE.

3.3. CONCLUSIONES

Se realiza el análisis de riesgo de los diferentes casos de los túneles del Bruc por el Método General, teniendo en cuenta las hipótesis planteadas y el equipamiento considerado que se ha descrito con anterioridad.

Equipamiento	TUBO B-40100 (Bruc 1)	TUBO B-40200 (Bruc 2)	TERCER TUBO (Bruc 3)
Aceras	No ³³	Sí	Sí
Salidas de emergencia	Sí	Sí	Sí
Conexiones transversales para acceso de los servicios de emergencia ³⁴	-	-	-
Cruce de la mediana fuera de cada boca	Sí	Sí	Sí
Apartaderos en las condiciones fijadas en el apdo. 2.7 RD 635/2006	-	Sí ³⁵	No
Drenaje de líquidos tóxicos ³⁶	-	-	-
Centro de control	Sí	Sí	Sí
Circuito cerrado de televisión	Sí	Sí	Sí
Sistema informático de extracción de humos, automático y manual	Sí	Sí	Sí
Iluminación normal	Sí	Sí	Sí
Iluminación de seguridad	Sí	Sí	Sí
Iluminación de emergencia	Sí	Sí	Sí
Ventilación	Sí	Sí	Sí
Doble suministro eléctrico	Sí	Sí	Sí
Sistema de alimentación ininterrumpida (SAI)	Sí	Sí	Sí
Detectores de CO	Sí	Sí	Sí
Opacímetros	Sí	Sí	Sí
Cable para detección de incendios	Sí	Sí	Sí
Detección automática de incidentes (DAI)	Sí	Sí	Sí
Puestos de emergencia	Sí	Sí	Sí
Señalización de salidas y equipamientos de emergencia	Sí	Sí	Sí
Señalización según Norma 8.1 y 8.2 IC	Sí	Sí	Sí
Paneles de señalización variable exteriores e interiores	Sí	Sí	Sí
Barreras exteriores	Sí	Sí	Sí
Semáforos exteriores	Sí	Sí	Sí
Semáforos interiores (si el tubo mide igual o más de 3.000 m)	-	-	-
Megafonía	Sí	Sí	Sí
Red de hidrantes	Sí	Sí	Sí

³³ El túnel cuenta con aceras, pero, por comentarios recibidos, se consideran inexistentes para mantener el análisis de riesgo del lado de la seguridad.

³⁴ Al encontrarse los tubos a diferente cota, según lo indicado en el RD 635/2006 2.6.1, no serán exigibles las conexiones transversales.

Equipamiento	TUBO B-40100 (Bruc 1)	TUBO B-40200 (Bruc 2)	TERCER TUBO (Bruc 3)
Aforadores	Sí	Sí	Sí
Sistema de radiocomunicación para servicios de emergencia	Sí	Sí	Sí
Mensajería de emergencia por canales de radio para usuarios (cuando existan)	Sí	Sí	Sí
Generador de emergencia	Sí	Sí	Sí
Señal de prohibición de adelantamiento	Sí	Sí	Sí
Revestimiento	Sí	-	Sí
Secciones de auscultación ³⁷	-	Sí	-

Tabla 3.3.1. Equipamiento considerado en el análisis de riesgo.

³⁵ Cumple debido a la geometría el punto 2.7.3 del anexo I del RD 635/2006

³⁶ Al no existir circulación de mercancías peligrosas por el túnel, según lo indicado en el RD 635/2006 2.8.1., no será exigible del drenaje de líquidos tóxicos.

³⁷ Solo será de aplicación en el tubo Bruc 2, al no disponer de revestimiento rígido.

En la tabla a continuación se incluyen los resultados obtenidos:

Tubo	Tráfico	IR	Criterio de aceptación
B-40100	2055	1,0244	Seguro
B-40200	2055	1,1161	Seguro
Tubo nuevo	2055	1,0805	Seguro

Tabla 3.3.2. Resultados obtenidos en el análisis de riesgo

No obstante, la presencia de este equipamiento no excluye la adopción de otras medidas y/o equipamiento de seguridad adicional, y para el cual se requiere un nuevo análisis de riesgo.

Es necesario remarcar en primer lugar que, un análisis de riesgo constituye una herramienta que, en la medida de lo posible, intenta objetivar un fenómeno con una alta componente subjetiva, para facilitar así la toma de decisiones.

Por último, los Análisis de Riesgos son métodos de predicción, que como todos ellos, no garantizan la seguridad al 100% de sus resultados, incluso cumpliéndose con todas las hipótesis contempladas, por lo que, según la metodología de análisis de riesgo de la Red de Carreteras del estado (R.C.E.), deberán ser aprobados por la Autoridad Administrativa, de forma conjunta o independiente del manual de explotación del túnel.

4. RESUMEN DE RESULTADOS

A continuación, se realiza una comparación de los resultados obtenidos.

	ANÁLISIS CON DOS TUBOS	ANÁLISIS CON TRES TUBOS	OBSERVACIONES
BRUC 1 (B-40100)	1,5594	1,0244	- Se reduce el número de carriles de 3 a 2 al pasar a 3 tubos. - Se reduce el tráfico en el horizonte 2055 al existir otro tubo en el sentido Barcelona
BRUC 2 (B-40200)	1,3001	1,1161	- Se cambia el sentido de circulación al pasar a 3 tubos y pasa de 3 carriles a 2. - La pendiente pasa de negativa a positiva al cambiar el sentido - Se considera el tráfico sentido Barcelona - Se reduce el tráfico en el horizonte 2055 al existir otro tubo en el sentido Barcelona
BRUC 3	-	1,0805	Se añade un tercer tubo

Según lo indicado en la MARTE (apartado 4.4), se utilizan estos valores de índice de riesgo para clasificar el túnel:

- Túneles seguros: IR < 1,15
- Túneles con posibles restricciones: 1,15 < IR < 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.

- Túneles con peligrosidad elevada: IR > 1,50

Estos túneles requerirán la adopción de medidas complementarias para aumentar su seguridad y poder mantenerse o ponerse en servicio, según su caso. En cada caso, será la Autoridad Administrativa la que deba aprobar las medidas a adoptar.

5. CONSIDERACIONES Y CRITERIOS
5.1. FACTORES DE PONDERACIÓN

FACTORES DE PONDERACIÓN GEOMÉTRICOS	
Anchura de carril (m)	Factor de ponderación $\equiv FgCAR$
> 3,60	1,03
3,40 - 3,60	1,00
3,20	1,03
3,00	1,08
< 3,00	1,15
Anchura del arcén derecho (m)	Factor de arcén derecho $\equiv FgARC$
$\geq 2,5$	0,9
1,00	1,00
<1,00	1,05
Existencia de apartaderos cumpliendo R.D. 635/2006 (en los túneles que sea necesario)	Factor de apartaderos $\equiv FgAPA$
SI	1,00
NO	1,05
Anchura de aceras (m)	Factor de aceras $\equiv FgACE$
$\geq 0,75$	1,00
< 0,75	1,05
Sin aceras	1,1
Tipo de pavimento	Factor de pavimento $\equiv FgPAV$
De Hormigón	1,00
Bituminoso	1,05
Pendiente del túnel	Factor de pendiente longitudinal $\equiv FgPTE$
0%	0,955
< 3%	$0,955 + (0,015 \cdot \text{pendiente} (\%))$
3%	1,00
> 3%	$1,00 + (0,02 \cdot \text{exceso pendiente sobre } 3\%)$

Tipo revestimiento túnel	Factor de revestimiento $\equiv FgREV$
Túnel sin revestimiento rígido y sin instrumentación	1,06
Túnel sin revestimiento rígido y con instrumentación	1,03
Túnel revestido	1,00

FACTORES DE PONDERACIÓN POR EQUIPAMIENTO	
Tiempo de llegada de los servicios de emergencia tras un incidente	Factor de servicios de emergencia $\equiv FeqSSEE$
< 2 minutos	0,75
2-5 minutos	0,85
5-10 minutos	1,00
10-15 minutos	1,15
> 15 minutos	1,25
Existencia de centro de control permanente y vigilado con control de accesos	Factor de centro de control $\equiv FeqCC$
SI	0,9
NO	1,00
Otras mejoras sobre las dotaciones de seguridad mínimas exigidas por el R.D. 635/2006	Factor otras mejoras $\equiv FeqOTR$
SI	$\geq 0,9$
NO	1,00

FACTORES DE PONDERACIÓN POR EXPLOTACIÓN DEL TÚNEL		
Restricción adelantamiento a V.P.	% VP	Factor de adelantamiento de VP ($FexAVP$)
Sin restricción	Cualquier %	1
Con restricción	5%	0,97
Con restricción	10%	0,93
Con restricción	15%	0,9
Con restricción	17%	0,888
Con restricción	20%	0,87
Existencia de radar en accesos o interior túnel	Factor de radar ($FexRAD$)	
NO	1	
SI	0,92	

Para valores intermedios se emplearán los valores obtenidos por interpolación lineal entre los valores anteriores.

5.2. CRITERIOS DEL FACTOR DE OTRAS MEJORAS

Tal como establece la metodología MARTE, en este factor ha de considerarse los siguientes equipamientos como elementos a puntuar en el factor propiamente dicho:

- Conexiones transversales para acceso de los servicios de emergencia.
- Cruce de la mediana fuera de cada boca.
- Doble suministro eléctrico.
- Existencia de mediana en el túnel (solo en caso de túneles bidireccionales).
- Red de hidrantes.
- Semáforos interiores en casos necesarios.
- Sistema de radiocomunicación para servicios de emergencia.

Igualmente, se especifica en dicha metodología que, en ningún caso, este factor podrá ponderarse con un valor inferior a 0,90 en su conjunto. Debido a que el factor parte del valor unidad (1,00), tendremos la capacidad de variar este valor en 0,10 puntos.

Debido a que la metodología no especifica como ponderar dicho factor, se realiza un método de cálculo con ponderación constante a todos los factores. El objetivo es intentar establecer una homogeneidad en todos los proyectos y evitar discrepancia de criterios que pueda hacer que unos túneles se vean perjudicados o beneficiados de forma distinta.

Por lo tanto, el cálculo de este factor vendrá definido por una ponderación equitativa a cada uno de los equipamientos que logra un equilibrio de los factores:

Nº de otras mejoras posibles:7

Variación de ponderación:0,10 puntos (el máximo a disminuir puede ser de 1 a 0,90)

$$\text{Ponderación de cada mejora} = \frac{0,10}{7} = 0.01429$$

Es decir, por cada mejora anteriormente enumerada, se reduce el factor en 0,01429 (partiendo desde un valor 1,00 marcado por MARTE).

Es relevante destacar que el proceso será exactamente igual con el equipamiento requerido por RD para el caso del túnel virtual, teniendo en cuenta que se trata de un método comparativa. Por lo tanto, se considerará en el túnel real el equipamiento disponible y proyecto y en el túnel virtual el requerido.

5.3. CRITERIOS MODIFICADORES ADICIONALES

EQUIPAMIENTO	EXISTE	NO EXISTE
<i>Drenaje de líquidos tóxicos</i>	Se establece una reducción del número de personas atrapadas en los escenarios E2, E4 y E5 del 5%, es decir, se multiplicará por un factor reductor de 0,95.	No se hace ninguna consideración.
<i>Iluminación de seguridad y emergencia</i>	Se mantendrá la velocidad de auto-evacuación en 1 m/s en zonas sin humo desestratificado y en 0,5 m/s en zonas con humo desestratificado (siempre que el túnel disponga además de SAI y suministro alternativo de electricidad).	La velocidad de auto-evacuación en 1 m/s en zonas sin humo desestratificado y en 0,3 o 0,4 m/s (según el caso) en zonas con humo desestratificado (cuando no se disponga de alguno de los 3 equipamientos evaluados).
<i>Sistema de alimentación ininterrumpida (SAI)</i>	Se pondera conjuntamente con la iluminación de seguridad y emergencia y con el suministro alternativo de electricidad.	Ídem
<i>Suministro alternativo de electricidad</i>	Se pondera conjuntamente con la iluminación de seguridad y emergencia y con el SAI.	Ídem
<i>Puestos de emergencia</i>	Para E1 (Incendio de 8 MW): reducción de un 10% del número de personas atrapadas, es decir, se multiplicará por un factor reductor de valor 0,90 Para E3 (Incendio de 15 MW): reducción de un 5% del número de personas atrapadas, es decir, se multiplicará por un factor reductor de valor 0,95.	No se hace ninguna consideración
<i>Megafonía</i>	Reducción de hasta 5 segundos en el tiempo de reacción de todos los usuarios tras el/los accidentado/s si el túnel tiene además CC con CCTV y DAI	No se hace ninguna consideración
<i>Paneles de señalización variable</i>	Reducción de hasta 8 segundos en el tiempo de reacción de todos los usuarios tras el/los accidentado/s si el túnel tiene además CC con CCTV y DAI	No se hace ninguna consideración
<i>Señalización de salidas y equipamientos de emergencia</i>	Se mantendrá la velocidad de autoevaluación en 1 m/s en zonas sin humo desestratificado y se aumentará la velocidad en 0,1 m/s en zonas con humo desestratificado, es decir 0,6 m/s si dispone de SAI y suministro alternativo de electricidad y 0,4 m/s en caso contrario.	Se mantendrá la velocidad de autoevacuación en 1 m/s en zonas sin humo desestratificado y en 0,3 ó 0,5 m/s (según los casos) en zonas con humo desestratificado.
<i>Equipos para cierre del túnel</i>	a) Semáforos + barreras: No operativo b) Semáforos + barreras + CC: cierre 4 min. c) Semáforos + barreras + CC + DAI: 3 min.	No se hace ninguna consideración
<i>Mensajería por radio para usuarios</i>	Reducción de 5 s en el tiempo de reacción de todos los usuarios tras el/los accidentado/s si el túnel tiene además CC con CCTV y DAI	No se hace ninguna consideración

5.4. CRITERIOS DE COLOCACIÓN DE SALIDAS DE EMERGENCIA EN EL TÚNEL VIRTUAL

Se considera que el túnel virtual debe cumplir estrictamente el Real Decreto. La formulación descrita define la ubicación de las salidas para el túnel virtual, ubicándose siempre en interdistancias incluidas dentro de las máximas definidas en el RD 635/2006. Se calcula el número de salidas requeridas y las distancia a establecer surgen de un reparto equitativo a lo largo de la longitud del túnel. De esta manera, el análisis se mantiene del lado de la seguridad.

Por lo tanto, en túneles interurbanos unidireccionales³⁸, la ubicación de las salidas de emergencia en el túnel virtual se establece mediante las siguientes formulas:

Para el túnel virtual:

L: longitud del túnel

G1 a Gn: galerías de conexión.

Numero de galerías (n): Parte entera del cociente $L/400$.

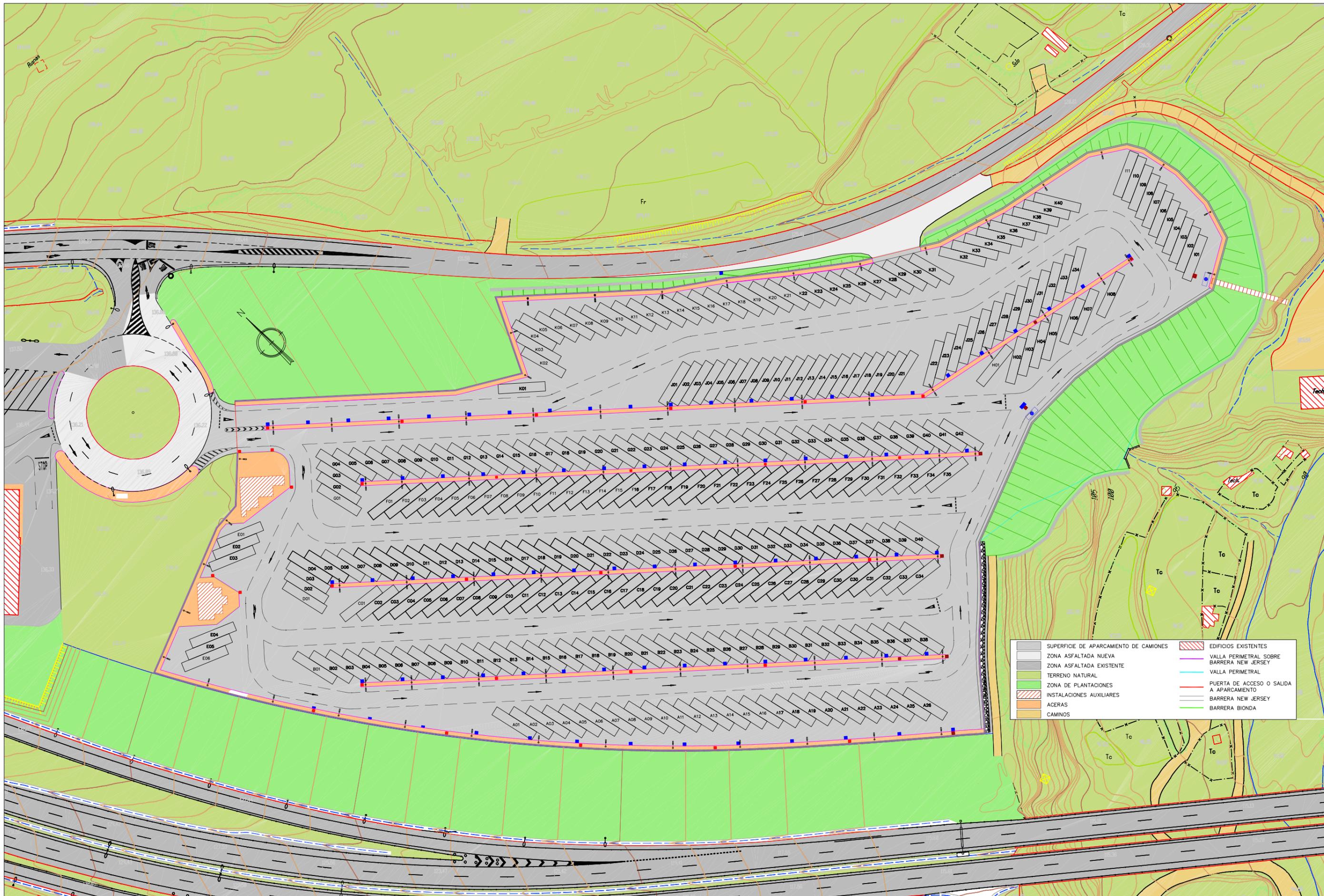
Ubicación de galerías en el túnel virtual.

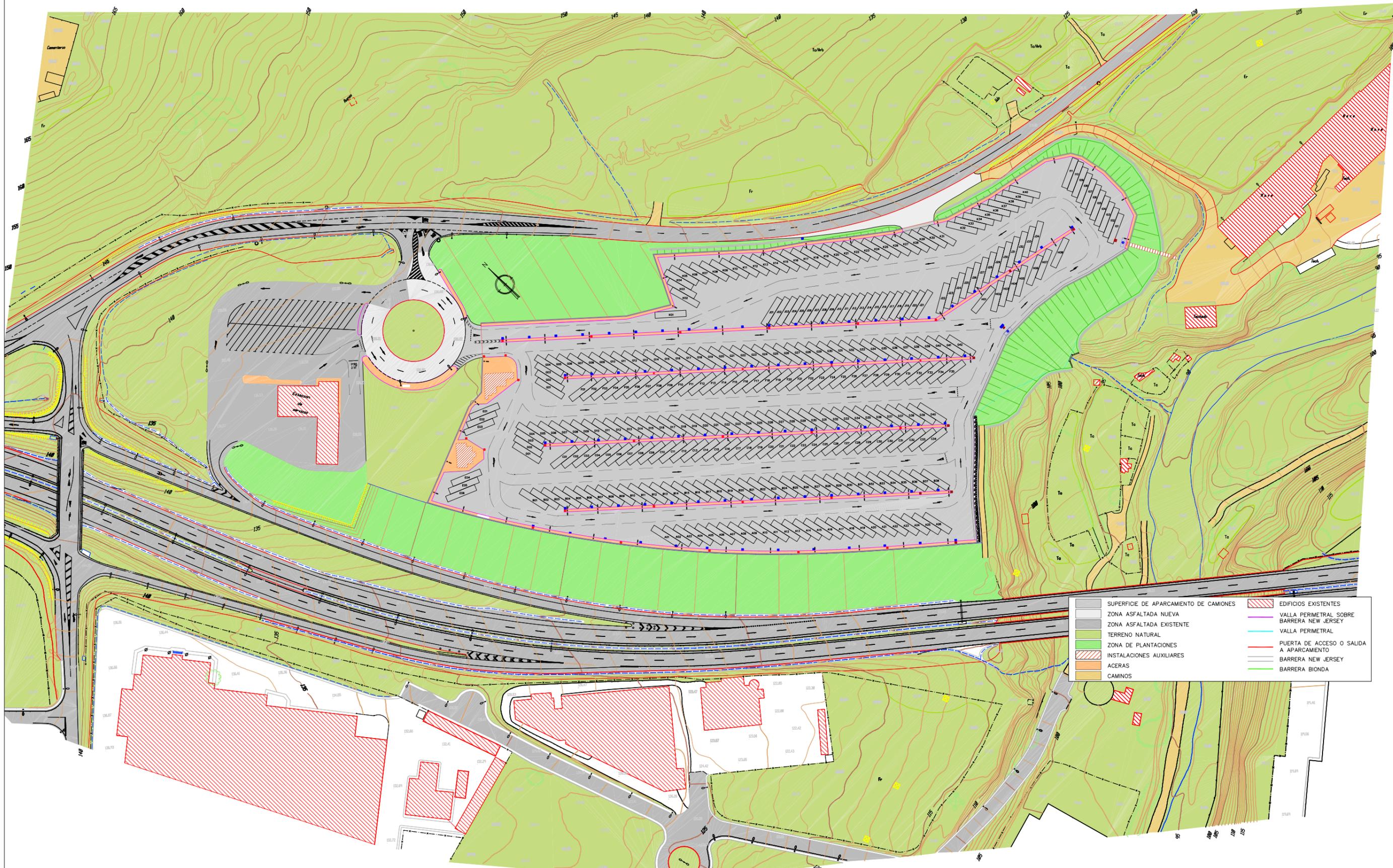
Ubicación G1 respecto a la boca 0 del túnel = $(L - (n-1) \cdot 400) / 2$

Ubicación Gn respecto a la boca 0 del túnel = $(n-1) \cdot 400 + (L - (n-1) \cdot 400) / 2$

³⁸ En el caso de posibles retenciones, en función del tráfico considerado, se sigue manteniendo la distancia máxima de 400 m ya que el túnel de Bruc cuenta con control de accesos

APENDICE Nº 2. PROYECTO PARKING DE VIALIDAD INVERNAL

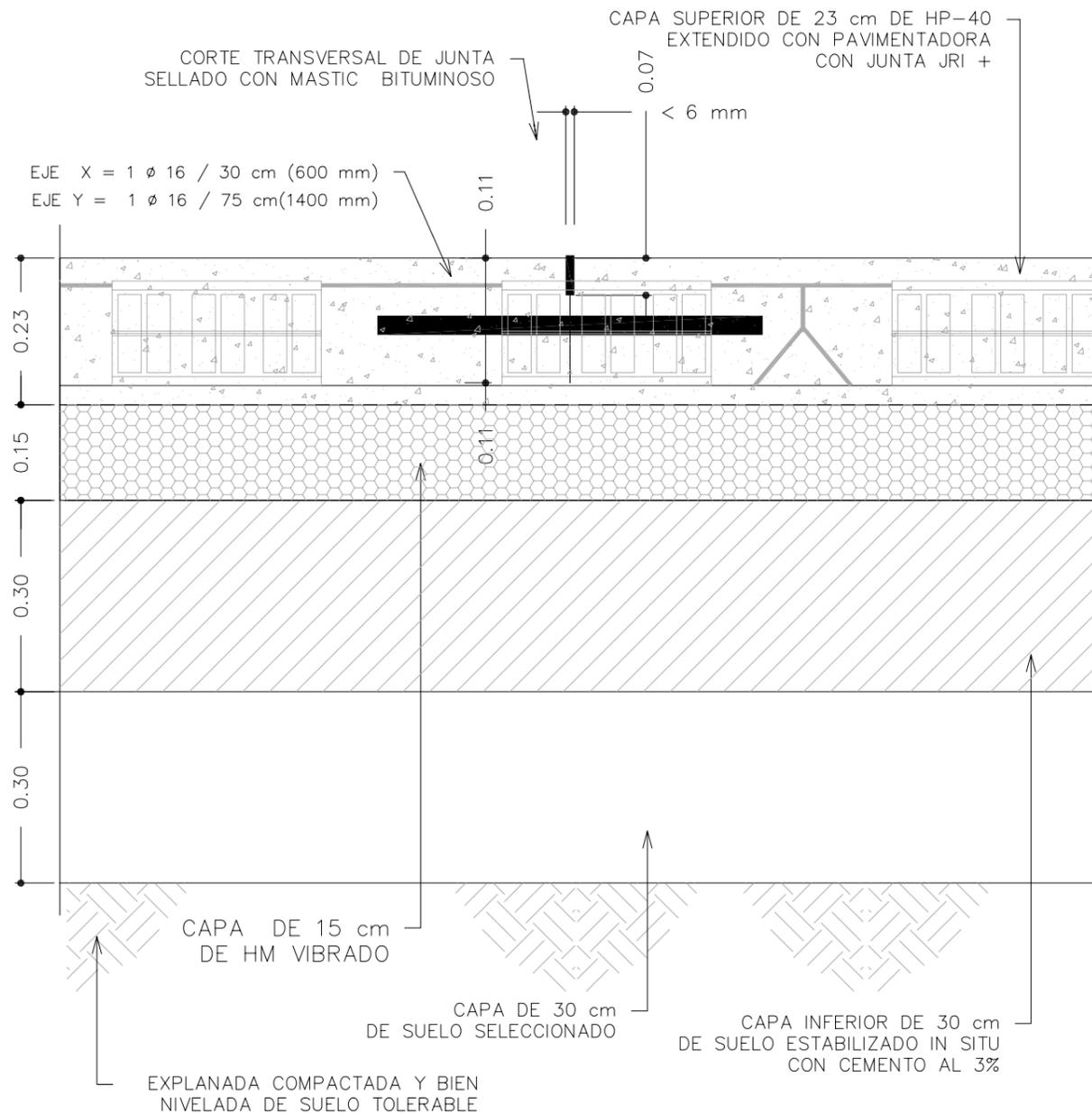




- | | |
|--|---|
| ■ SUPERFICIE DE APARCAMIENTO DE CAMIONES | ▨ EDIFICIOS EXISTENTES |
| ■ ZONA ASFALTADA NUEVA | ▨ VALLA PERIMETRAL SOBRE BARRERA NEW JERSEY |
| ■ ZONA ASFALTADA EXISTENTE | ▨ VALLA PERIMETRAL |
| ■ TERRENO NATURAL | ▨ PUERTA DE ACCESO O SALIDA A APARCAMIENTO |
| ■ ZONA DE PLANTACIONES | ▨ BARRERA NEW JERSEY |
| ▨ INSTALACIONES AUXILIARES | ▨ BARRERA BIONDA |
| ■ ACERAS | |
| ■ CAMINOS | |

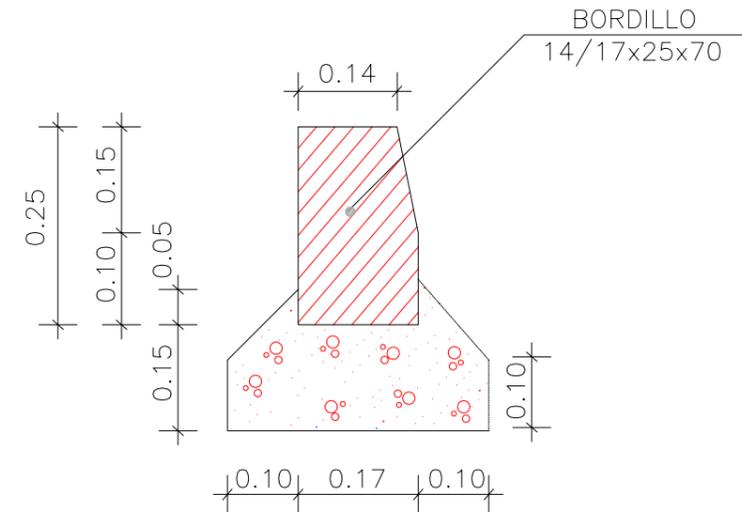
DETALLE SECCION PAVIMENTO
 TIPO T2-234-SOBRE E3 CONSEGUIDA
 MEJORANDO EXPLANADA DE SUELO TOLERABLE

JUNTAS EN RETICULA 4.66 x 4.66 m



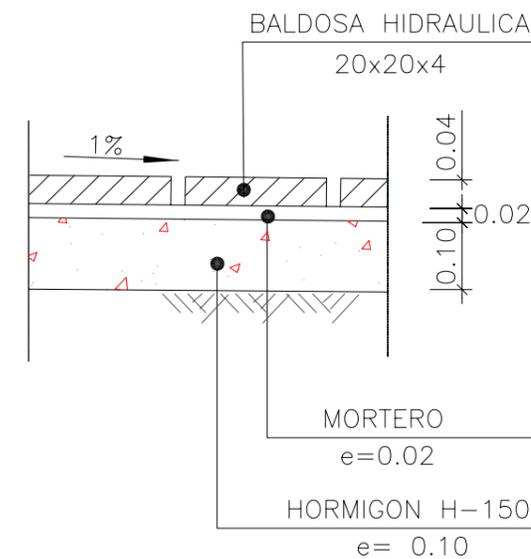
DETALLE BORDILLO TIPO B-1

ESC. 1:10



DETALLE ACERA

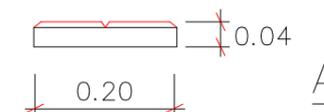
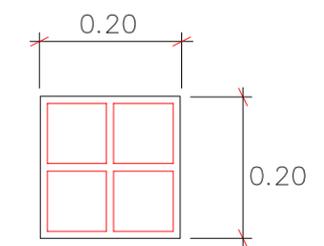
ESCALA 1/10



BALDOSA HIDRAULICA

(ACERAS) - 20x20x4

ESCALA 1/10

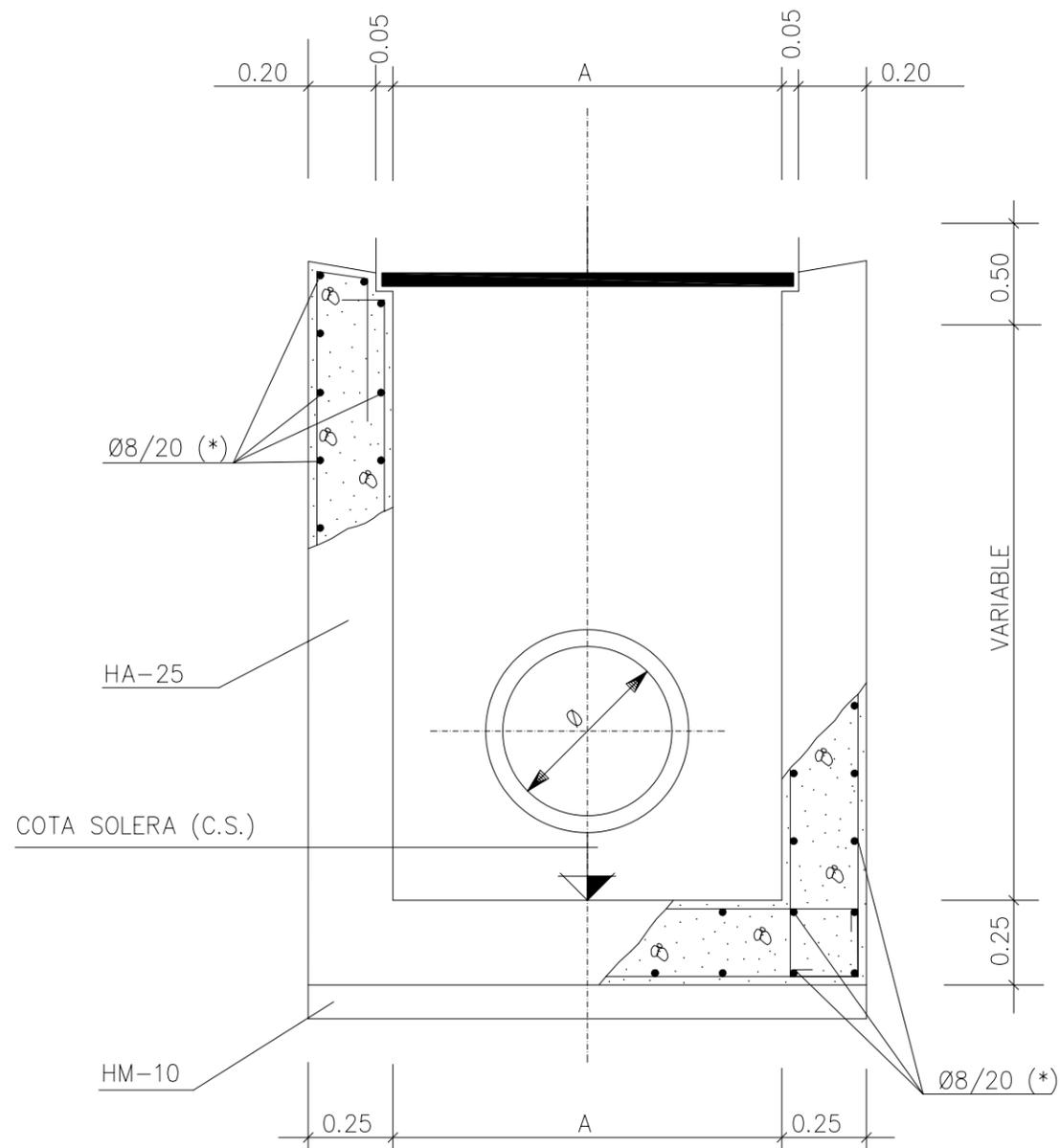




LEYENDA

- | | | | |
|--|----------------------------|--|----------------------------|
| | CUNETA DE PIE DE TERRAPLEN | | IMBORNAL 1x1 m |
| | COLECTOR ϕ 1000 | | IMBORNAL 1x0,5 m |
| | COLECTOR ϕ 800 | | BAJANTE |
| | COLECTOR ϕ 600 | | CAZ COLECTOR ϕ 400 |
| | COLECTOR ϕ 400 | | CAZ COLECTOR ϕ 600 |
| | ARQUETA 1x1 m | | SEPARADOR DE HIDROCARBUROS |
| | ARQUETA 1,3x1,3 m | | |

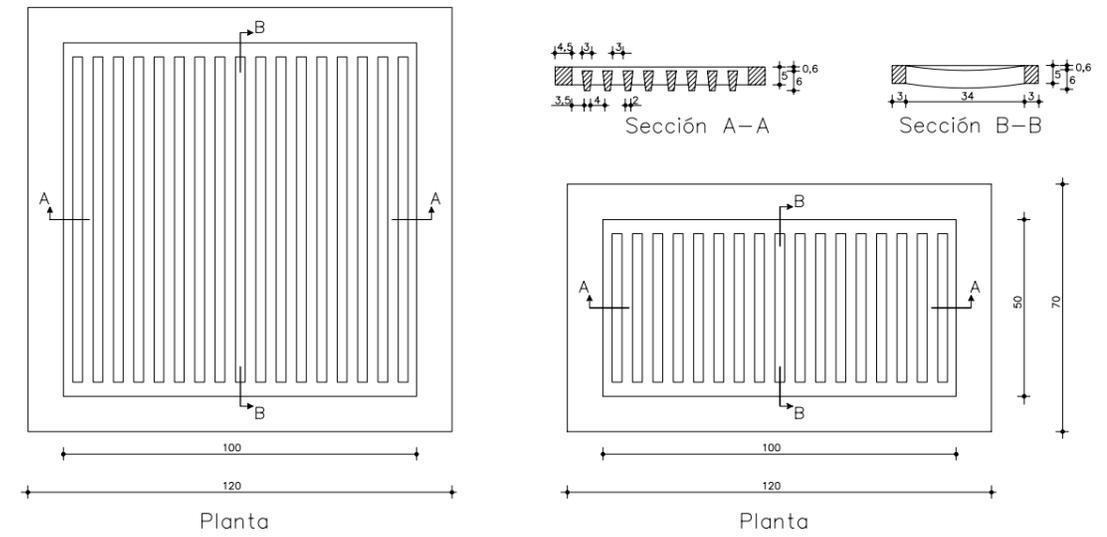
ARQUETAS FABRICADAS "IN SITU"



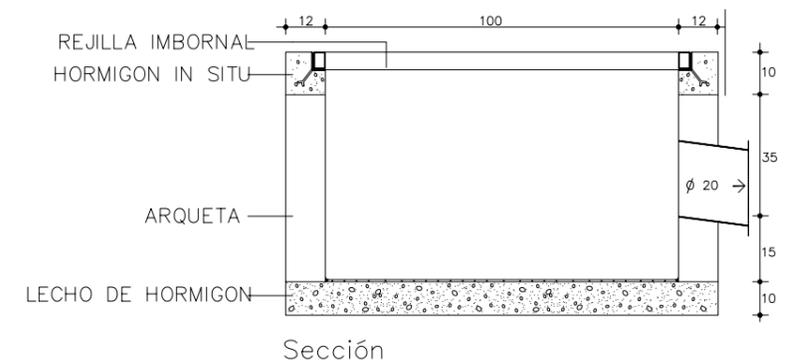
(*) EN LAS ARQUETAS DE ALTURA SUPERIOR A 5.00 m. LA ARMADURA SERA Ø10/20.

Ø	A
Ø ≤ 600	1.00
Ø = 800	1.30

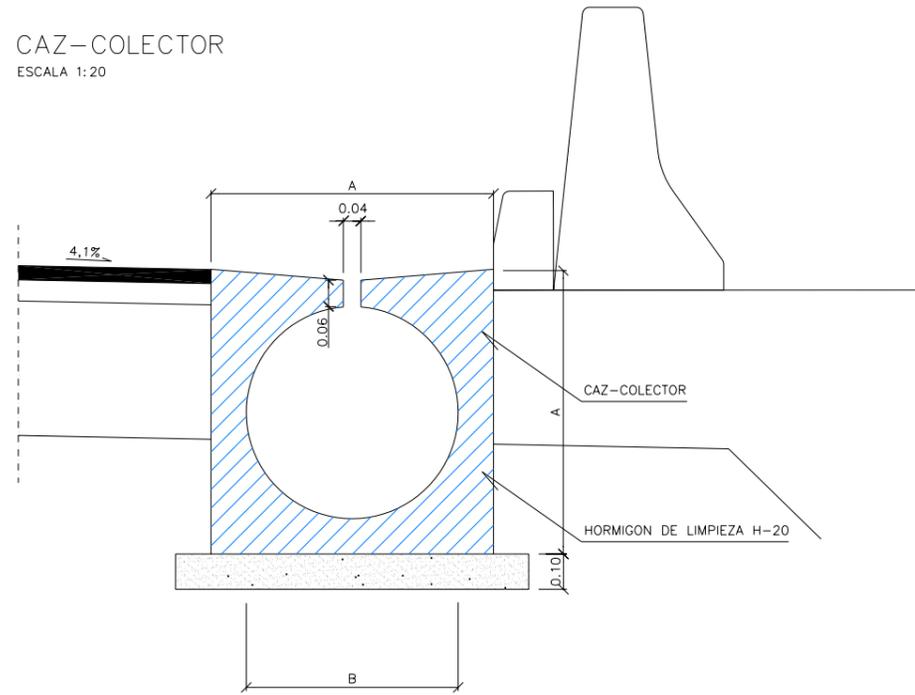
REJILLA FUNDICION IMBORNAL



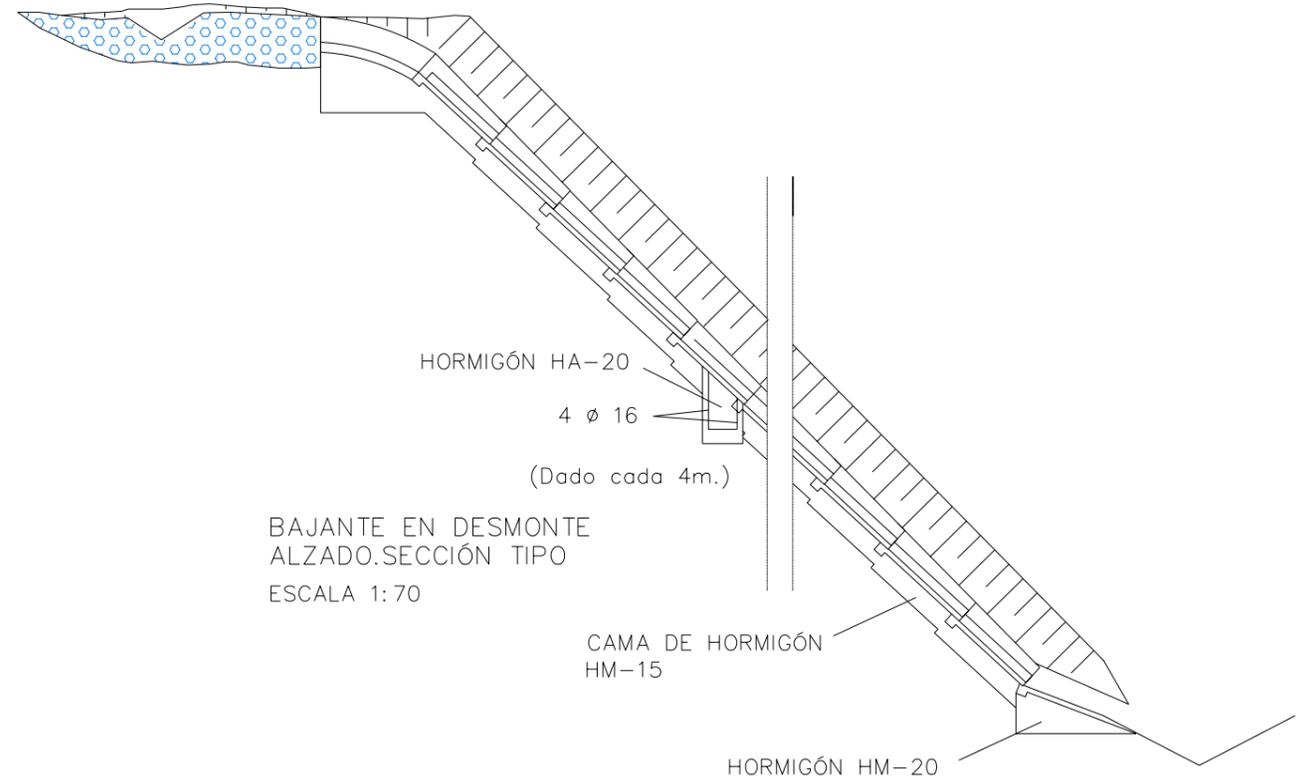
ARQUETA IMBORNAL



CAZ-COLECTOR
ESCALA 1:20



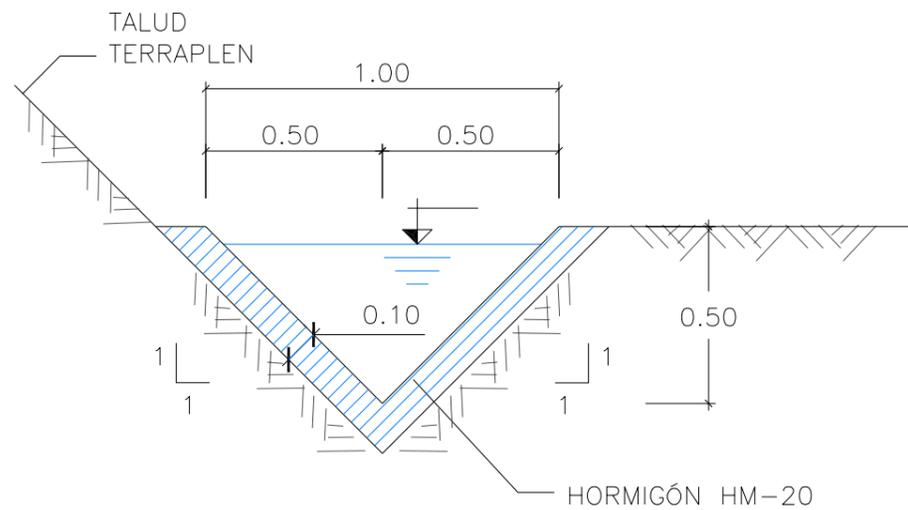
	CAZ-COLECTOR ø 400	CAZ-COLECTOR ø 600
A	60cm	80cm
B	40cm	60cm



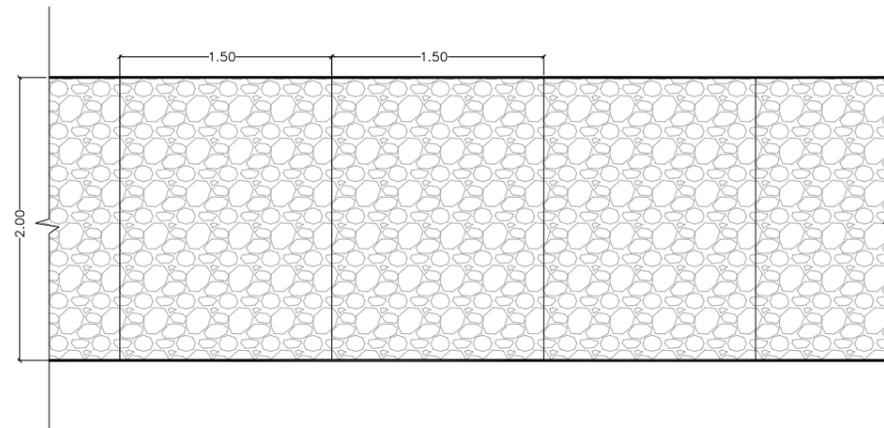
BAJANTE EN DESMONTE
ALZADO. SECCIÓN TIPO
ESCALA 1:70

ESCALA 1:20

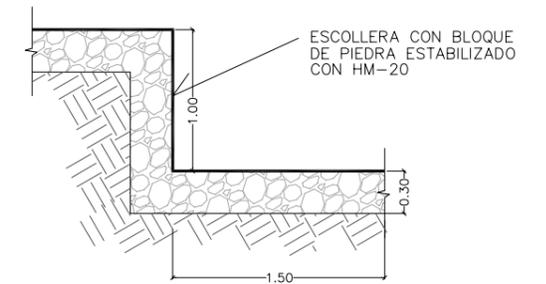
CUNETA TIPO TR-1



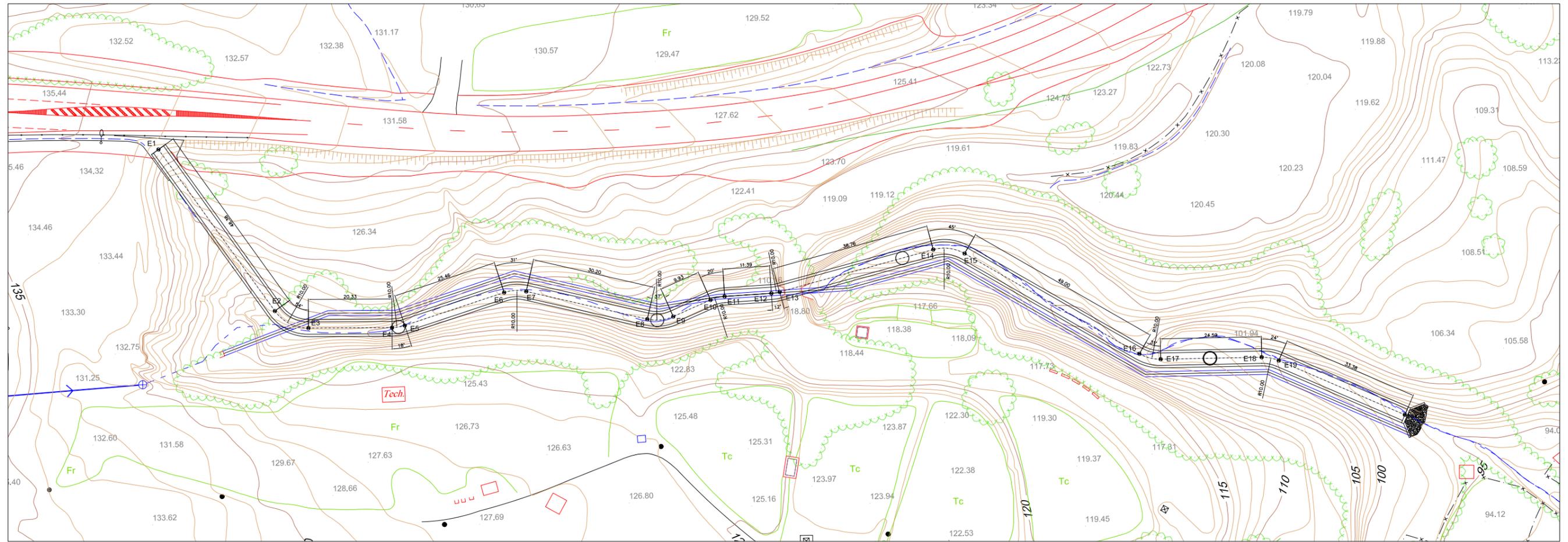
BAJANTE PLANTA
ESCALA 1:50



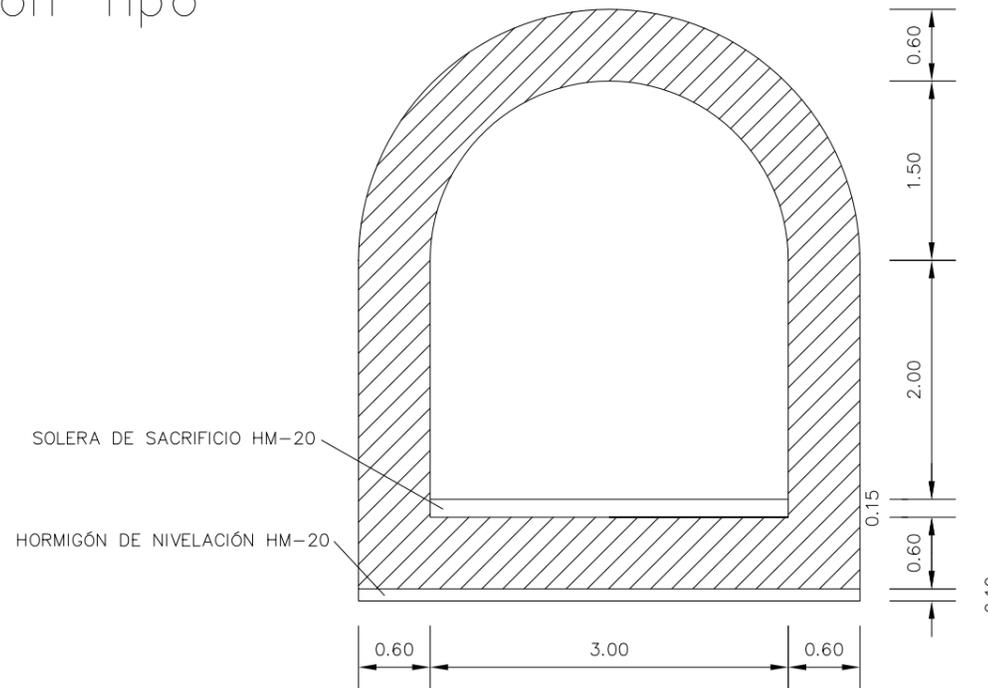
BAJANTE SECCIÓN TIPO
ESCALA 1:50



PLANTA



Sección Tipo



MATERIALES:
 Hormigón: HA-30/P/20/IIa
 Acero barra corrugada: B-500-S
 Hormigón en masa: HM-20
 Recubrimiento: 5 cm
 Control: Normal

GEOMETRÍA:
 Longitud: aprox. 341 m
 Volum. hormigón/mL: 8.50 m³/mL
 Volum. hormigón en masa/mL: 0.87 m³/mL
SUPERFICIES m²/mL:
 Encofrado plano trasdós: 5.50 m²/mL
 Encofrado plano intradós: 4.30 m²/mL
 Encofrado curvo trasdós: 6.60 m²/mL
 Encofrado curvo intradós: 4.71 m²/mL
CERCHA: 9.53 m³/mL

E1:	X=406873.92	Y=4598152.11	E11:	X=406944.75	Y=4598028.76
E2:	X=406865.70	Y=4598104.43	E12:	X=406953.25	Y=4598021.16
E3:	X=406868.45	Y=4598095.70	E13:	X=406954.89	Y=4598019.96
E4:	X=406882.76	Y=4598081.25	E14:	X=406988.39	Y=4598000.46
E5:	X=406929.41	Y=4598079.39	E15:	X=406993.03	Y=4597994.34
E6:	X=406907.92	Y=4598067.74	E16:	X=407005.38	Y=4597946.92
E7:	X=406911.87	Y=4598064.07	E17:	X=407008.05	Y=4597942.31
E8:	X=406927.66	Y=4598038.33	E18:	X=407025.59	Y=4597925.08
E9:	X=406932.51	Y=4598034.25	E19:	X=407027.91	Y=4597921.55
E10:	X=406941.75	Y=4598030.61	E20:	X=407039.96	Y=4597890.42

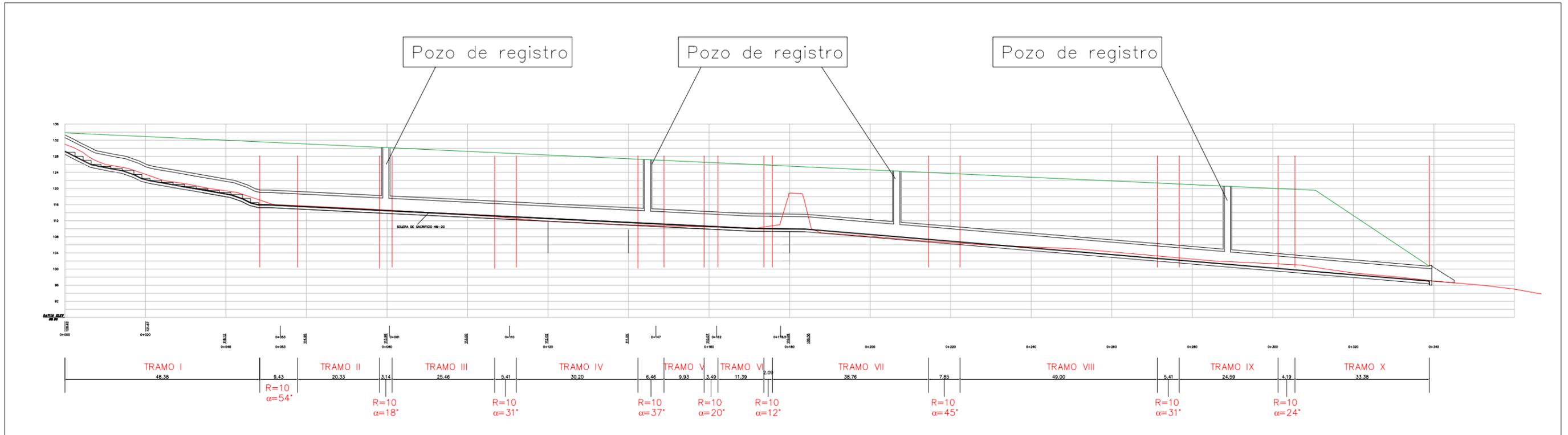
CUADRO DE CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES SEGÚN EHE-98

ELEMENTO	HORMIGÓN		ARMADURA		EJECUCIÓN
	TIPO	f _{ck}	PASIVA	B 500 S	
NIVELACIÓN Y LIMPIEZA	HM-20		LÍMITE ELÁSTICO		DAÑOS MEDIOS
ARCO	HA-30		500 N/mm ²		
MUROS	HA-30		LÍMITE DE ROTURA		
IMPOSTAS	HA-30		600 N/mm ²		
NIVEL DE CONTROL	NORMAL		NORMAL		NORMAL
COEFICIENTE	MINORACIÓN g _c = 1,50		MINORACIÓN g _s = 1,15		MAYORACIÓN g _f = 1,60

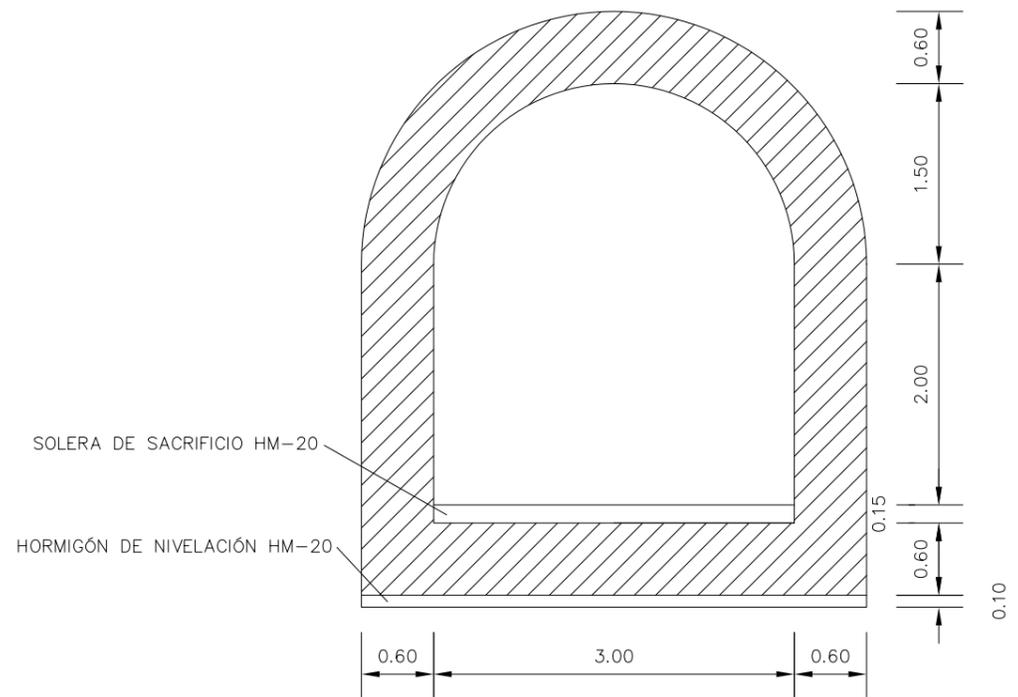
RECUBRIMIENTOS SEGÚN ARTÍCULO 37.2.4 DE LA EHE-98

ANCLAJES Y SOLAPES SEGÚN ARTÍCULO 66 DE LA EHE-98

PERFIL LONGITUDINAL



Sección Tipo



MATERIALES:
 Hormigón: HA-30/P/20/IIa
 Acero barra corrugada: B-500-S
 Hormigón en masa: HM-20
 Recubrimiento: 5 cm
 Control: Normal

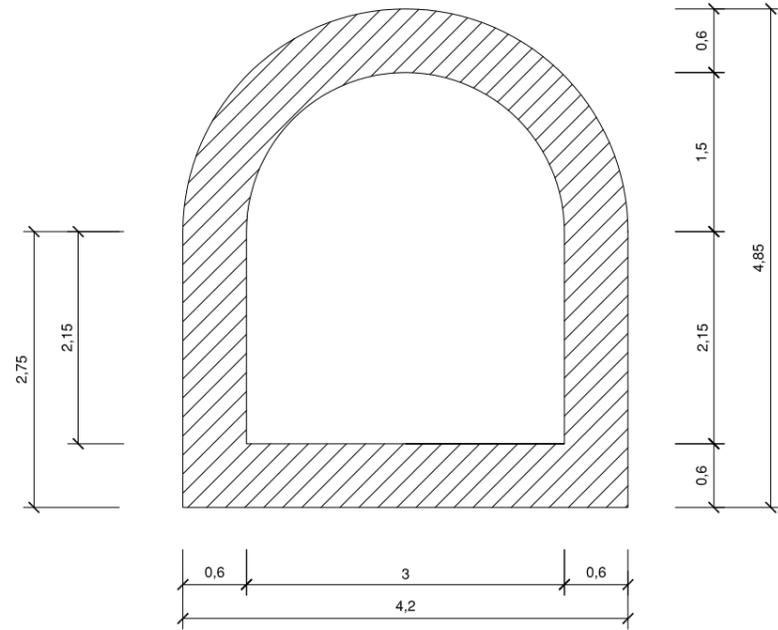
GEOMETRÍA:
 Longitud: aprox. 341 m
 Volum. hormigón/mL: 8.50 m3/mL
 Volum. hormigón en masa/mL: 0.87 m3/mL
SUPERFICIES m2/mL:
 Encofrado plano trasdós: 5.50 m2/mL
 Encofrado plano intradós: 4.30 m2/mL
 Encofrado curvo trasdós: 6.60 m2/mL
 Encofrado curvo intradós: 4.71 m2/mL
CERCHA: 9.53 m3/mL

CUADRO DE CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES SEGÚN EHE-98

ELEMENTO	HORMIGÓN		ARMADURA		EJECUCIÓN
	TIPO	f _{ck}	PASIVA	B 500 S	
ARCO	NIVELACIÓN Y LIMPIEZA	HM-20	LÍMITE ELÁSTICO	500 N/mm ²	DAÑOS MEDIOS
	MUROS	HA-30			
	IMPOSTAS	HA-30			
		HA-30			
			LÍMITE DE ROTURA	600 N/mm ²	
NIVEL DE CONTROL	NORMAL		NORMAL		NORMAL
COEFICIENTE	MINORACIÓN g _c = 1,50		MINORACIÓN g _s = 1,15		MAYORACIÓN g _f = 1,60

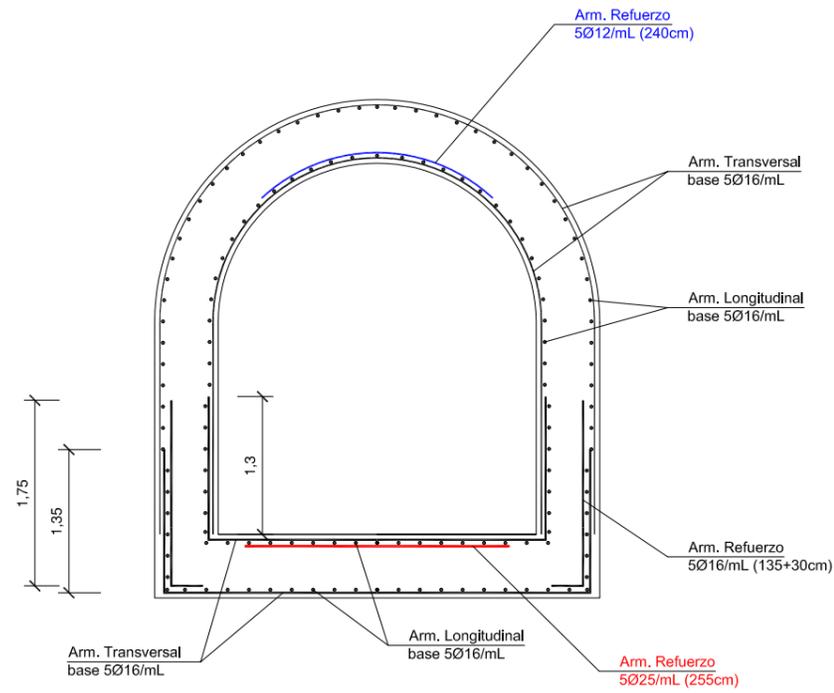
RECUBRIMIENTOS SEGÚN ARTÍCULO 37.2.4 DE LA EHE-98
 ANCLAJES Y SOLAPES SEGÚN ARTÍCULO 66 DE LA EHE-98

Sección Tipo



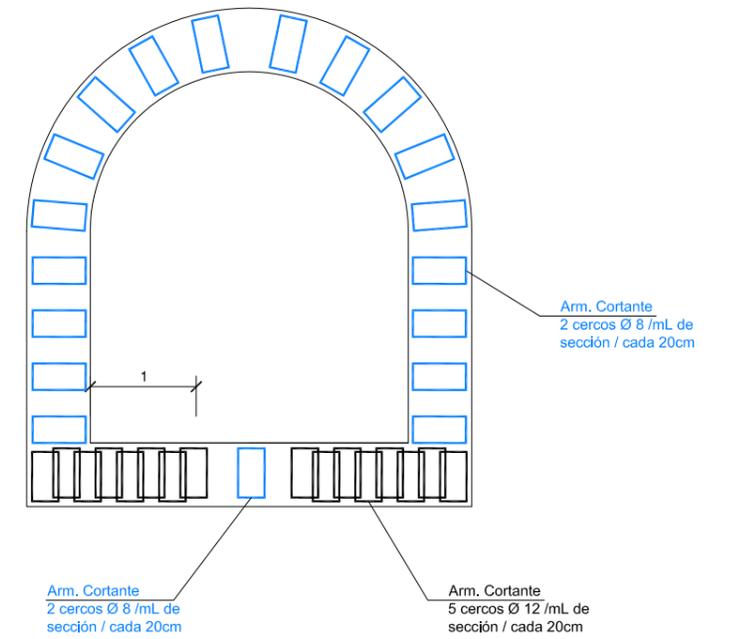
GEOMETRÍA:	
Longitud:	aprox. 180 m
Volumen hormigón/mL:	8.32 m3/mL
SUPERFICIES m2/mL:	
Encofrado plano trasdós:	5.20 m2/mL
Encofrado plano intradós:	4.00 m2/mL
Encofrado curvo trasdós:	6.80 m2/mL
Encofrado curvo intradós:	4.71 m2/mL
CERCHA:	9.53 m3/mL

Armaduras flexión



MATERIALES:	
Hormigón:	HA-30/P/20/IIa
Acero barra corrugada:	B-500-S
Recubrimiento:	5 cm
Control:	Normal

Armaduras cortante

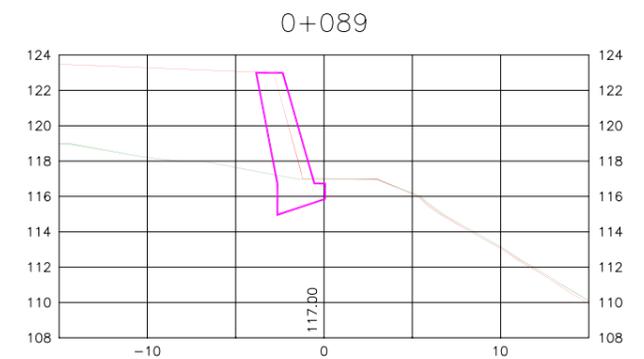
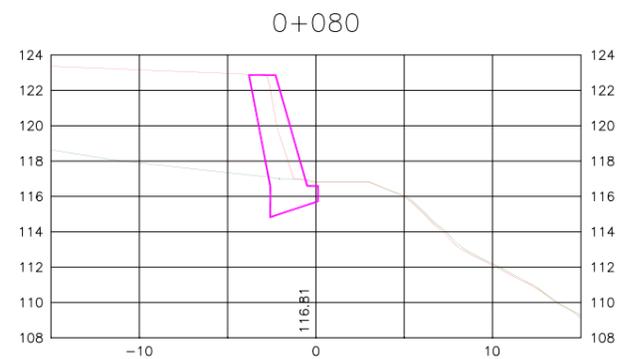
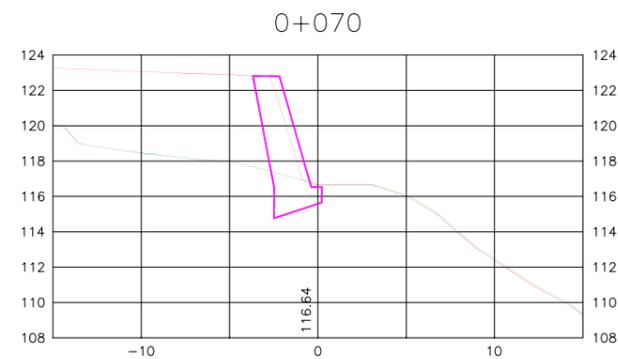
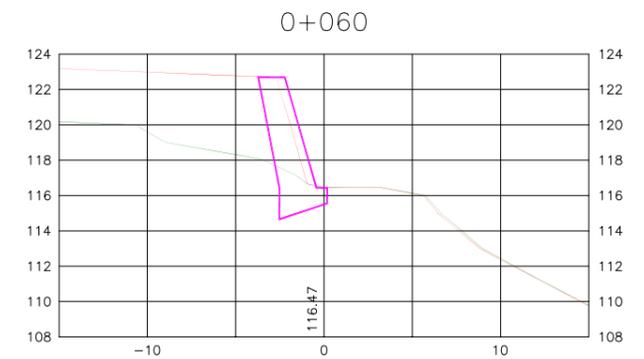
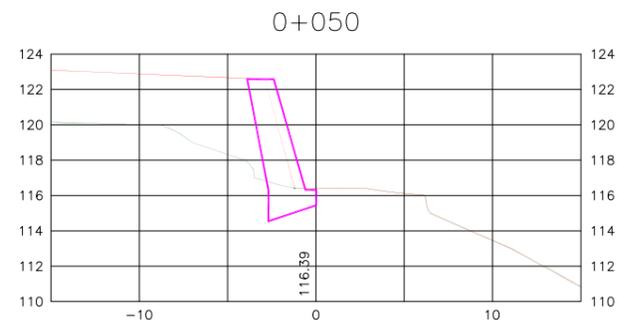
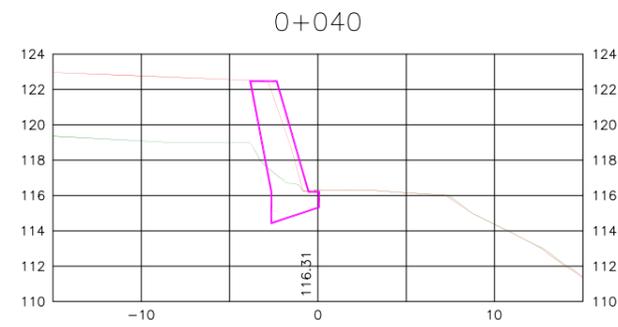
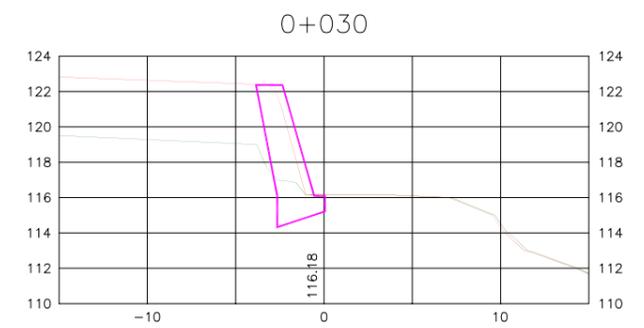
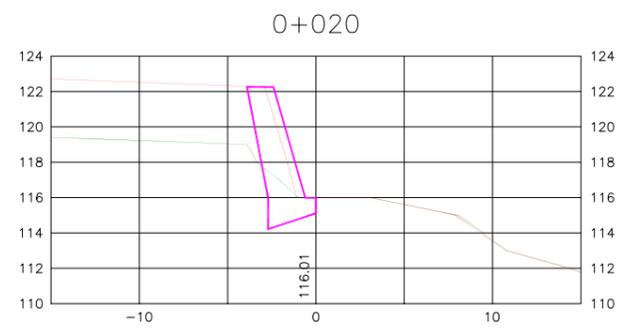
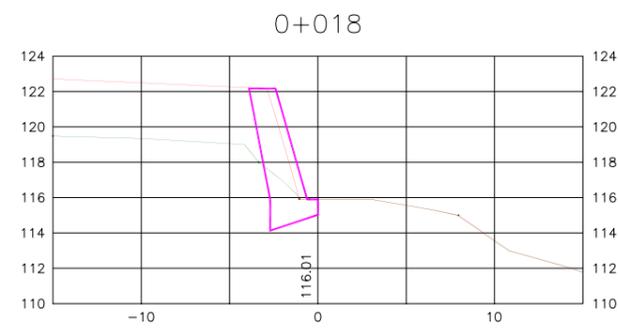


MATERIALES:	
Hormigón:	HA-30/P/20/IIa
Acero barra corrugada:	B-500-S
Recubrimiento:	3.5 cm
Control:	Normal

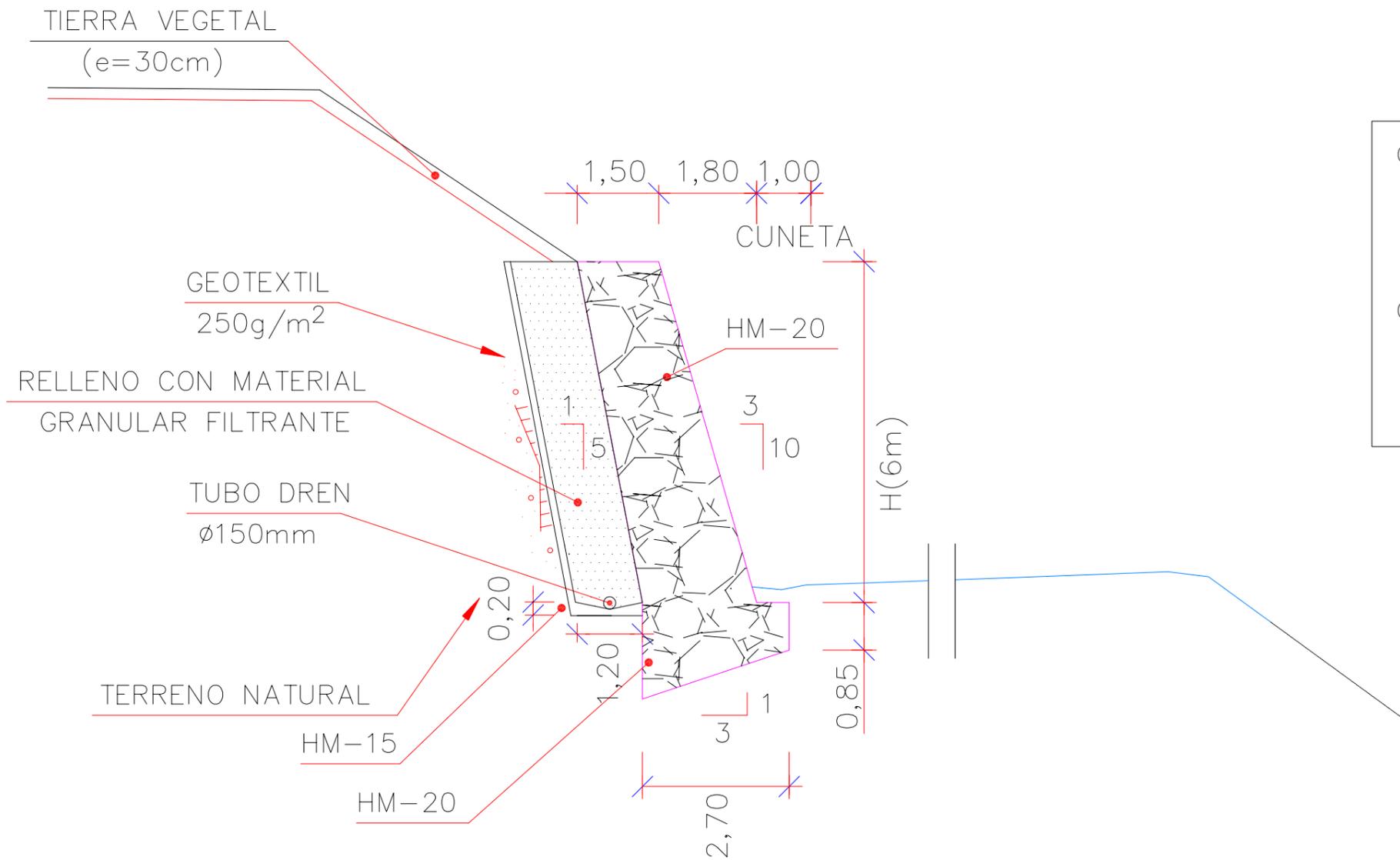
CUADRO DE CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES SEGÚN EHE-98

ELEMENTO	HORMIGÓN		ARMADURA		EJECUCIÓN
	TIPO	f _{ck}	PASIVA	B 500 S	
DAÑOS MEDIOS	NIVELACIÓN Y LIMPIEZA	HM-20	LÍMITE ELÁSTICO 500 N/mm ²	LÍMITE DE ROTURA 600 N/mm ²	DAÑOS MEDIOS
	ARCO	HA-30			
	MUROS	HA-30			
	IMPOSTAS	HA-30			
NIVEL DE CONTROL	NORMAL		NORMAL		NORMAL
COEFICIENTE	MINORACIÓN g _c = 1,50		MINORACIÓN g _s = 1,15		MAYORACIÓN g _f = 1,60

RECUBRIMIENTOS SEGÚN ARTÍCULO 37.2.4 DE LA EHE-98
ANCLAJES Y SOLAPES SEGÚN ARTÍCULO 66 DE LA EHE-98



SECCIÓN TIPO MURO ESCOLLERA

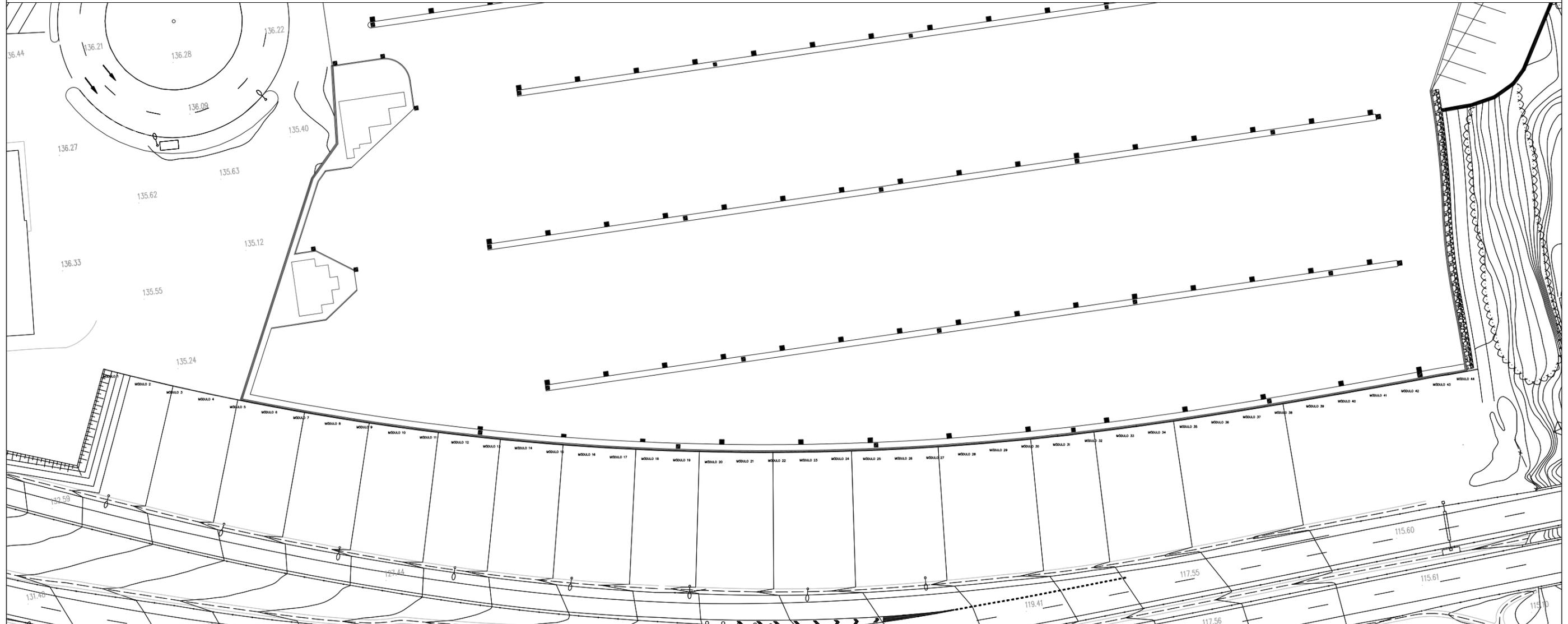
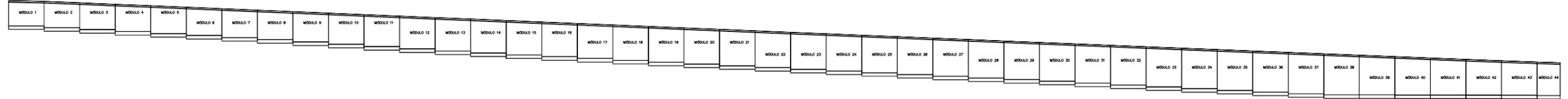


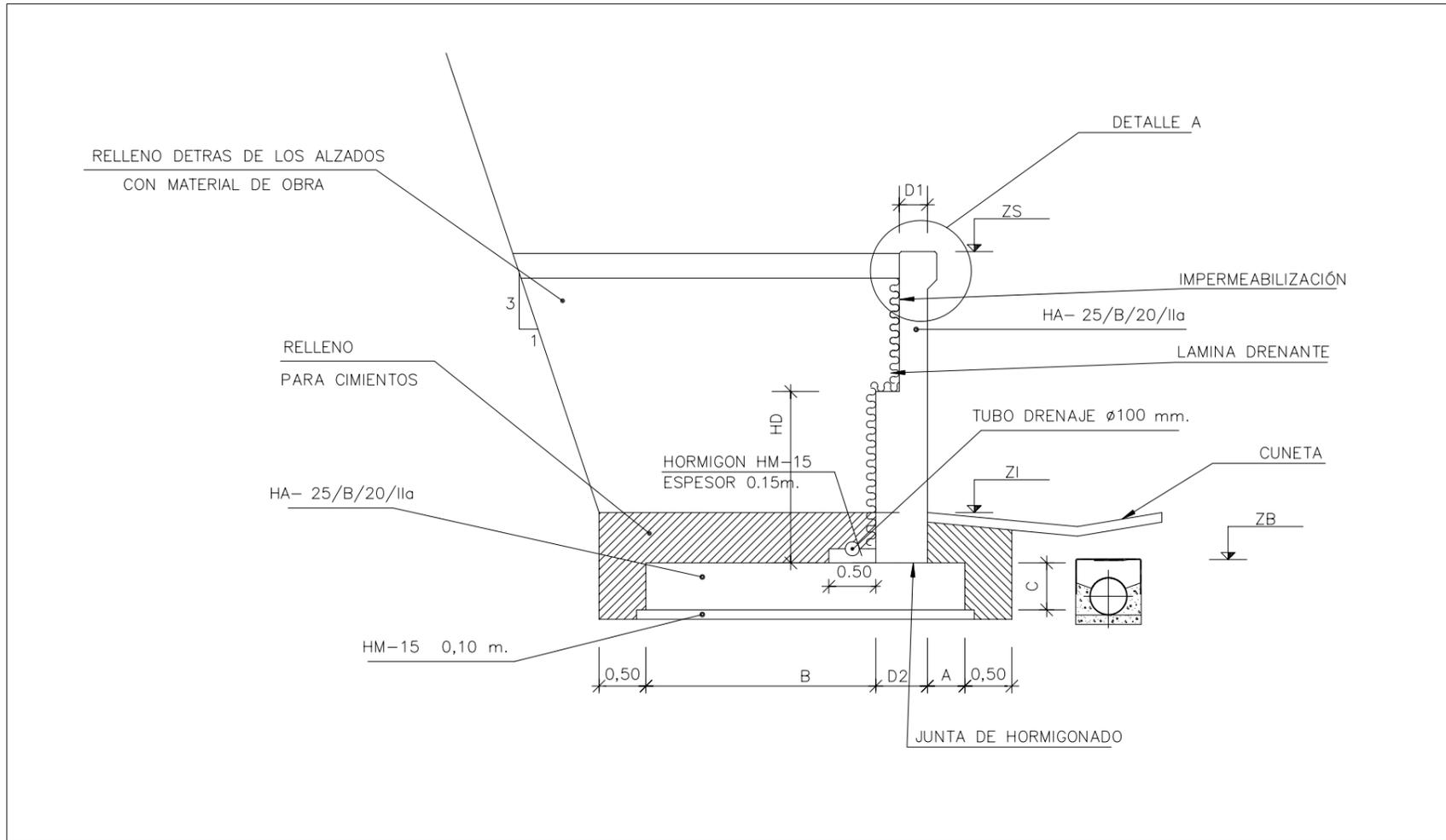
CARACTERÍSTICAS MURO ESCOLLERA:

$$\begin{aligned} \text{tg } \phi_E &= 2 \\ \gamma_E &= 1900 \text{ Kg/m}^3 \end{aligned}$$

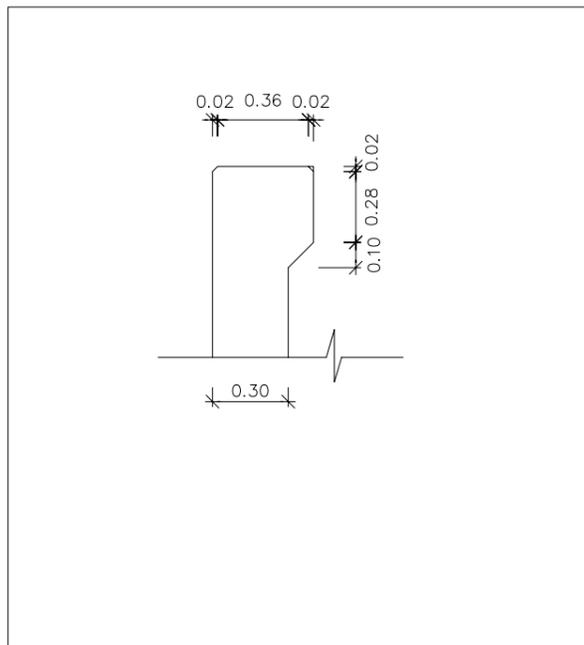
CARACTERÍSTICAS MATERIAL DEL TRASDÓS:

$$\begin{aligned} \phi_T &= 35^\circ \\ \gamma_T &= 1900 \text{ Kg/m}^3 \end{aligned}$$





DEFINICIÓN EN ALZADO DE LOS MUROS													DEFINICIÓN EN PLANTA				
MÓDULO	ZS1	ZS2	ZI1	ZI2	ZB1	ZB2	H1	H2	D1	D2	HD	C	L	A	B	M1	M2
1	136.266	136.086	132.001	131.581	131.001	130.581	5.265	5.505	0.300	0.800	4.000	0.800	8.000	1.200	3.800	100.000	100.000
2	136.086	135.778	131.581	131.162	130.581	130.162	5.505	5.616	0.300	0.800	4.000	0.800	8.000	1.200	3.800	100.000	100.000
3	135.778	135.445	131.162	130.730	130.162	129.730	5.616	5.715	0.300	1.000	4.000	1.000	8.000	1.700	4.100	100.000	100.000
4	135.445	135.113	130.730	130.286	129.730	129.286	5.715	5.827	0.300	1.000	4.000	1.000	8.000	1.700	4.100	100.000	100.000
5	135.113	134.779	130.286	129.842	129.286	128.842	5.827	5.937	0.300	1.000	4.000	1.000	8.000	1.700	4.100	100.000	100.000
6	134.779	134.445	129.842	129.390	128.842	128.390	5.937	6.055	0.300	1.000	4.000	1.000	8.000	1.700	4.100	100.000	100.000
7	134.445	134.111	129.390	128.937	128.390	127.937	6.055	6.174	0.300	1.000	4.000	1.000	8.000	1.700	4.100	100.000	100.000
8	134.111	133.777	128.937	128.450	127.937	127.450	6.174	6.327	0.300	1.000	4.000	1.000	8.000	1.700	4.100	100.000	100.000
9	133.777	133.443	128.450	127.927	127.450	126.927	6.327	6.516	0.300	1.000	4.000	1.000	8.000	1.700	4.100	100.000	100.000
10	133.443	133.109	127.927	127.405	126.927	126.405	6.516	6.704	0.300	1.000	4.000	1.200	8.000	2.300	4.800	100.000	100.000
11	133.109	132.773	127.405	126.896	126.405	125.896	6.704	6.877	0.300	1.000	4.000	1.200	8.000	2.300	4.800	100.000	100.000
12	132.773	132.440	126.896	126.386	125.896	125.386	6.877	7.054	0.300	1.000	4.000	1.200	8.000	2.300	4.800	100.000	100.000
13	132.440	132.107	126.386	125.905	125.386	124.905	7.054	7.202	0.300	1.000	4.000	1.200	8.000	2.300	4.800	100.000	100.000
14	132.107	131.776	125.905	125.453	124.905	124.453	7.202	7.323	0.300	1.000	4.000	1.200	8.000	2.300	4.800	100.000	100.000
15	131.776	131.443	125.453	125.000	124.453	124.000	7.323	7.443	0.300	1.000	4.000	1.200	8.000	2.300	4.800	100.000	100.000
16	131.443	131.110	125.000	124.600	124.000	123.600	7.443	7.510	0.300	1.000	4.000	1.200	8.000	2.300	4.800	100.000	100.000
17	131.110	130.775	124.600	124.200	123.600	123.200	7.510	7.575	0.300	1.000	4.000	1.200	8.000	2.300	4.800	100.000	100.000
18	130.775	130.443	124.200	123.792	123.200	122.792	7.575	7.651	0.300	1.000	4.000	1.200	8.000	2.300	4.800	100.000	100.000
19	130.443	130.111	123.792	123.377	122.792	122.377	7.651	7.734	0.300	1.200	5.000	1.400	8.000	2.900	5.200	100.000	100.000
20	130.111	129.779	123.377	122.962	122.377	121.962	7.734	7.817	0.300	1.200	5.000	1.400	8.000	2.900	5.200	100.000	100.000
21	129.779	129.447	122.962	122.567	121.962	121.567	7.817	7.880	0.300	1.200	5.000	1.400	8.000	2.900	5.200	100.000	100.000
22	129.447	129.117	122.567	122.173	121.567	121.173	7.880	7.944	0.300	1.200	5.000	1.400	8.000	2.900	5.200	100.000	100.000
23	129.117	128.789	122.173	121.780	121.173	120.780	7.944	8.009	0.300	1.200	5.000	1.400	8.000	2.900	5.200	100.000	100.000
24	128.789	128.461	121.780	121.388	120.780	120.388	8.009	8.073	0.300	1.200	5.000	1.400	8.000	2.900	5.200	100.000	100.000
25	128.461	128.132	121.388	120.997	120.388	119.997	8.073	8.135	0.300	1.200	5.000	1.400	8.000	2.900	5.200	100.000	100.000
26	128.132	127.804	120.997	120.598	119.997	119.598	8.135	8.206	0.300	1.200	5.000	1.400	8.000	2.900	5.200	100.000	100.000
27	127.804	127.478	120.598	120.199	119.598	119.199	8.206	8.279	0.300	1.200	5.000	1.400	8.000	2.900	5.200	100.000	100.000
28	127.478	127.125	120.199	119.814	119.199	118.814	8.279	8.311	0.300	1.200	5.000	1.400	8.000	2.900	5.200	100.000	100.000
29	127.125	126.827	119.814	119.442	118.814	118.442	8.311	8.385	0.300	1.200	5.000	1.400	8.000	2.900	5.200	100.000	100.000
30	126.827	126.503	119.442	119.070	118.442	118.070	8.385	8.433	0.300	1.200	5.000	1.400	8.000	2.900	5.200	100.000	100.000
31	126.503	126.180	119.070	118.642	118.070	117.642	8.433	8.538	0.300	1.200	5.000	1.400	8.000	2.900	5.200	100.000	100.000
32	126.180	125.858	118.642	118.214	117.642	117.214	8.538	8.644	0.300	1.200	5.000	1.400	8.000	2.900	5.200	100.000	100.000
33	125.858	125.537	118.214	117.804	117.214	116.804	8.644	8.733	0.300	1.200	5.000	1.400	8.000	2.900	5.200	100.000	100.000
34	125.537	125.216	117.804	117.413	116.804	116.413	8.733	8.803	0.300	1.200	5.000	1.400	8.000	2.900	5.200	100.000	100.000
35	125.216	124.897	117.413	117.022	116.413	116.022	8.803	8.875	0.300	1.200	5.000	1.400	8.000	2.900	5.200	100.000	100.000
36	124.897	124.572	117.022	116.632	116.022	115.632	8.875	8.940	0.300	1.200	5.000	1.400	8.000	2.900	5.200	100.000	100.000
37	124.572	124.259	116.632	116.242	115.632	115.242	8.940	9.017	0.300	1.200	5.000	1.400	8.000	2.900	5.200	100.000	100.000
38	124.259	123.941	116.242	116.029	115.242	115.029	9.017	8.912	0.300	1.200	5.000	1.400	8.000	2.900	5.200	100.000	100.000
39	123.941	123.624	116.029	115.993	115.029	114.993	8.912	8.631	0.300	1.200	5.000	1.400	8.000	2.900	5.200	100.000	100.000
40	123.624	123.307	115.993	115.957	114.993	114.957	8.631	8.350	0.300	1.200	5.000	1.400	8.000	2.900	5.200	100.000	100.000
41	123.307	122.989	115.957	115.946	114.957	114.946	8.350	8.043	0.300	1.200	5.000	1.400	8.000	2.900	5.200	100.000	100.000
42	122.989	122.697	115.946	115.935	114.946	114.935	8.043	7.762	0.300	1.200	4.000	1.400	8.000	2.900	5.200	100.000	100.000
43	122.697	122.413	115.935	115.897	114.935	114.897	7.762	7.516	0.300	1.000	4.000	1.200	8.000	2.300	4.800	100.000	100.000
44	122.413	122.252	115.897	115.856	114.897	114.856	7.516	7.396	0.300	1.000	4.000	1.200	5.192	2.300	4.800	100.000	100.000



CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

HORMIGONES
 CAPAS DE LIMPIEZA HM-20
 ZAPATAS HA-25/B/20/IIa
 ALZADO MUROS HA-25/B/20/IIa

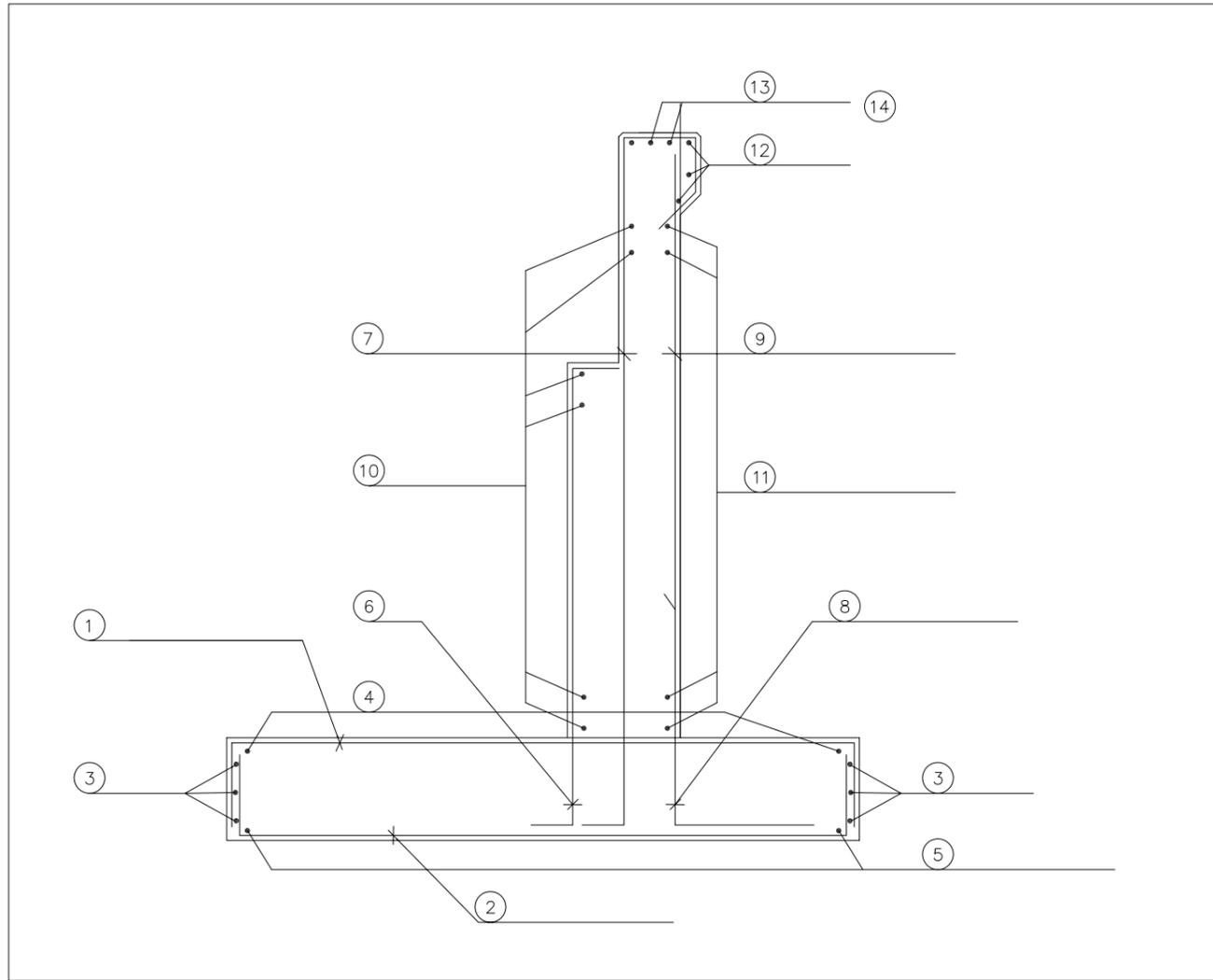
ARMADURA PASIVA
 * ACERO B 500 S
 - ACERO SOLDABLE
 - LÍMITE ELÁSTICO (fyk) ≥ 500 N/mm²
 - CARGA DE ROTURA (fs) > 550 N/mm²
 - MÓDULO DE ELASTICIDAD = 200.000 N/mm²

NIVELES DE CONTROL

CONTROL DE LOS MATERIALES: HORMIGONES: CONTROL ESTADÍSTICO
 ACERO PASIVO: NIVEL NORMAL
 ACERO ACTIVO: NIVEL NORMAL

CONTROL DE EJECUCIÓN: NIVEL INTENSO

* LOS NIVELES DE CONTROL ESTAN DEFINIDOS SEGÚN LA INSTRUCCIÓN EHE (ARTÍCULOS 88,90.1 Y 95)

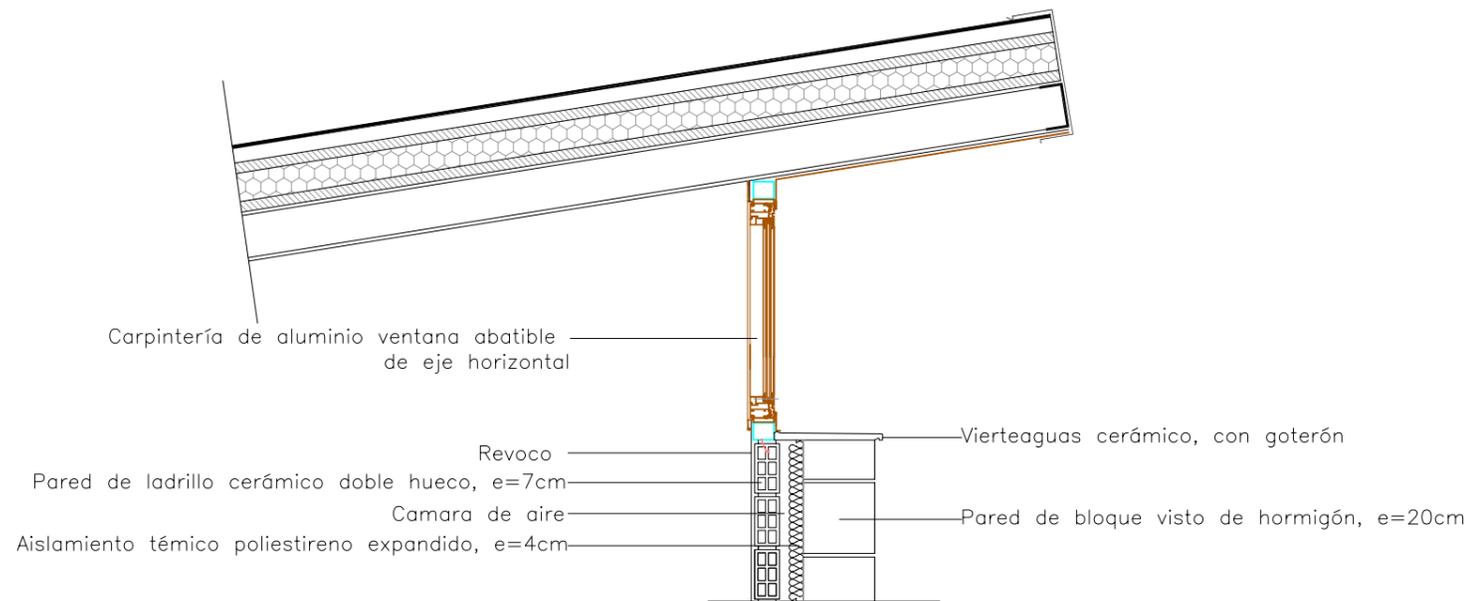


POSICIÓN	Ø mm	Nº de piezas	LONGITUD m	FORMA	LONGITUD TOTAL	PESO Kg/m	PESO Kg	PESO TOTAL Kg
MÓDULOS 1 y 2 (6m)								
1	20	84	7.4	40 660 40	621.59	2.47	534.54	TOTAL= 4323.83 Kg.
2	20	31	7.4	40 660 40	231.15	2.47	570.66	
3	12	10	8	195 410 195	81.49	0.89	72.42	
4	12	37	8	40 720 40	295.39	0.89	262.53	
5	12	37	8	40 720 40	295.39	0.89	262.53	
6	20	42	4	20 380	166.08	2.47	410.00	
7	12	13	7.4	20 720	94.38	0.89	83.88	
8	12	15	4	20 380	61.12	0.89	54.32	
9	12	15	3.4	340	51.95	0.89	46.17	
10	20	16	8	20 760 20	130.38	2.47	321.87	
11	20	33	8	20 760 20	260.76	2.47	643.75	
12	16	3	8	30 740 30	24	1.58	37.92	
13	12	2	8	30 740 30	16.00	0.89	14.22	
14	12	5	1.2	30 60 30	6.00	0.89	5.33	
15	8	5	2.03	30 143 30	9.36	0.40	3.70	
16	0	0	0	0 0 0	0	0.00	0.00	
B-500S					Fyk $\leq 500 \text{ N/mm}^2$			

POSICIÓN	Ø mm	Nº de piezas	LONGITUD m	FORMA	LONGITUD TOTAL	PESO Kg/m	PESO Kg	PESO TOTAL Kg
MÓDULOS 3,4,5,6,7,8 y 9 (7m)								
1	16	50	4.10	40 350 40	511.14	3.86	1971.69	TOTAL= 6019.27 Kg.
2	20	39	8.8	40 800 40	343.60	2.47	848.27	
3	16	9	8	195 410 195	71.62	1.58	113.16	
4	16	30	8	40 490 40	243.51	1.58	384.74	
5	16	30	8	40 720 40	243.51	1.58	384.74	
6	20	39	4	20 380	156.18	2.47	385.58	
7	12	41	8.6	20 840	354.23	0.89	314.82	
8	12	19	4	20 380	76.39	0.89	67.90	
9	12	19	4.6	460	87.85	0.89	78.08	
10	20	24	8	20 360 20	190.14	2.47	469.40	
11	20	48	8	20 360 20	380.27	2.47	938.80	
12	16	3	8	30 740 30	24.00	37.92	26.1	
13	16	3	8	30 740 30	24	1.58	37.92	
14	12	5	1.2	30 60 30	6.00	0.89	5.33	
15	8	5	2.41	30 181 30	11.71	0.40	4.63	
16	0	0	0	0 0 0	0	0.00	0.00	
B-500S					Fyk $\leq 500 \text{ N/mm}^2$			

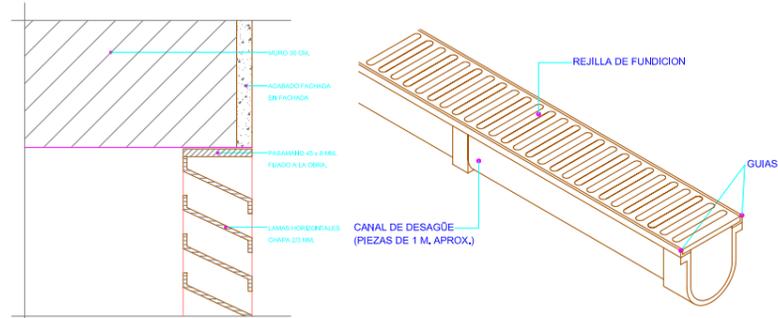
POSICIÓN	Ø mm	Nº de piezas	LONGITUD m	FORMA	LONGITUD TOTAL	PESO Kg/m	PESO Kg	PESO TOTAL Kg
MÓDULOS 10 a 18 y 43 a 44 (8m)								
1	25	73	10.1	40 930 40	735.30	3.86	2836.37	TOTAL= 1390.21 Kg.
2	25	30	10.1	40 930 40	302.87	3.86	1168.30	
3	16	11	8	195 410 195	85.94	1.58	135.79	
4	16	44	8	40 720 40	348.07	1.58	549.95	
5	16	44	8	40 720 40	348.07	1.58	549.95	
6	20	39	4	20 380	156.18	2.47	385.58	
7	12	30	9.8	20 960	290.80	0.89	258.45	
8	12	19	4	20 380	76.39	0.89	67.90	
9	12	19	5.8	580	110.77	0.89	98.45	
10	20	27	8	20 760 20	217.30	2.47	536.46	
11	25	35	8	20 760 20	278.14	3.86	1072.91	
12	16	3	8	30 740 30	24	1.58	37.92	
13	12	2	8	30 740 30	16.00	0.89	14.22	
14	12	5	1.2	30 60 30	6	0.89	5.33	
15	8	6	2.33	30 173 30	14.01	0.40	5.53	
16	8	2	3.15	30 255 30	5.47638	0.40	2.16	
B-500S					Fyk $\leq 500 \text{ N/mm}^2$			

POSICIÓN	Ø mm	Nº de piezas	LONGITUD m	FORMA	LONGITUD TOTAL	PESO Kg/m	PESO Kg	PESO TOTAL Kg
MÓDULOS 19 a 42 (9m)								
1	25	81	11.7	40 1090 40	953.44	3.86	3677.8	TOTAL= 10921.88 Kg.
2	25	35	11.7	40 1090 40	409.33	3.86	1578.94	
3	20	10	8	195 410 195	77.01	2.47	190.11	
4	20	37	8	40 720 40	298.4	2.47	736.66	
5	20	37	8	40 720 40	298.40	2.47	736.66	
6	20	47	5	20 480	234.28	2.47	578.37	
7	20	34	11.4	20 1120	388.27	2.47	958.55	
8	12	23	5	20 480	114.59	0.89	101.84	
9	12	23	6	600	137.51	0.89	122.21	
10	20	37	8	20 760 20	293.35	2.47	724.22	
11	25	47	8	20 760 20	375.49	3.86	1448.43	
12	16	3	8	30 740 30	24	1.58	37.92	
13	12	2	8	30 740 30	16	0.89	14.22	
14	12	5	1.2	30 60 30	6.00	0.89	5.33	
15	10	4	2.89	30 258.38 0.62	11.77	0.62	7.27	
16	10	1	3.81	30 321 30	5.3993	0.62	3.33	
B-500S					Fyk $\leq 500 \text{ N/mm}^2$			

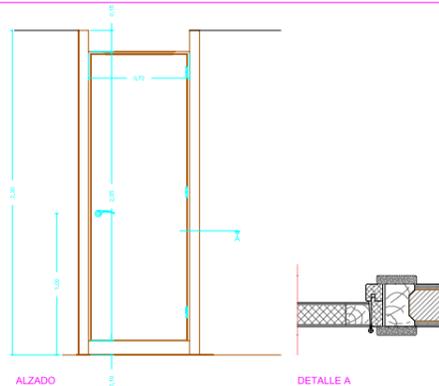


REJILLA DE TOMA DE VENTILACION EN CUARTO DE MÁQUINAS:
 -MARCO PERIMETRAL DE PASAMANO MACIZO 8 x 45 MM. FIJADO A OBRA.
 -LAMAS HORIZONTALES DE CHAPA 2/3 MM. SOLDADO.
 TODO PINTADO AL OXIRÓN COLOR 5/MUESTRA, SOBRE CAPA ANTIOXIDANTE.

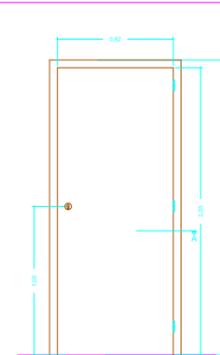
CANAL DE DESAGÜE TIPO AGO DRAIN CON PENDIENTE INCORPORADA
 APROX. 0,6% Y GUIAS PROTECTORAS INTEGRADAS.
 REJILLA DE FUNDICION, ATORNILLADA A LAS GUIAS



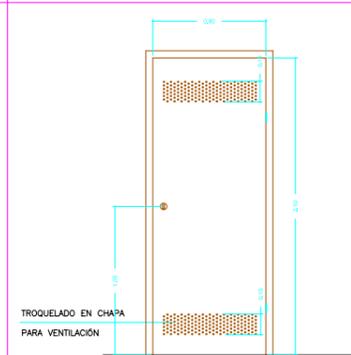
DEFINICIÓN: PUERTA LISA DE 70 CMS. DM PARA PINTAR, COLOR A DEFINIR EN OBRA
 SITUACIÓN: ACCESO A INODOROS

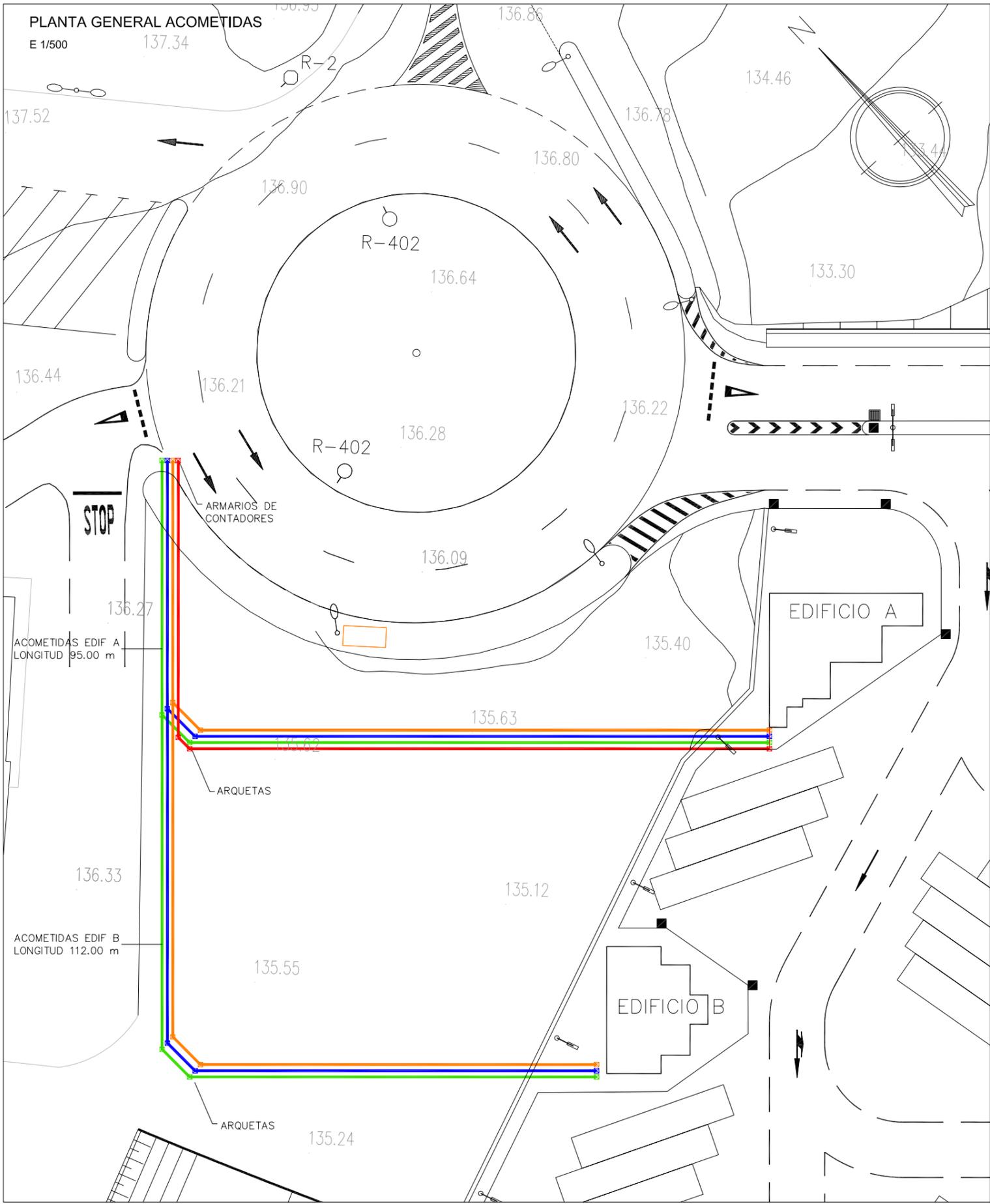


DEFINICIÓN: PUERTA LISA DE 80 CMS.
 SITUACIÓN: ACCESO A CUARTO DE INSTALACIONES

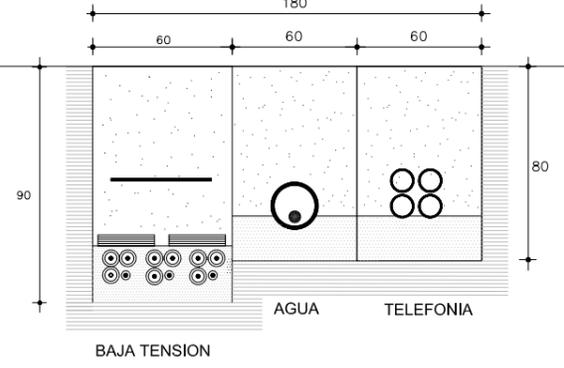


DEFINICIÓN: PUERTA LISA DE 80 CMS.
 SITUACIÓN: CUARTO DE ELECTRICIDAD

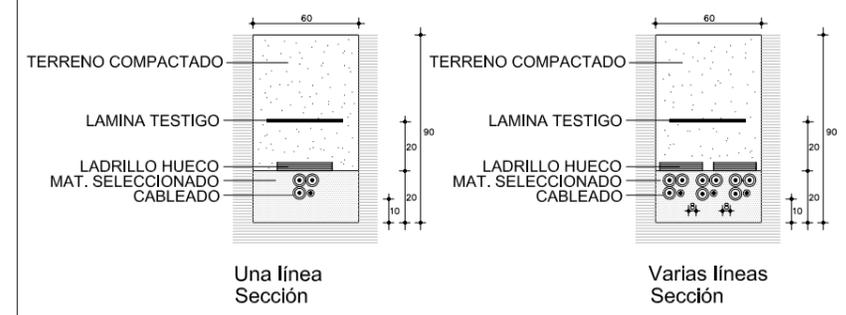




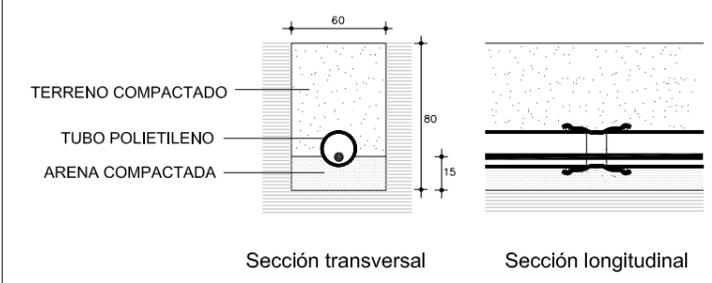
DETALLE COLOCACION ZANJAS



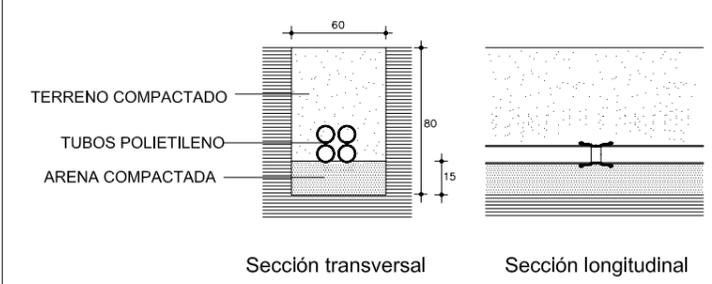
CONDUCCIONES BAJA TENSION SOTERRADAS

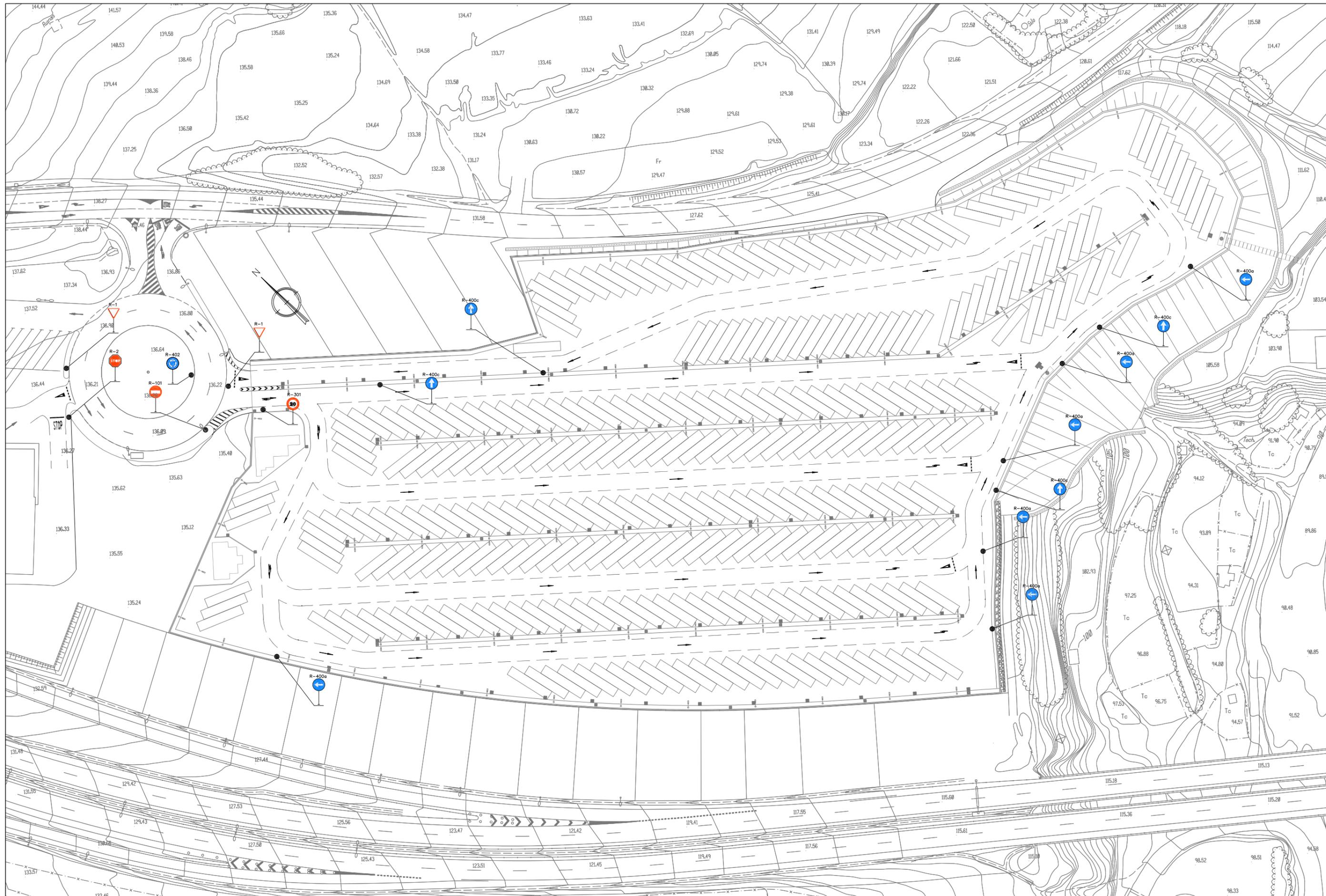


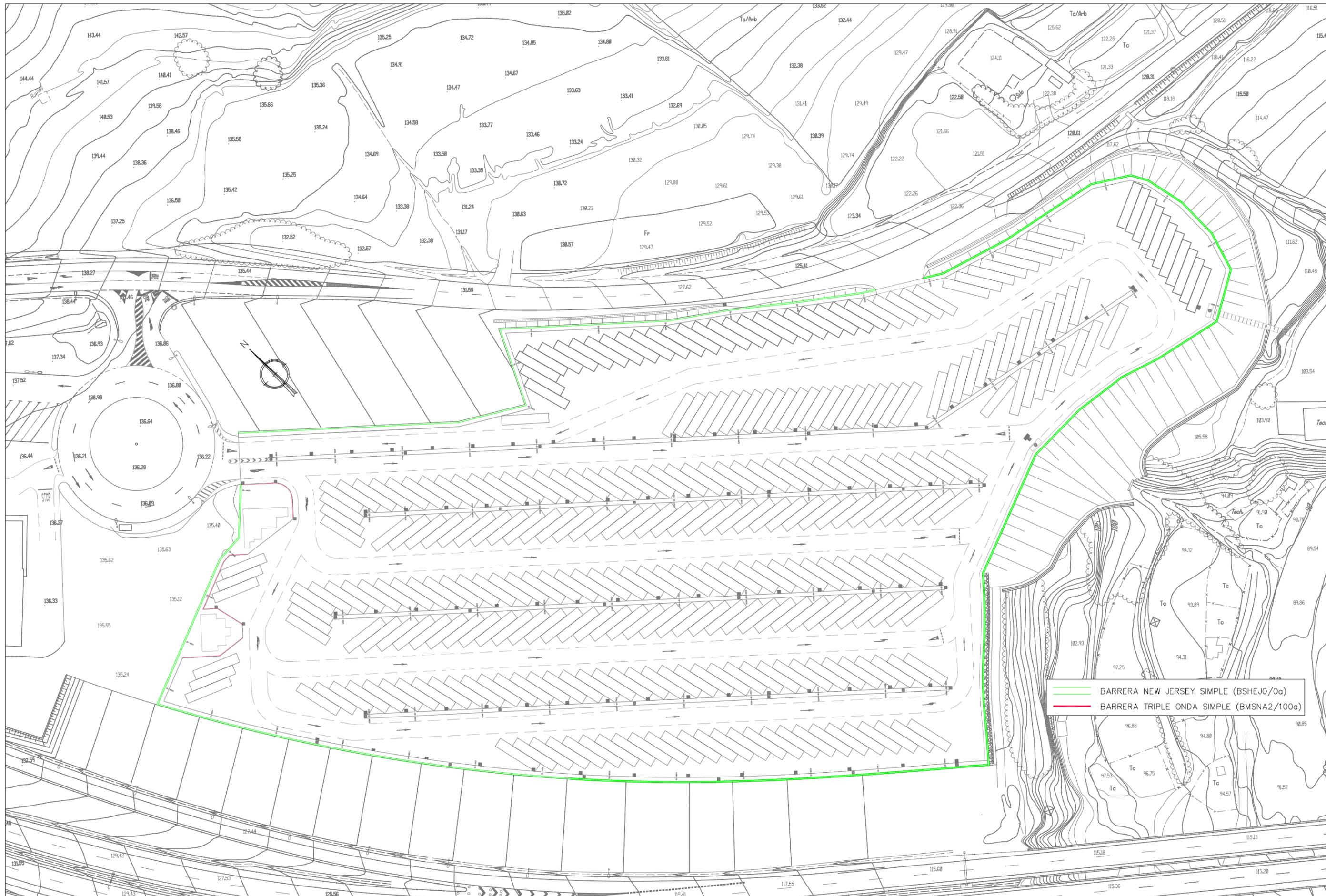
ZANJA CONDUCCION DE POLIETILENO PARA ENTUBAMIENTO TUBERIA AGUA POTABLE



ZANJA CABLEADO TELECOMUNICACIONES

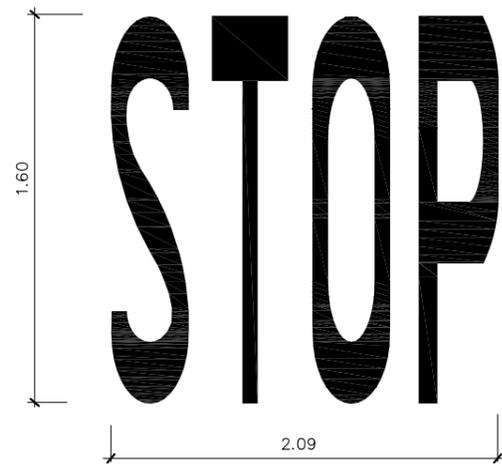






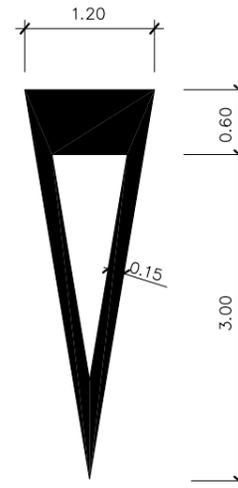
— BARRERA NEW JERSEY SIMPLE (BSHEJO/00a)
— BARRERA TRIPLE ONDA SIMPLE (BMSNA2/100a)

STOP V <60Km/h
(M-6.4)

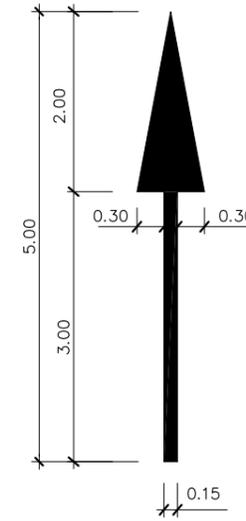


S= 1.23 m²

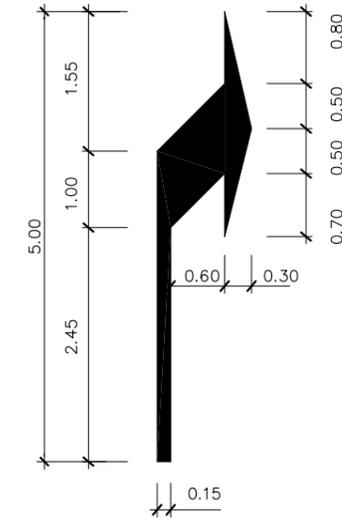
CEDA EL PASO
(M-6.5)



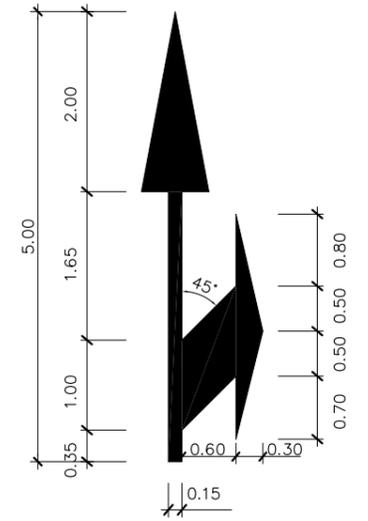
FLECHAS V <60Km/h
(M-5.2)



DE FRENTE
S= 1.20 m²



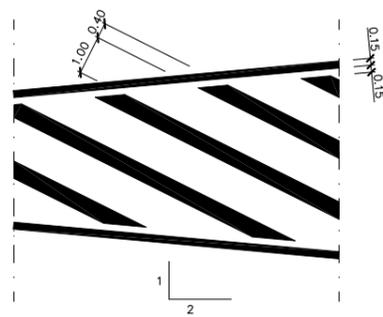
A LA DERECHA
S= 1.5037 m²



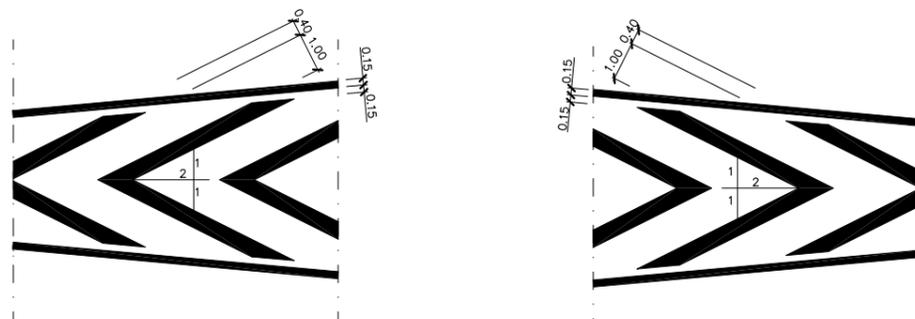
DE FRENTE O A LA DERECHA
S= 2.175 m²

CEBREADO V <60Km/h
(M-7.2)

CIRCULACION EN DOBLE SENTIDO



CIRCULACION EN SENTIDO UNICO



DIVERGENTE

CONVERGENTE

MARCAS LONGITUDINALES DISCONTINUAS (M-1.3)



SEPARACION DE CARRILES <60 Km/h

MARCA LONGITUDINAL CONTINUA (M-2.6)

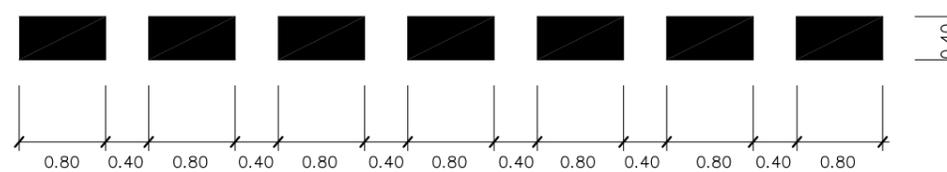
BORDE DE CALZADA V <100 Km/h,



LINEA DE DETENCION (M-4.1)



LINEA DE CEDA EL PASO (M-4.2)





R-301



R-400a



R-400c



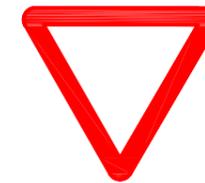
R-401a



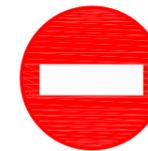
R-402



P-4



R-1



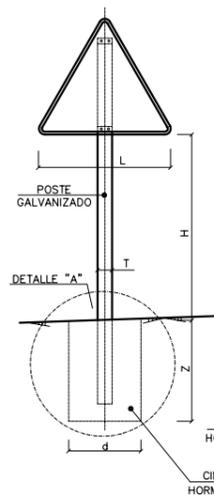
R-101



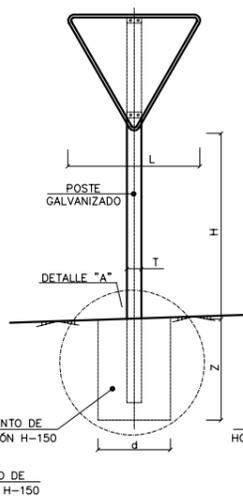
R-2

TIPOS DE SEÑALES

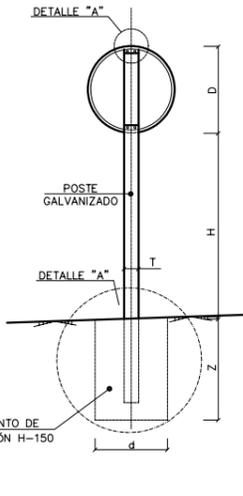
TIPO 1



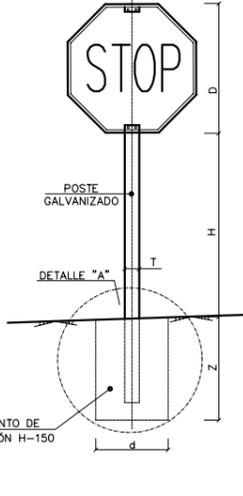
TIPO 2



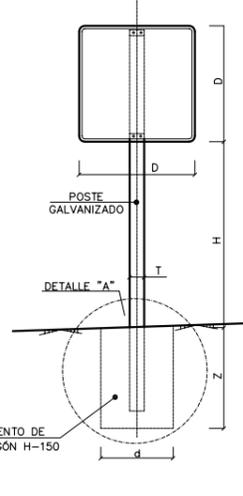
TIPO 3



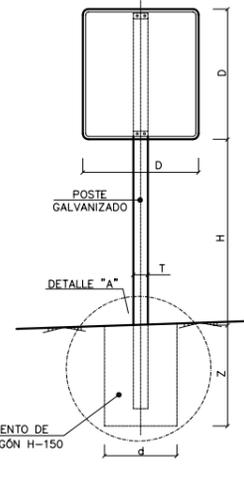
TIPO 4



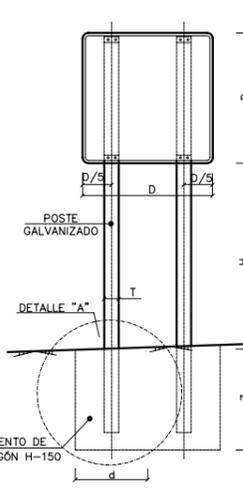
TIPO 5



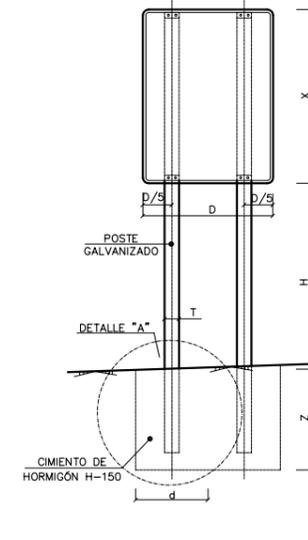
TIPO 6



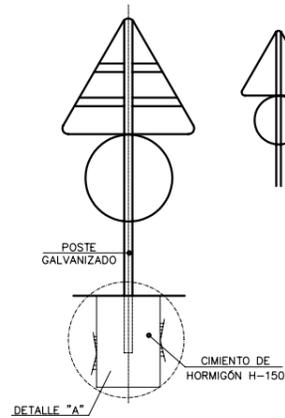
TIPO 7



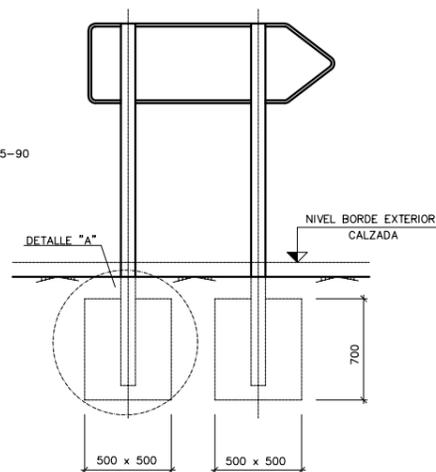
TIPO 8



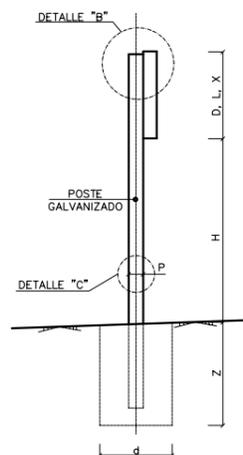
POSTE DE DOS SEÑALES



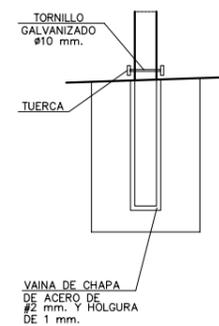
SEÑAL DE DESTINO



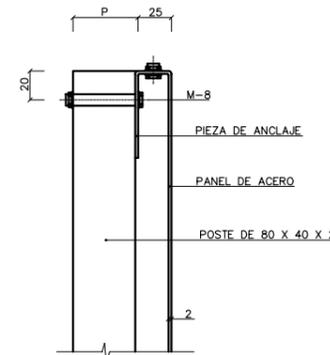
ALZADO TERMINAL



DETALLE "A"



DETALLE "B"
ESCALA 1:20 (COTAS EN mm.)



DETALLE "C"

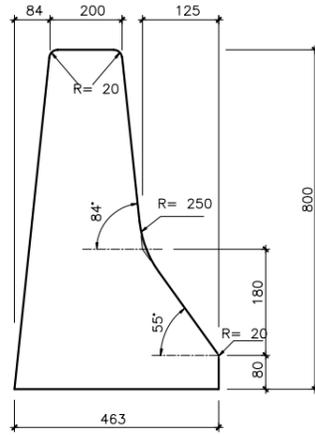


- NOTAS:**
- 1.- LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS SEÑALES (COLOR, DIMENSIONES, ABECEDARIO, ETC...) SEGÚN LAS NORMAS 8.1-I.C. DEL MINISTERIO DE FOMENTO.
 - 2.- LAS SEÑALES INFORMATIVAS SE SITUARÁN DE TAL MODO QUE LA CARA DEL TEXTO SE ORIENTE HACIA EL TRÁFICO, FORMANDO EN PLANTA EL PANEL ÁNGULO DE 5-10 CON LA NORMAL DEL EJE.
 - 3.- LAS CIMENTACIONES SERÁN EN TODOS LOS CASOS CILÍNDRICAS DE DIÁMETRO d.

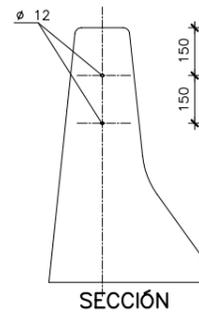
SERIE	SERIE A								SERIE B						SERIE C
	1	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	2	
ALTIMETRIA=Hm	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.50	
MEDIDAS TUBO mm	T	120	100	120	100	120	100	100	100	100	100	100	120	80	
	P	60	60	60	80	80	60	60	50	60	50	60	60	40	
	E	3	3	3	3	4	3	3	3	3	3	3	3	2	
CIMENTACIÓN cm	d	70	80	90	80	90	155/60	125/60	80	60	65	70	80	90	50
	z	100	90	90	100	105	80	100	80	90	80	80	80	90	70

TIPO DE SEÑAL	1 Y 2	3	4	5 Y 7	6 Y 8
SERIE A	AUTOPISTA			—	
	AUTOVÍA VIA RÁPIDA			—	
SERIE B	CARRETERA CONVENCIONAL CON ARCENES				
	CARRETERA CONVENCIONAL SIN ARCENES		—		—

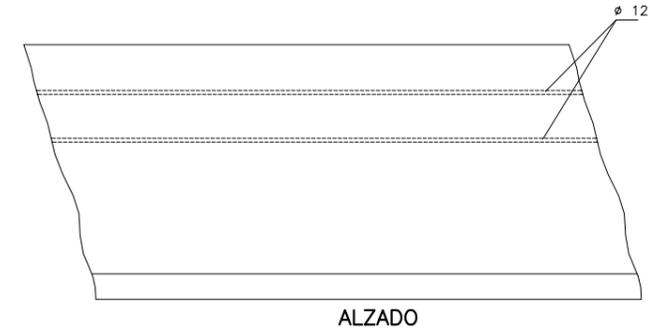
**SECCIÓN TRANSVERSAL BARRERA SIMPLE
BHSEJ0/0a**
COTAS EN MM



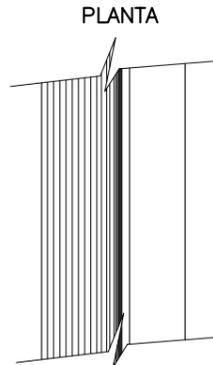
**BARRERA HORMIGÓN
DETALLES**



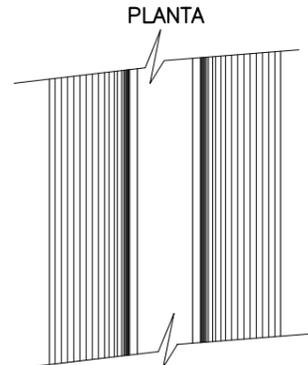
BARRERA DE HORMIGÓN SIMPLE
COTAS EN MM



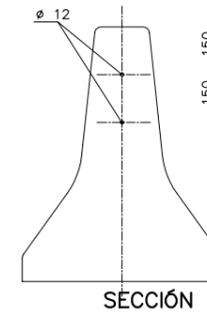
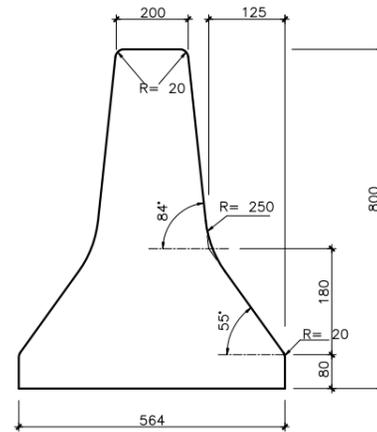
**BARRERA RIGIDA TIPO NEW JERSEY
CON PERFIL A UNA CARA**
E-1/10



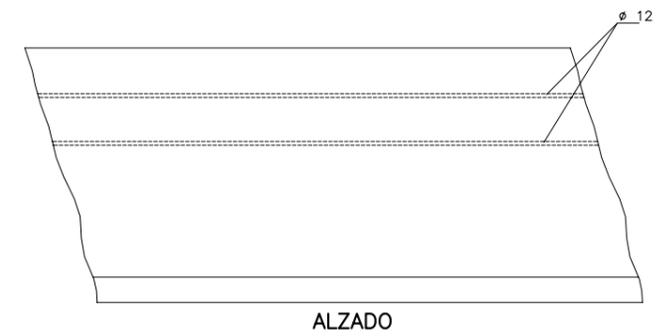
**BARRERA RIGIDA TIPO NEW JERSEY
CON PERFIL A DOS CARAS**
E-1/10



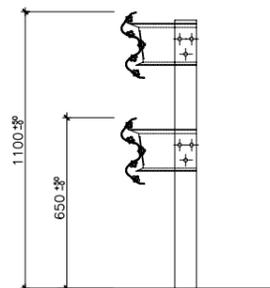
**SECCIÓN TRANSVERSAL BARRERA DOBLE
BHDEJ0/0a**
COTAS EN MM



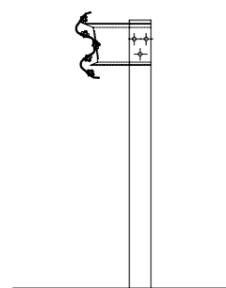
BARRERA DE HORMIGÓN DOBLE
COTAS EN MM



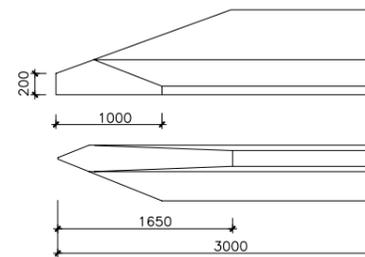
**BARRERA METALICA SIMPLE CON
DOS VALLAS SIMPLES**
BMSNC2/120a
COTAS EN MM



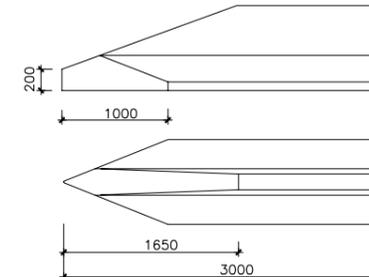
**BARRERA TRIPLE ONDA SIMPLE,
SEPARADOR LARGO**
BMSNA2/100a
COTAS EN MM



DESVANECIMIENTO DE LA BARRERA SIMPLE
COTAS EN MM

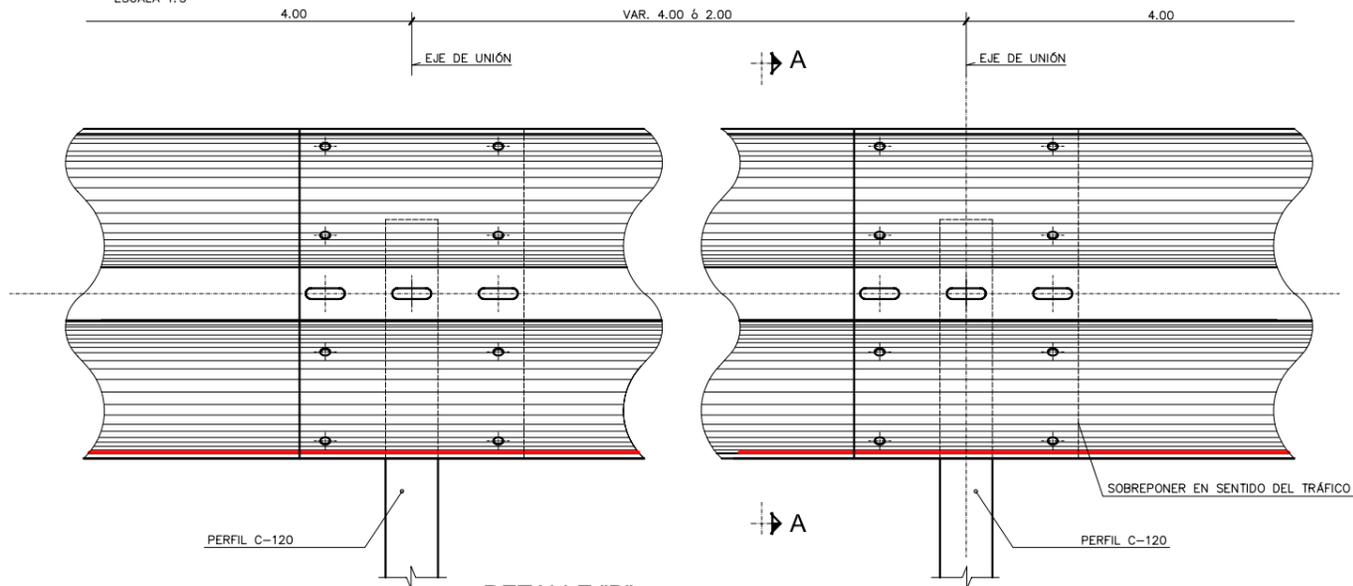


DESVANECIMIENTO DE LA BARRERA DOBLE
COTAS EN MM



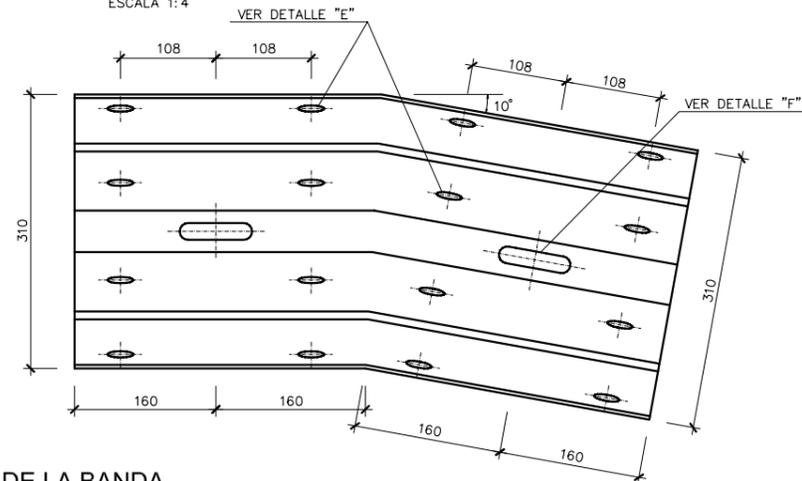
ALZADO BARRERA DE SEGURIDAD

ESCALA 1:3

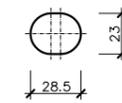


DETALLE "B" PIEZA ANGULAR

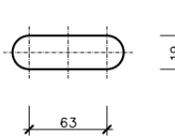
ESCALA 1:4



DETALLE "E"

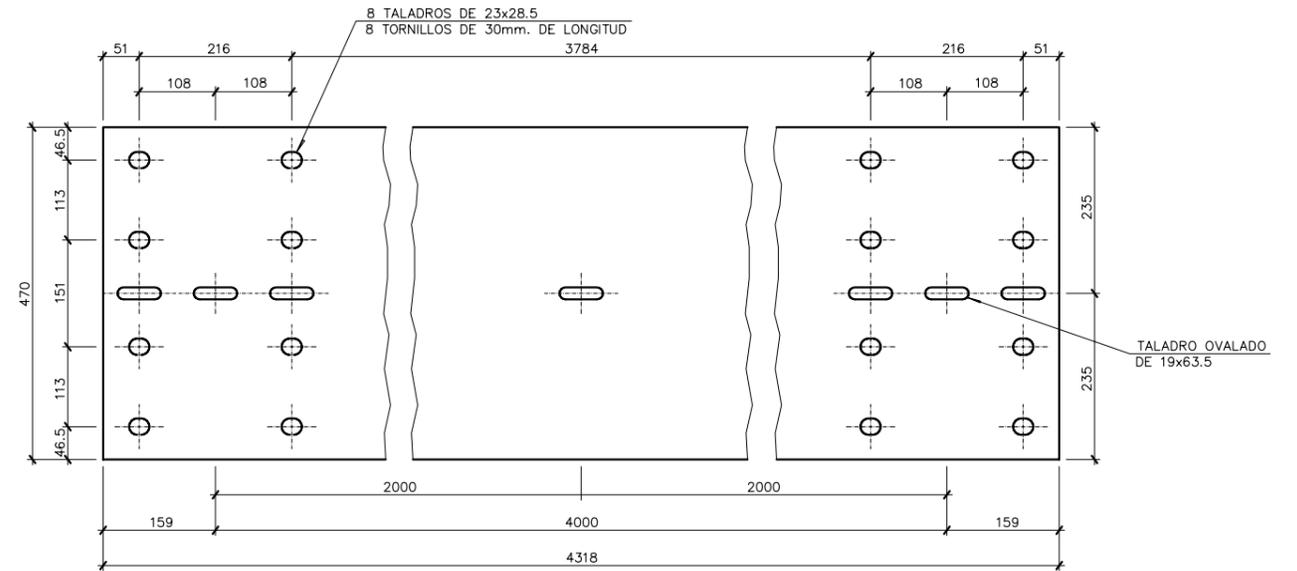


DETALLE "F"



DESARROLLO DE LA BARRERA

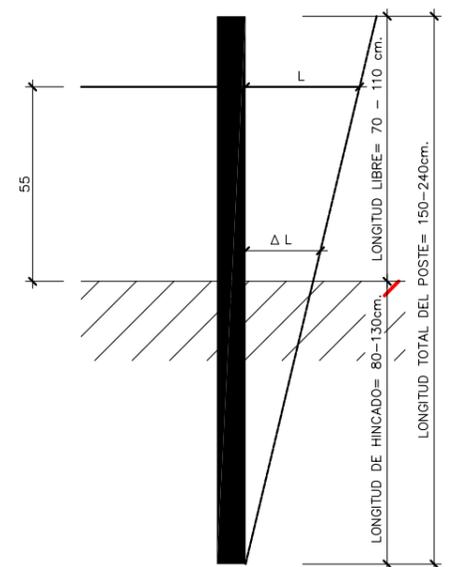
ESCALA 1:5



H = 450 PARA H = 2000
H = 250 PARA H = 1500

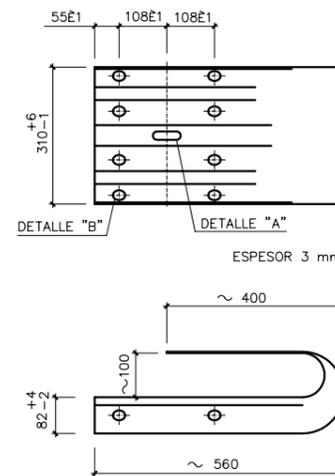
$\Delta L < 150$

DETALLE DE HINCA



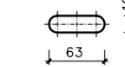
TOPE FINAL DE BARRERA SIMPLE

ESCALA 1:8 (MEDIDAS EN mm.)



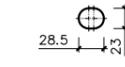
DETALLE "A"

ESCALA 1:4



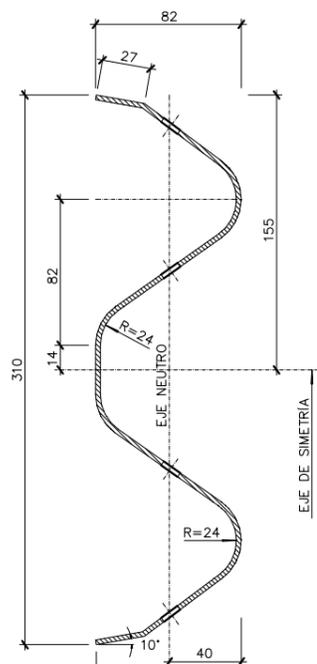
DETALLE "B"

ESCALA 1:4



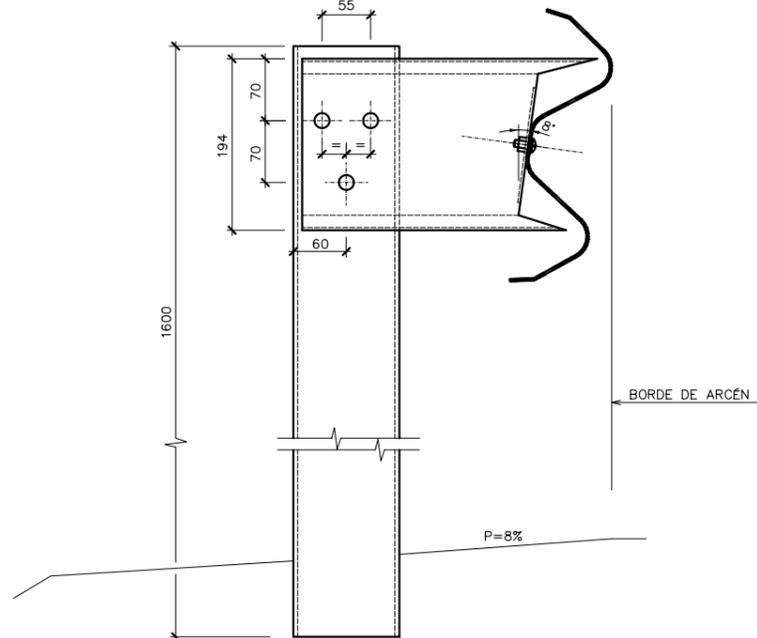
SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA BANDA

ESCALA 1:2



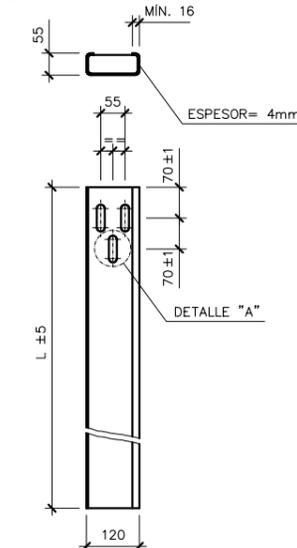
SECCIÓN A-A

ESCALA 1:4



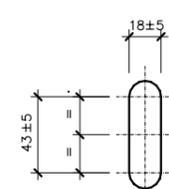
POSTE ESTÁNDAR - C120

ESCALA 1:8



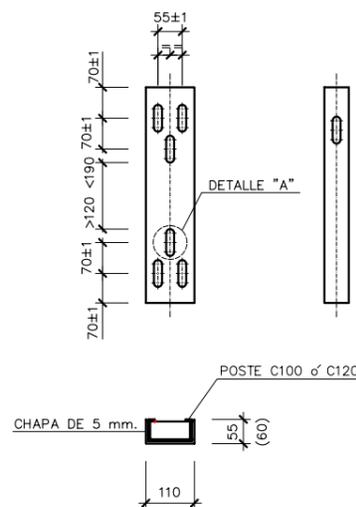
DETALLE "A"

ESCALA 1:2



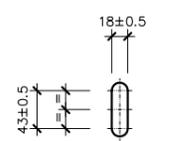
PIEZA DE RECRECIDO

ESCALA 1:8



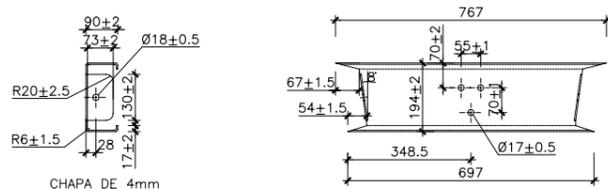
DETALLE "A"

ESCALA 1:4



SEPARADORES

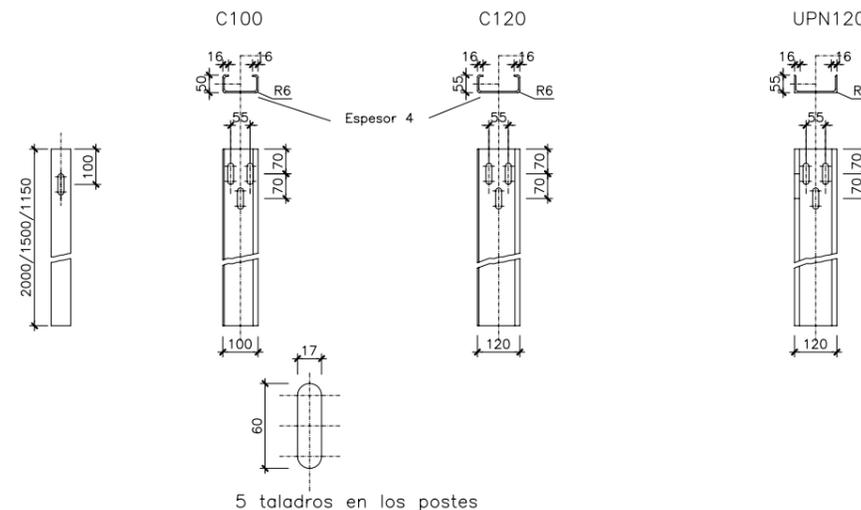
SEPARADOR SIMETRICO



TORNILLERIA

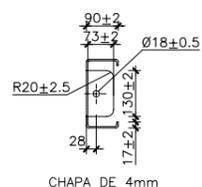


POSTES CON CHAPA



SEPARADORES Y ELEMENTOS DE UNION

SEPARADOR STANDAR



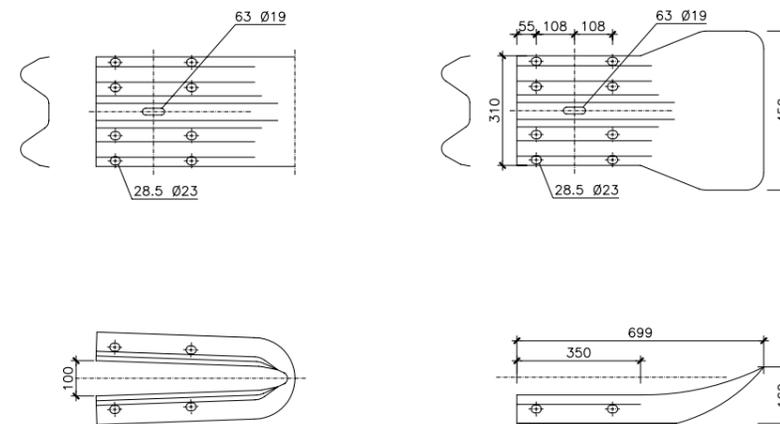
SEPARADOR CORTO



TERMINALES Y PIEZAS ESPECIALES

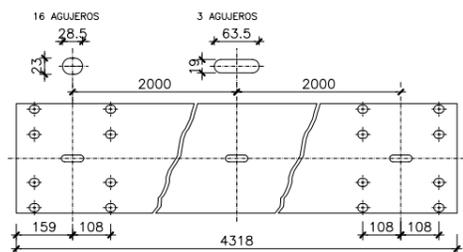
TOPE FINAL DE BARRERA DOBLE

FINAL DE BARRERA EN "COLA DE PEZ"

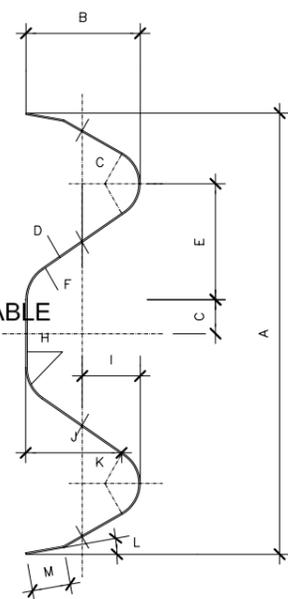


BARRERA FLEXIBLE

BARRERA FLEXIBLE RECTA STANDAR



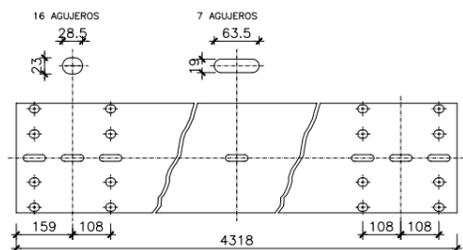
PERFIL BIONDA



SECCION DE LA BARRERA



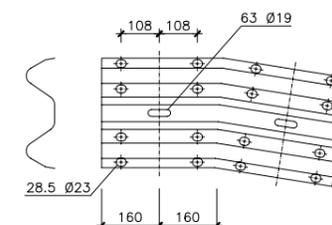
BARRERA FLEXIBLE RECTA DESMONTABLE

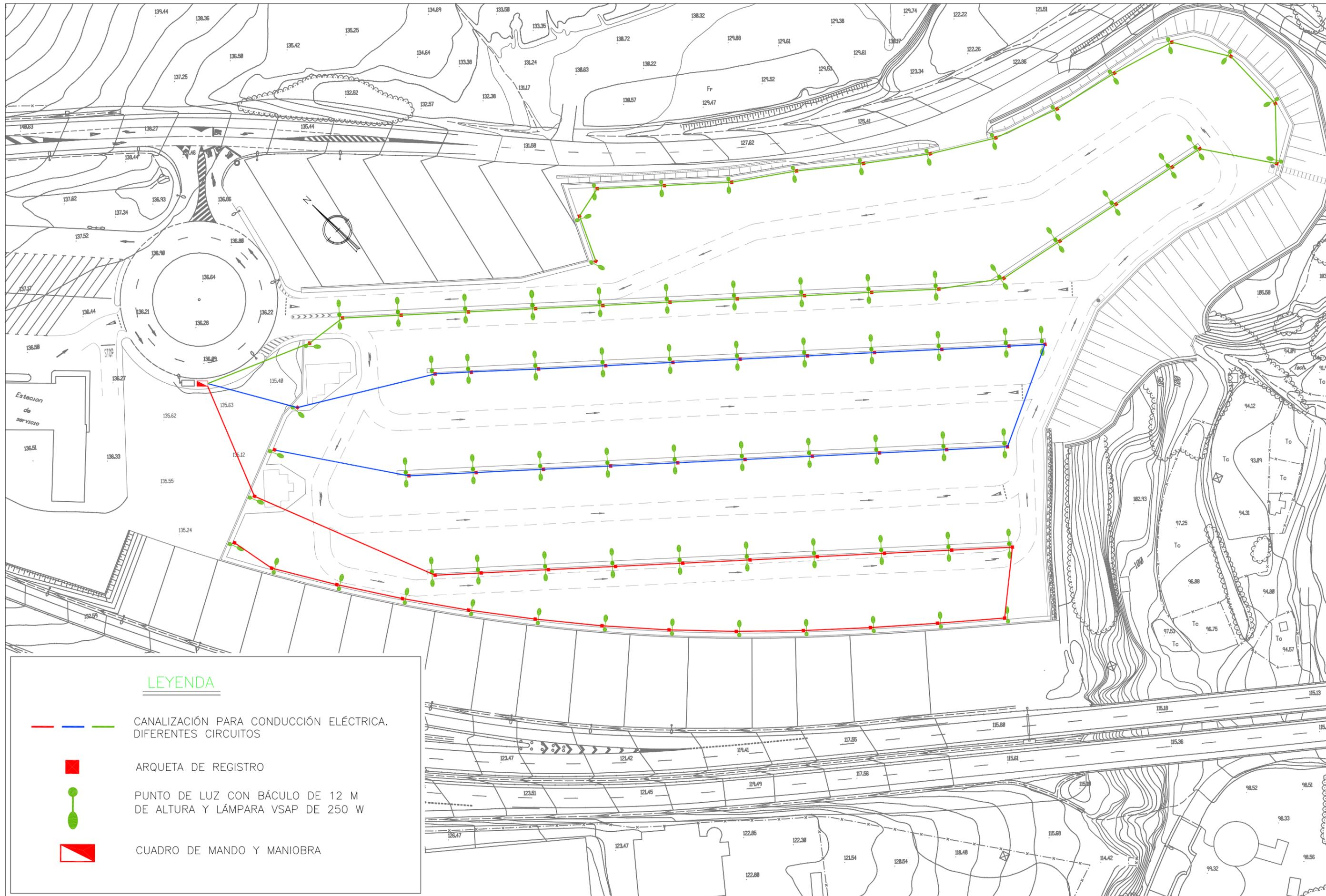


CUADRO ARMADURAS BARRERAS (P.M.L)

Nº	Ø	ESQUEMA	LONG. TOTAL	Nº BARRAS	PESO Kg/ml.	PESO TOTAL Kg
1	Ø 8	1.05	1.05	10	0.40	2.10
2	Ø 6	0.65 / 0.72 / 0.40	1.87	5	0.22	2.057
TOTAL						4.114Kg

PIEZA ANGULAR



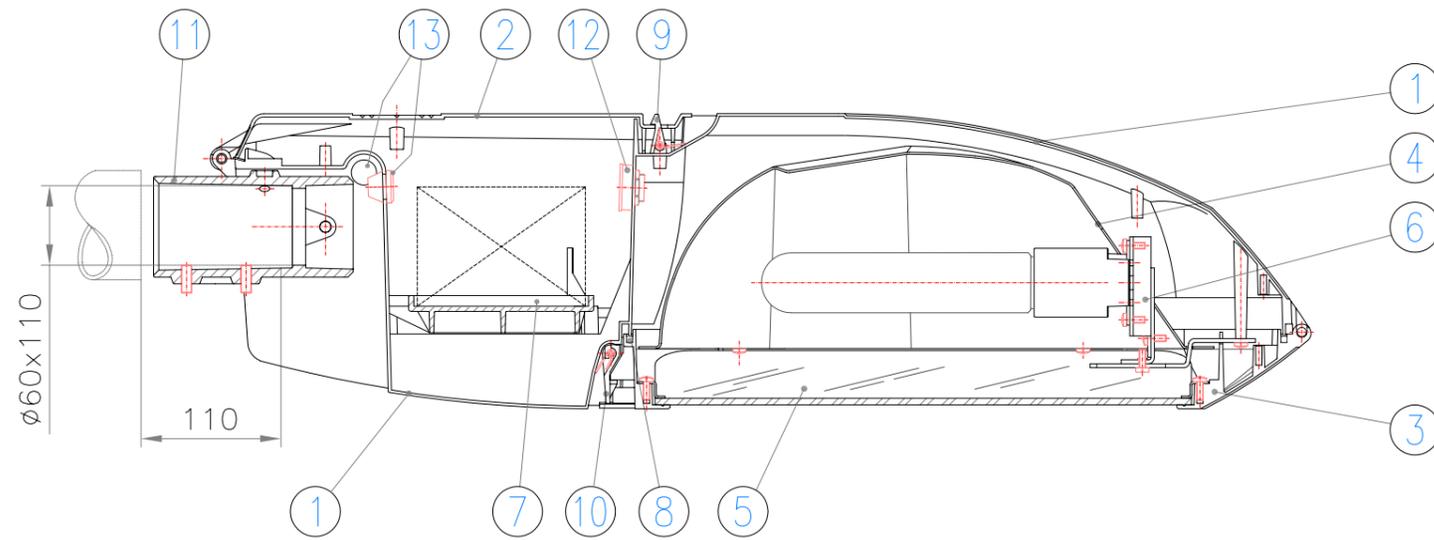


LEYENDA

- — — CANALIZACIÓN PARA CONDUCCIÓN ELÉCTRICA. DIFERENTES CIRCUITOS
- ARQUETA DE REGISTRO
- PUNTO DE LUZ CON BÁCULO DE 12 M DE ALTURA Y LÁMPARA VSAP DE 250 W
- ▴ CUADRO DE MANDO Y MANIOBRA

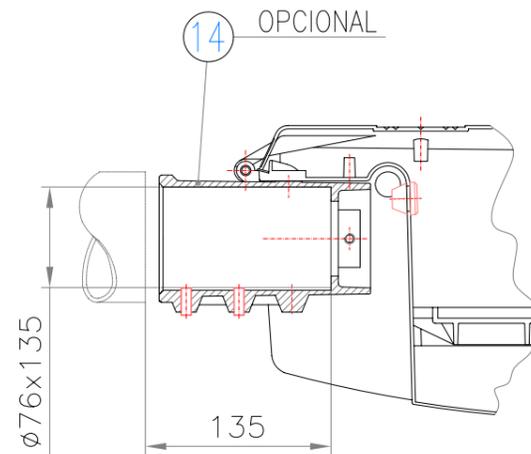
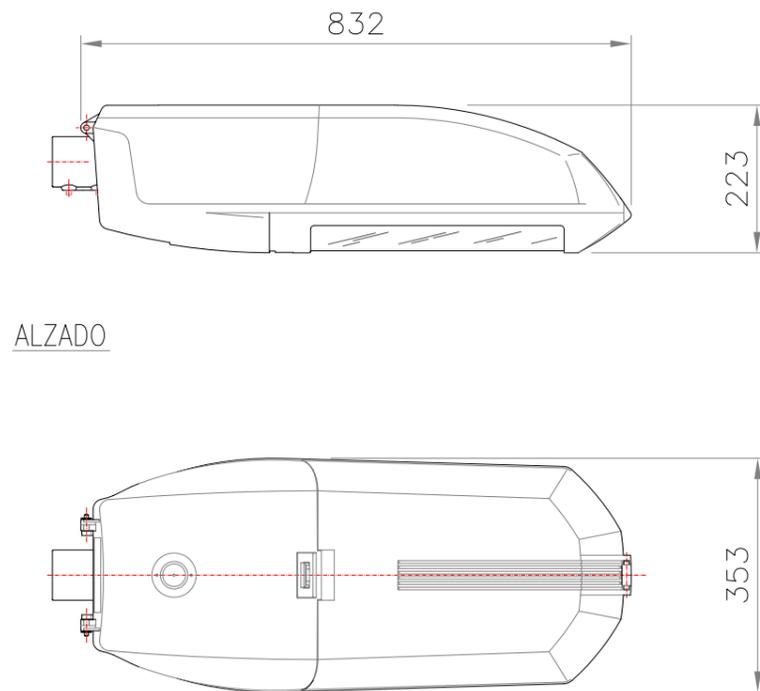
LUMINARIA: QS-10L

PLANTA



14	ACOPAMIENTO SOPORTE $\phi 76$	AI, FUNDIÓN
13	PASACABLES	EPDM
12	FILTRO MICROPOROSO	MANTA
11	ACOPAMIENTO SOPORTE $\phi 60$	AI. FUND. INYECTADA
10	PALANCA MARCO DE CIERRE	AI. FUND. INYECTADA
9	PALANCA TAPA DE CIERRE	AI. FUND. INYECTADA
8	JUNTA MARCO DE CIERRE	SILICONA
7	PLACA PORTAEQUIPO	POLIPROPILENO + FV
6	SOPORTE PORTALAMPARA	Fe, GALVANIZADO
5	VIDRIO DE CIERRE	TEMPLADO
4	REFLECTOR	AI, CHAPA EMBUTICION
3	MARCO DE CIERRE	AI, FUND. INYECTADA
2	TAPA EQUIPO	POLIPROPILENO
1	ARMADURA	AI, FUND. INYECTADA
MARCA	DENOMINACION	MATERIAL

SECCION LONGITUDINAL



T: lámpara tubular clara

TIPO	EQUIPO (W)
QS-10L E40	Vm 250
	Vm 250 2N
	Vm 400
	Vm 400 2N
	Vsap 150 T
	Vsap 150 2N T
	Vsap 250 T
	Vsap 250 2N T
	Vsap 400 T
	Vsap 400 2N T
	Vsap 600 T
	Vsap 600 2N T
	Vmh 150 T
	Vmh 250 T 3A
	Vmh 400 T 4,2A

ANCLAJE DE LAS COLUMNAS

ALTURA		3	3.5	4	4.5	5	6	7	8	9	10	11	12
CIMENTACIONES	∇	0.50	0.50	0.60	0.60	0.60	0.60	0.80	0.80	0.80	0.80	0.90	0.90
	H	0.65	0.65	0.65	0.65	0.70	0.80	0.80	0.80	0.95	1.00	1.00	1.20
PERNOS	l	400	400	500	500	500	500	700	700	700	900	900	900
	∅ _p	14	14	22	22	22	22	24	24	24	27	27	27
TUERCAS	r	100	100	100	100	100	100	110	110	110	130	130	130
	T	27	27	27	27	27	36	36	36	40	40	40	40
	t	15	15	15	15	15	19	19	19	22	22	22	22

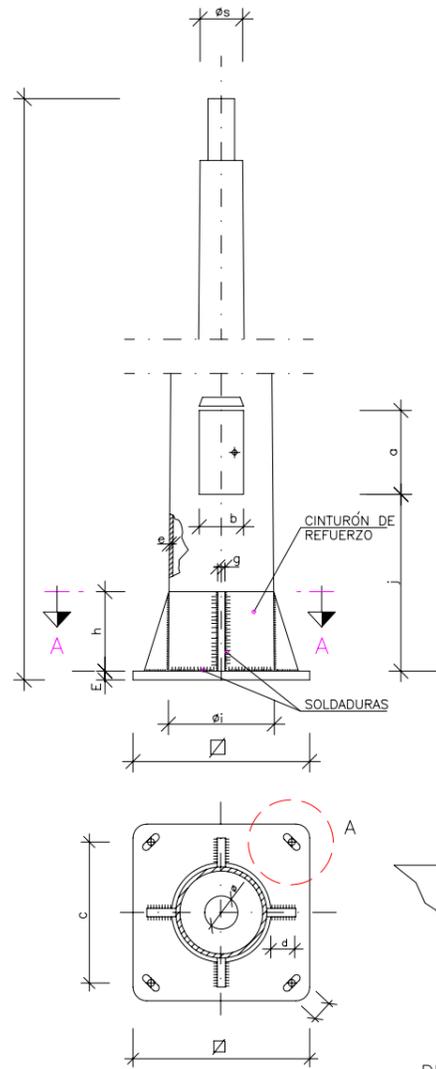
NOTA: TODAS LAS DIMENSIONES SON EN MILIMETROS EXCEPTO LAS DIMENSIONADAS DE LAS ALTURAS Y CIMENTACIONES QUE SON EN METROS.

CARACTERÍSTICAS DEL BÁCULO

ALTURA	12.00 m
LONGITUD DEL BRAZO	2.00 m
ESPESOR CHAPA (mínimo)	3.00 mm
TIPO DE FUSTE	TRONCOCÓNICO
CONICIDAD	13 mm/m ± 2.5%
TIPO DE ACERO	A-37 b A-42 b s/n UNE 36080 (3R)
GALVANIZADO DE LA COLUMNA	EN CALIENTE POR INMERSIÓN
SOLDADURA	TODAS LAS SOLDADURAS, SERÁN POR LO MENOS DE CALIDAD 2 s/g UNE 14011 Y TENDRÁN UNAS CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS SUPERIORES A LAS DEL MATERIAL BASE.
SUJECIÓN A LA CIMENTACIÓN	SE HARÁ UNIENDO LA PLACA DE BASE, A LOS PERNOS ANCLADOS EN LA CIMENTACIÓN MEDIANTE EL EMPLEO DE ARANDELA, TUERCA Y CONTRATUERCA.

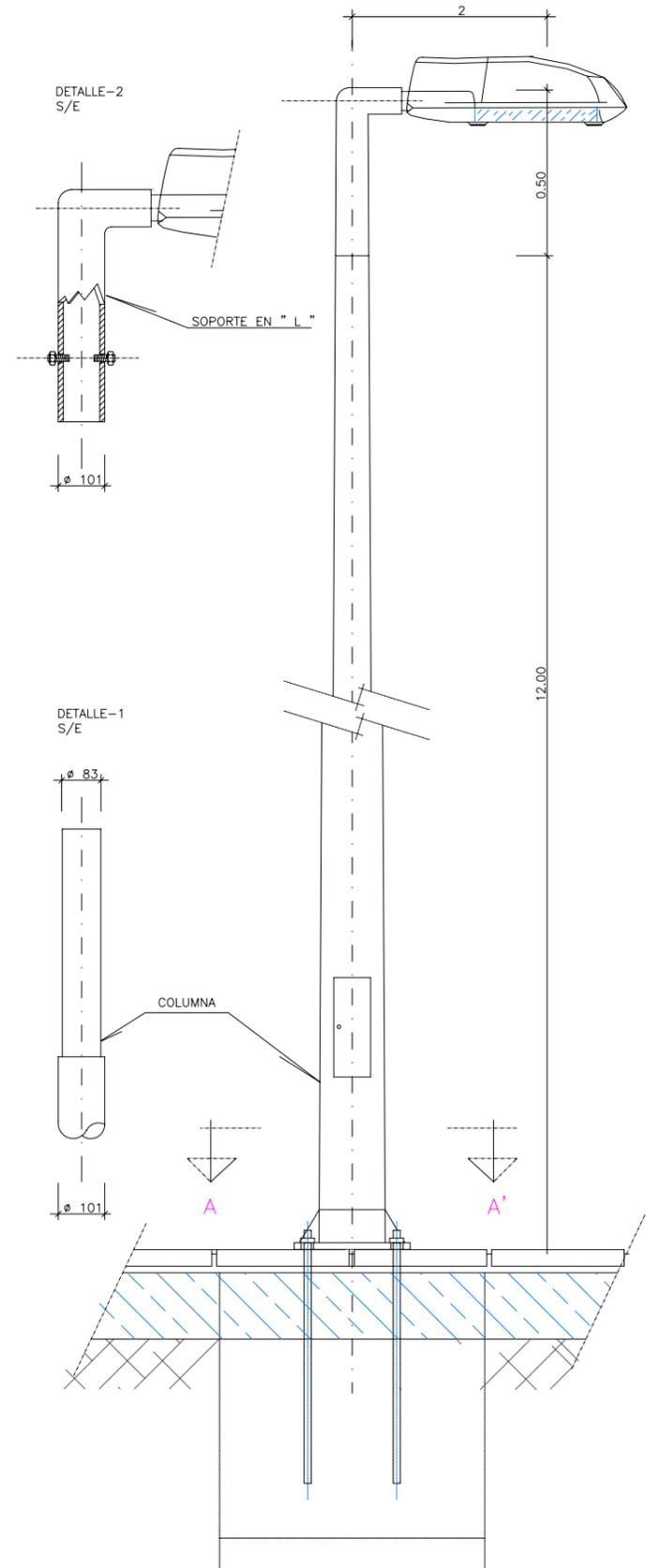
CUADRO DE COLUMNAS

	H	3	3.5	4	4.5	5	6	7	8	9	10	11	12
CUERPO	∅ _s	60	60	60	60	60	60	60	76	76	101	101	101
	∅ _i	125	135	146	156	166	166	186	188	201	214	254	267
	e	2.5	2.5	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	4.0	4.0	4.0	4.5	4.5
	a	190	190	210	210	300	300	300	300	300	300	300	300
PORTELA	b	90	90	110	110	120	120	120	125	125	130	135	140
	j	500	130	500	150	500	500	500	500	500	500	500	500
	No	4	4	4	4	4	4	6	6	8	8	8	8
CARTELAS	h	200	200	140	200	200	200	200	200	200	250	250	250
	d	50	50	50	50	50	100	100	100	100	120	120	120
	g	6	6	6	6	8	8	10	10	10	15	15	15
	∇	300	300	300	300	350	350	400	400	400	500	500	500
PLACA BASE	E	5	5	6	6	8	8	10	10	10	15	15	15
	C	205	205	205	205	205	260	285	285	285	350	350	350
	∅	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	m	40	40	40	40	40	45	45	45	50	50	50	50

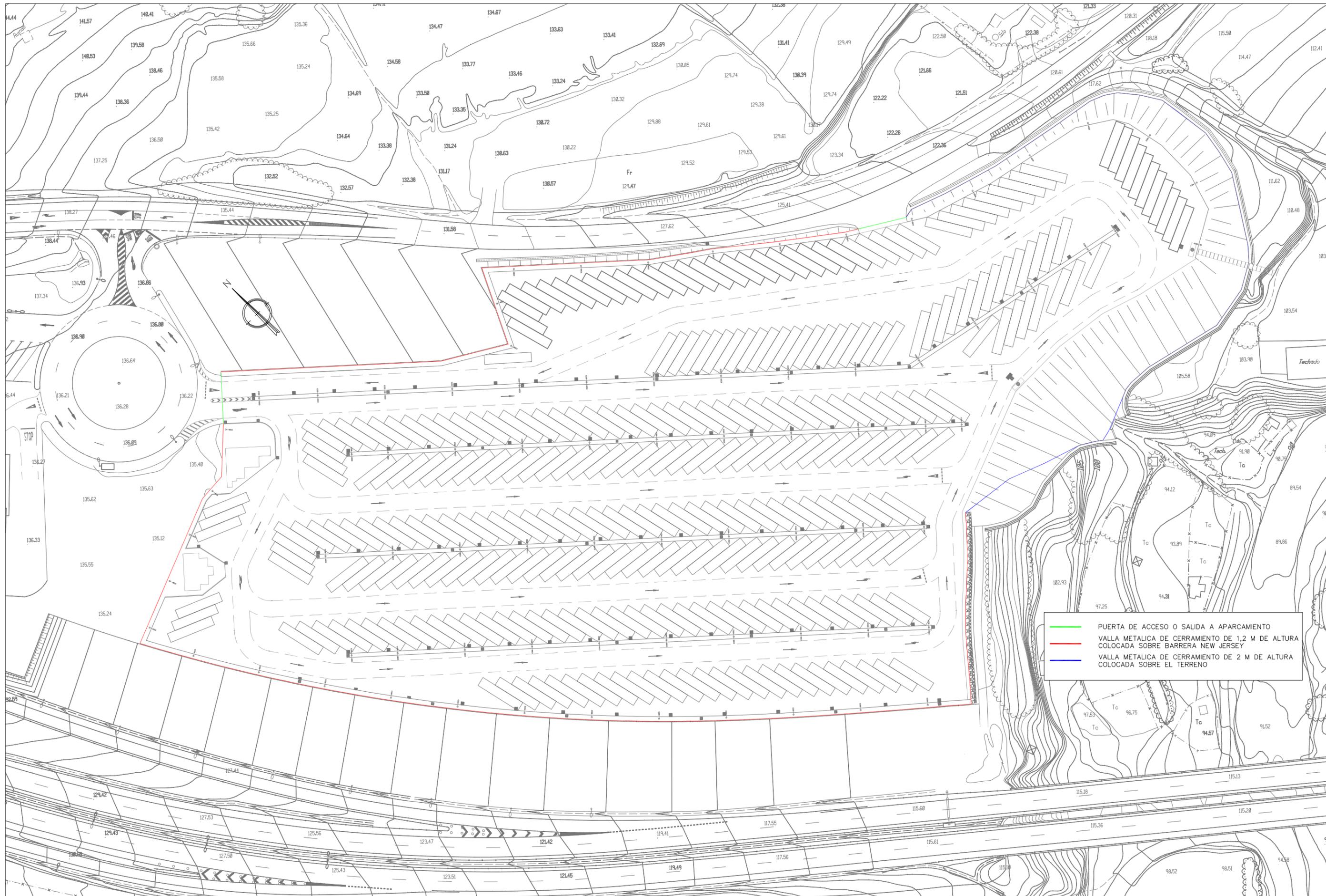


PLACAS BASE (SECCION A-A)
(CON CUATRO CARTELAS)

DETALLE "A" PLACA BASE
NOTA: ∅_p= DIAMETRO SEGUN EL PERNO
∅ MAXIMO 27mm, ∅ MINIMO 14mm



ALZADO
ESCALA 1/10



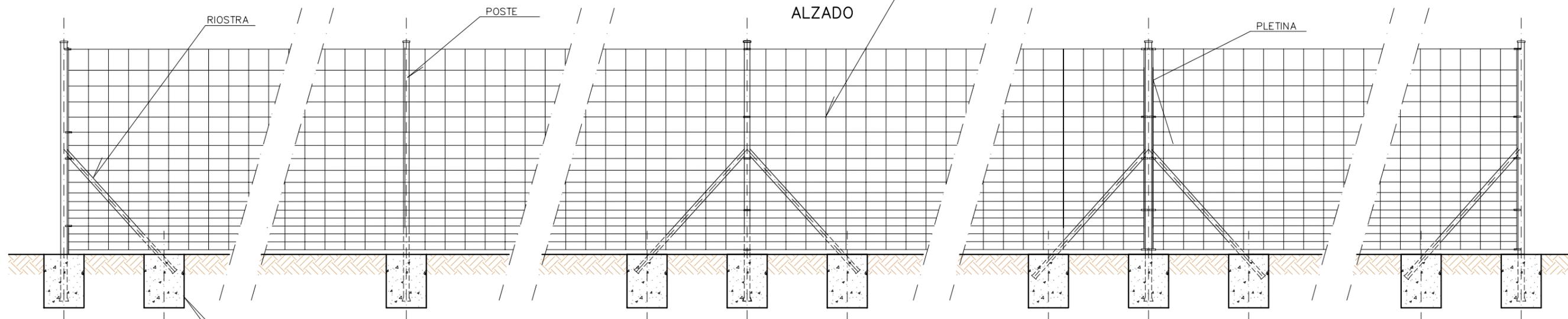
- PUERTA DE ACCESO O SALIDA A APARCAMIENTO
- VALLA METALICA DE CERRAMIENTO DE 1,2 M DE ALTURA COLOCADA SOBRE BARRERA NEW JERSEY
- VALLA METALICA DE CERRAMIENTO DE 2 M DE ALTURA COLOCADA SOBRE EL TERRENO

VALLA DE CERRAMIENTO

ESCALA 1:20

MALLA RURAL 20 x 30cm.

ALZADO



POSTE EXTREMO

CIMENTACION: $\phi 400 \times 500$.
 POSTE: $\phi 60 \times 1.2$.
 PLETINA: 20×3 .
 RIOSTRA: $\phi 35 \times 1.2$

CIMENTACION
HM-20

POSTE INTERMEDIO

CIMENTACION: $\phi 400 \times 500$.
 POSTE: $\phi 48 \times 1.2$.
 MODULO SEPARACION P.INTERMEDIO: 4m.

POSTE PRINCIPAL DE CENTRO TENSOR

CIMENTACION: $\phi 400 \times 500$.
 POSTE: $\phi 48 \times 1.2$.
 RIOSTRA: $\phi 35 \times 1.2$.
 MODULO SEPARACION P.C.TENSOR: 35m.

POSTE PRINCIPAL DE CENTRO COSER O ANGULO

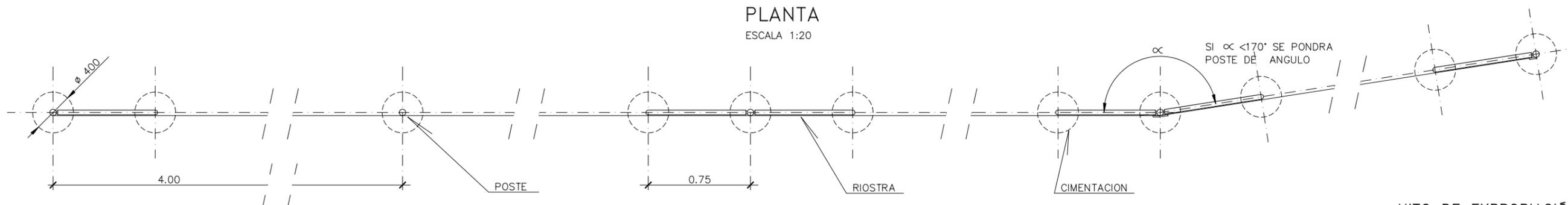
CIMENTACION: $\phi 400 \times 500$.
 POSTE: $\phi 48 \times 1.2$.
 PLETINAS: 20×3 .
 RIOSTRA: $\phi 35 \times 1.2$

POSTE EXTREMO

CIMENTACION: $\phi 400 \times 500$.
 POSTE: $\phi 60 \times 1.2$.
 PLETINA: 20×3 .
 RIOSTRA: $\phi 35 \times 1.2$

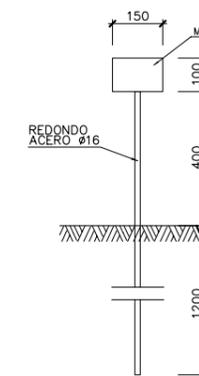
PLANTA

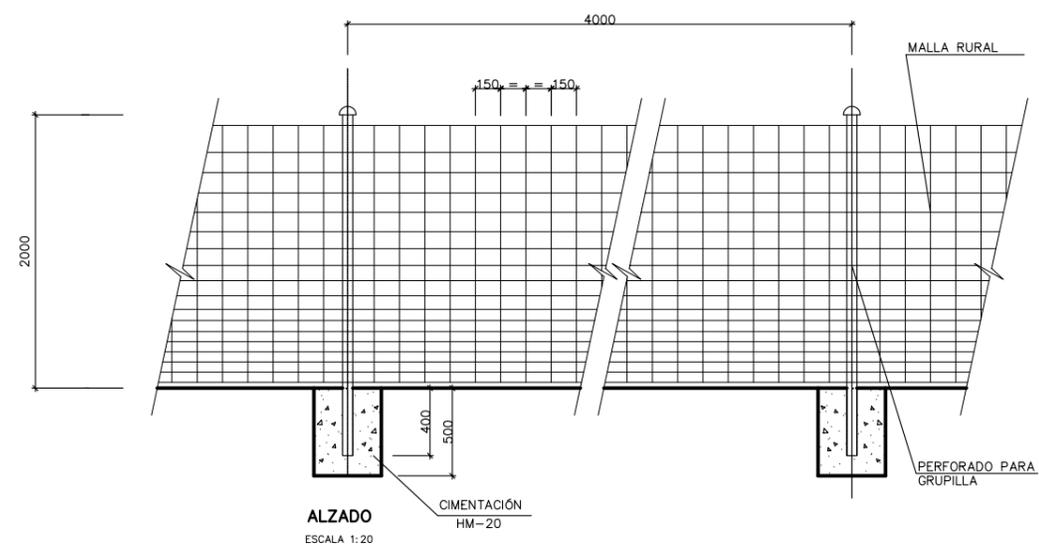
ESCALA 1:20



HITO DE EXPROPIACIÓN

ESCALA 1:10

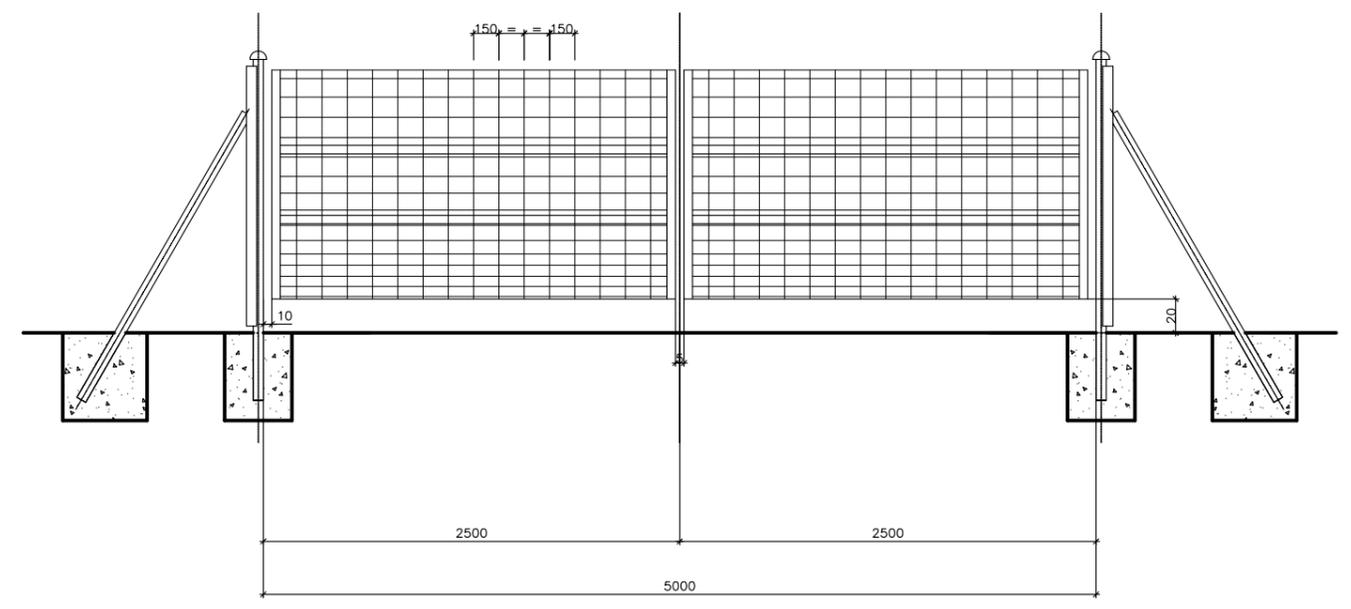




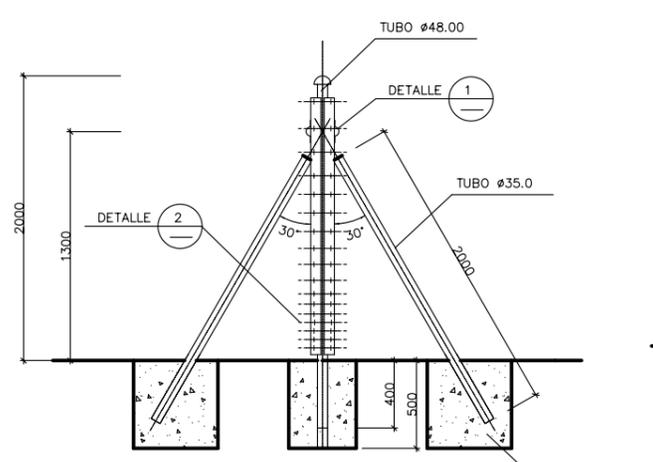
ALZADO
ESCALA 1:20
CIMENTACIÓN HM-20



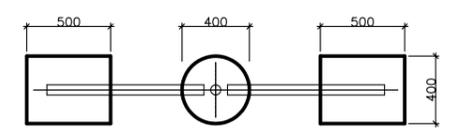
PLANTA
ESCALA 1:20
CERCA DE MALLA METALICA



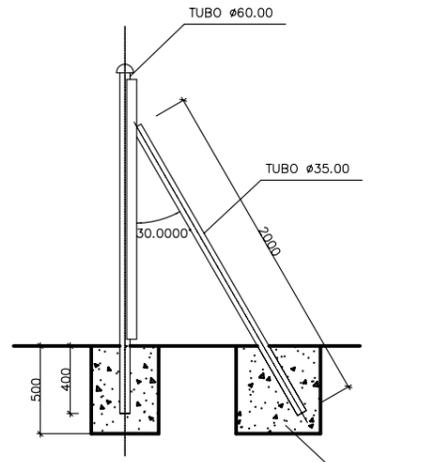
ALZADO
ESCALA 1:20
PUERTA ABATIBLE



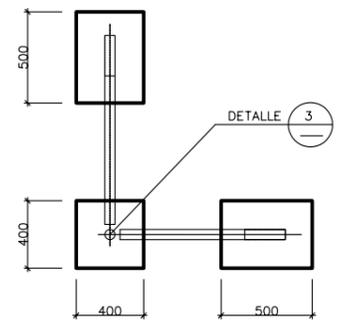
ALZADO
ESCALA 1:20
CIMENTACIÓN HM-20



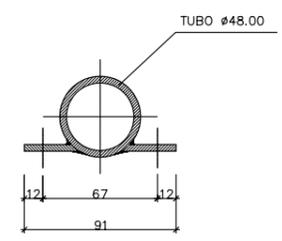
PLANTA
ESCALA 1:20
POSTE DE TENSION



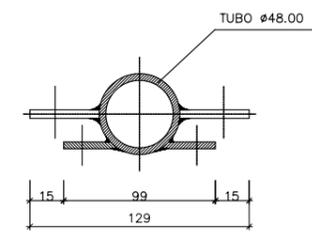
ALZADO
ESCALA 1:20
CIMENTACIÓN HM-20



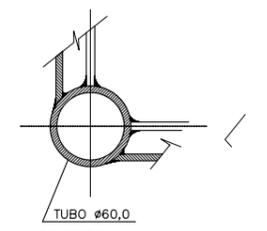
PLANTA
ESCALA 1:20
POSTE DE ESQUINA



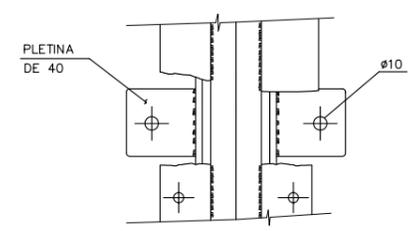
PLANTA
ESCALA 1:2



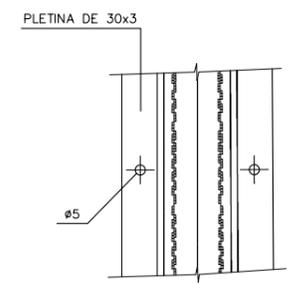
PLANTA
ESCALA 1:2



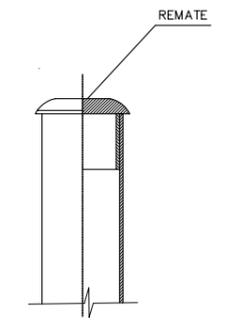
PLANTA
ESCALA 1:2
DETALLE 3



ALZADO
ESCALA 1:2
DETALLE 1



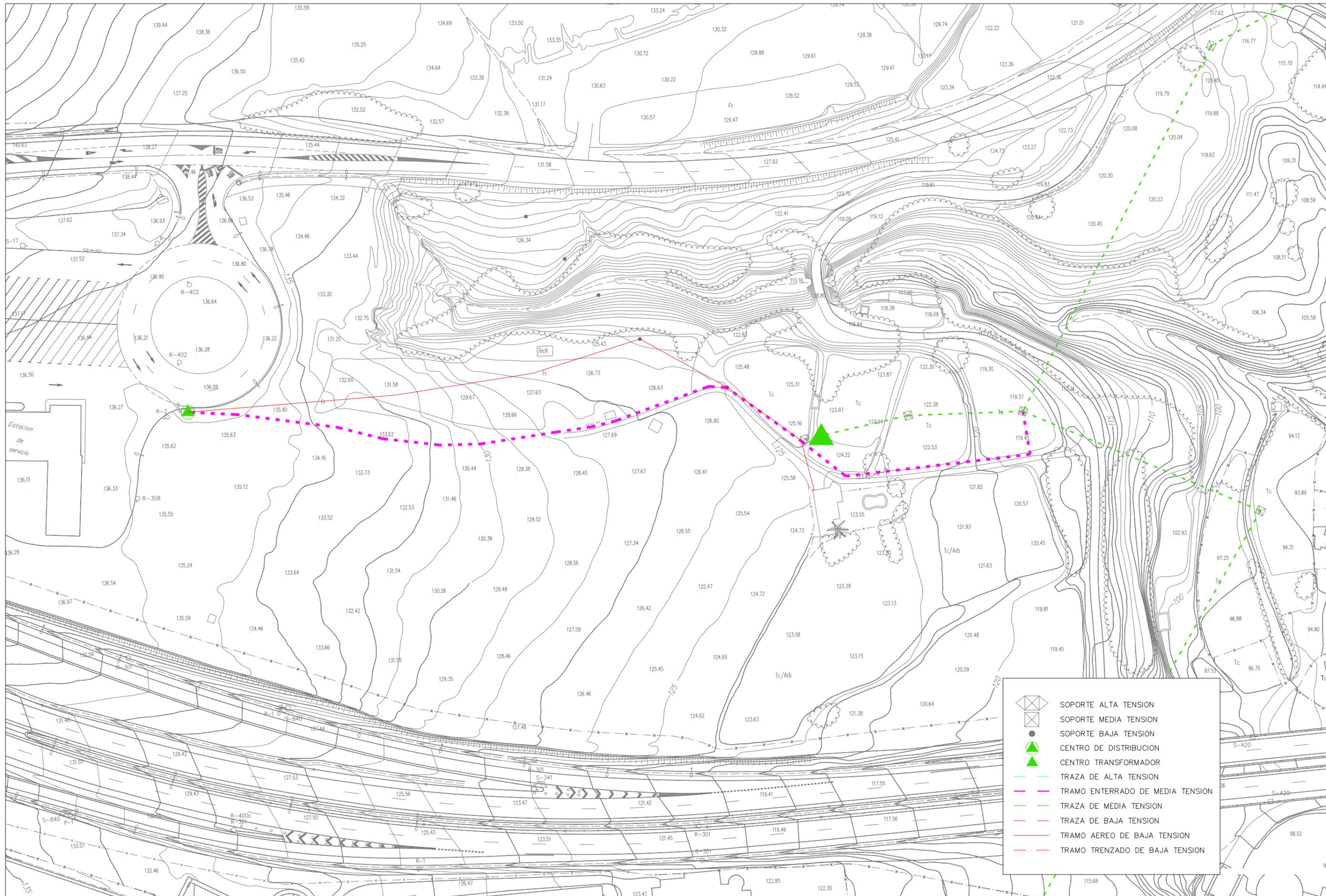
ALZADO
ESCALA 1:2
DETALLE 2



CABEZA DE SOPORTE
ESCALA 1:2

NOTAS

- TODAS LA COTAS ESTAN EN m.m.
- EL TRATAMIENTO DE LOS TUBOS SERA GALVANIZADO A 600 g/γ
- EL HORMIGON A EMPLEAR SERA HM-20



- SOPORTE ALTA TENSION
- SOPORTE MEDIA TENSION
- SOPORTE BAJA TENSION
- CENTRO DE DISTRIBUCION
- CENTRO TRANSFORMADOR
- TRAZA DE ALTA TENSION
- TRAMO ENTERRADO DE MEDIA TENSION
- TRAZA DE MEDIA TENSION
- TRAZA DE BAJA TENSION
- TRAMO TRENZADO DE BAJA TENSION



SECRETARÍA DE ESTADO DE INFRAESTRUCTURAS Y PLANIFICACIÓN
 SECRETARÍA GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS
 DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS
 DEMARCACIÓN DE CARRETERAS DEL ESTADO DE CATALUÑA

EL INGENIERO DIRECTOR DEL PROYECTO
 CONSULTOR
 Fdo.: JOSE MANUEL GIMÉNEZ RIBERA
 BAGH TECNICA, S.L.

bagh tecnica s.l.

EL INGENIERO DE CAMINOS
 AUTOR DEL PROYECTO
 Fdo.: ENRIQUE REBOLLO PERICOT

ESCALAS
 E1:1/1200
 ORIGINAL UNE A-3 GRÁFICA

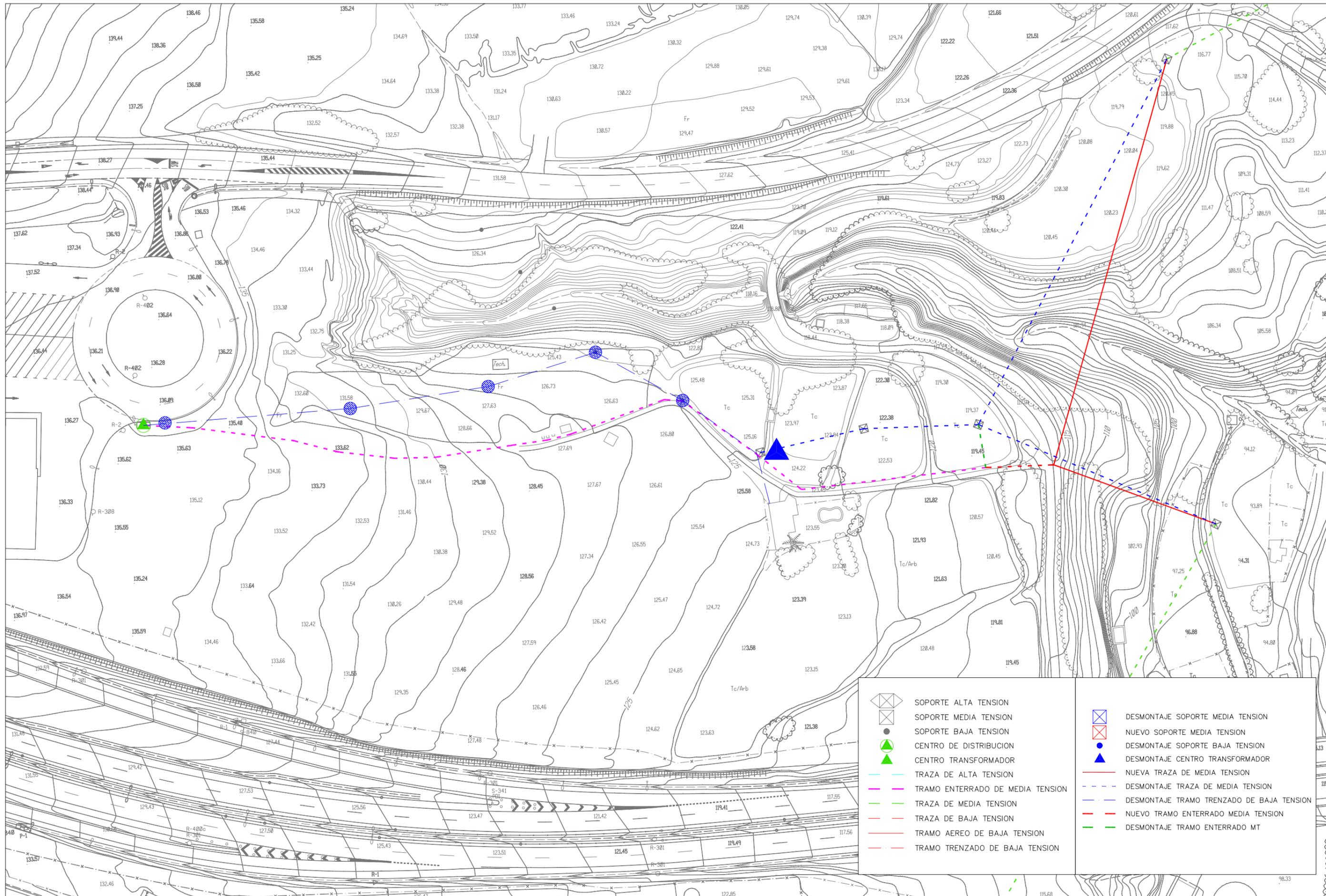
TITULO DEL PROYECTO
 PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE APARCAMIENTO
 DE EMERGENCIA EN LA AUTOVÍA A-2, EN EL P.K. 580
 JUNTO AL ENLACE CON LA C-1414

CLAVE
 39-B-4450

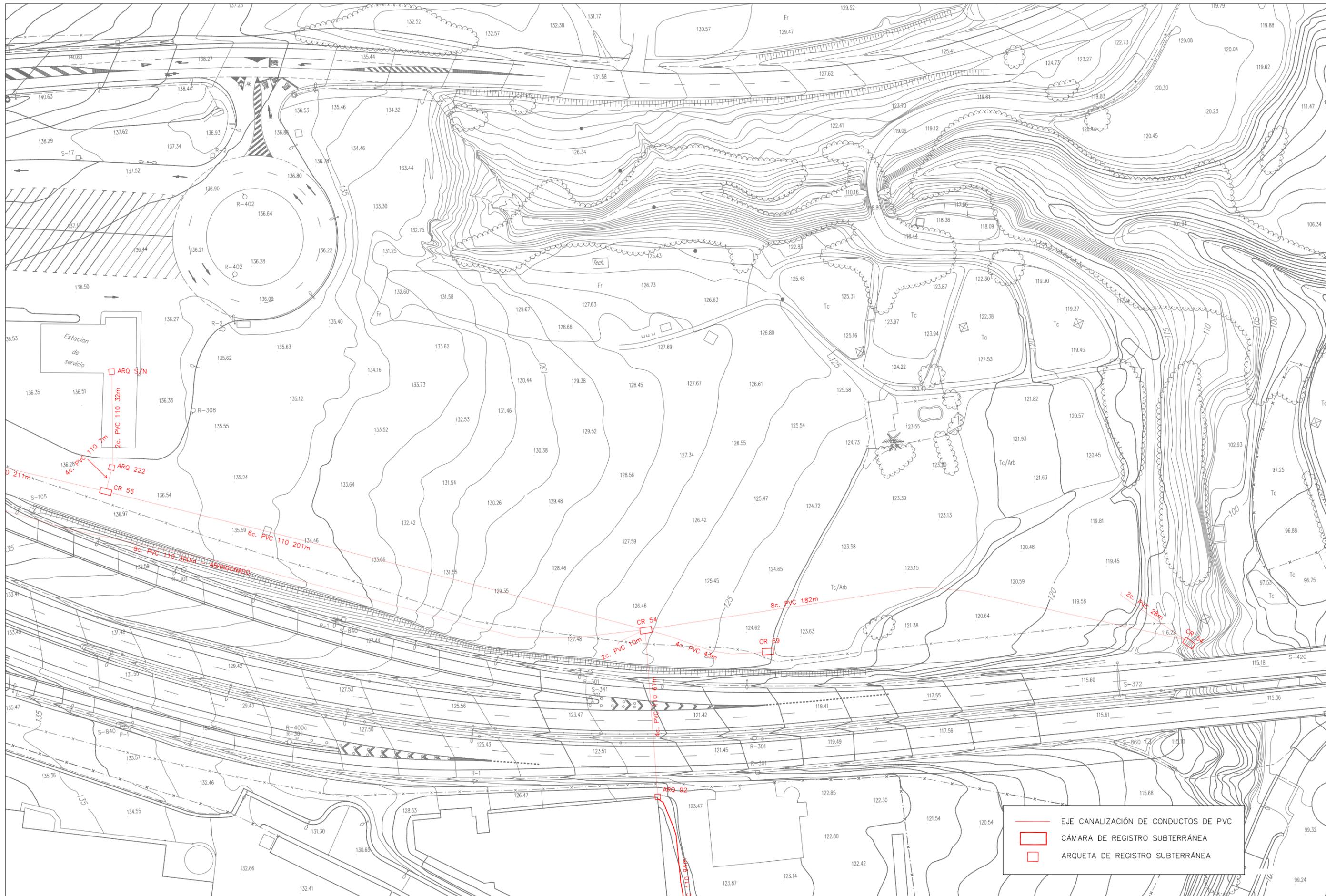
Nº PLANO
 2.13.1
 HOJA 01 DE 02

DESIGNACIÓN DEL PLANO
 SERVICIOS AFECTADOS
 FECSA-ENDESA EXISTENTE

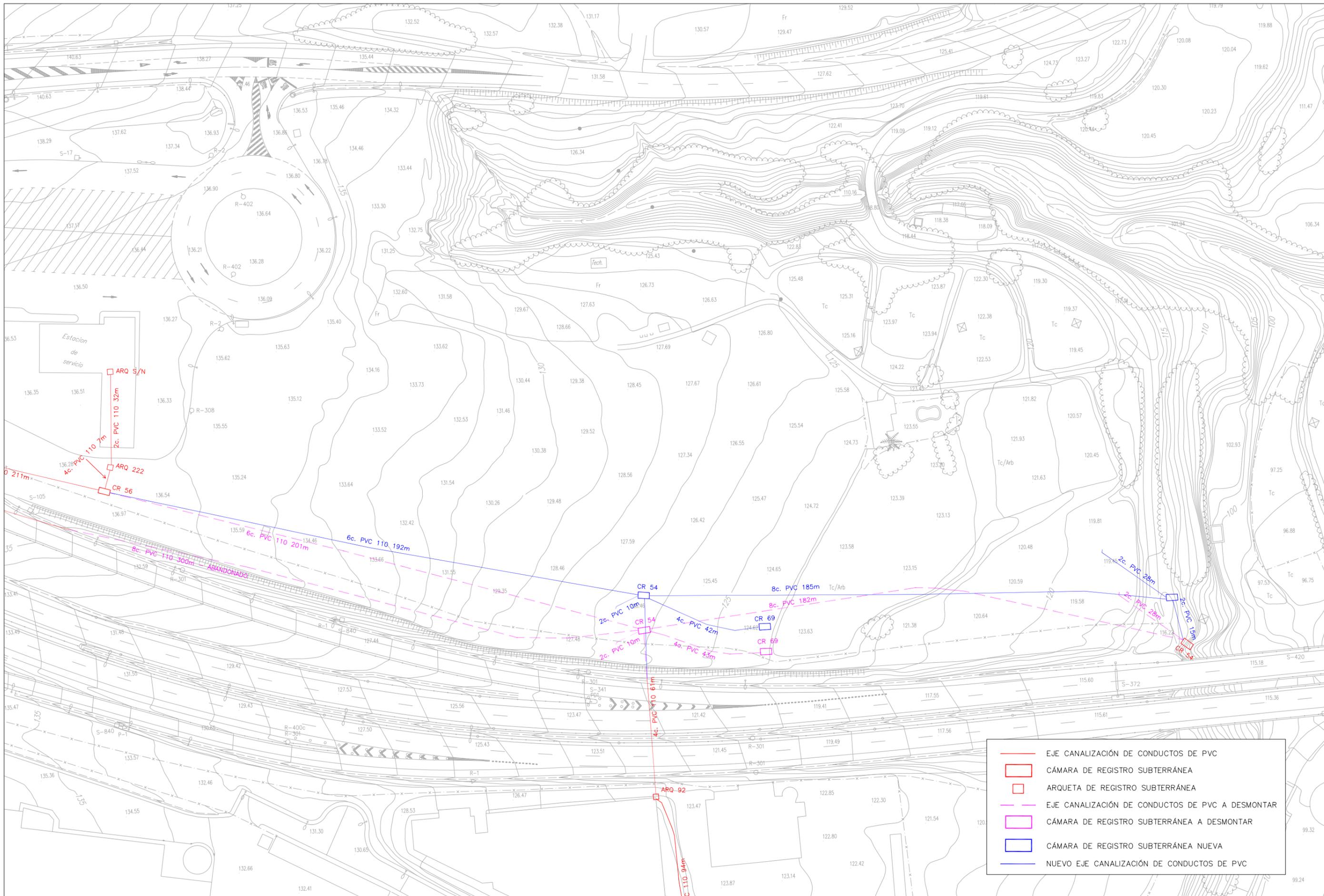
FECHA
 ENERO 2007
 Nº PÁGINA
 01



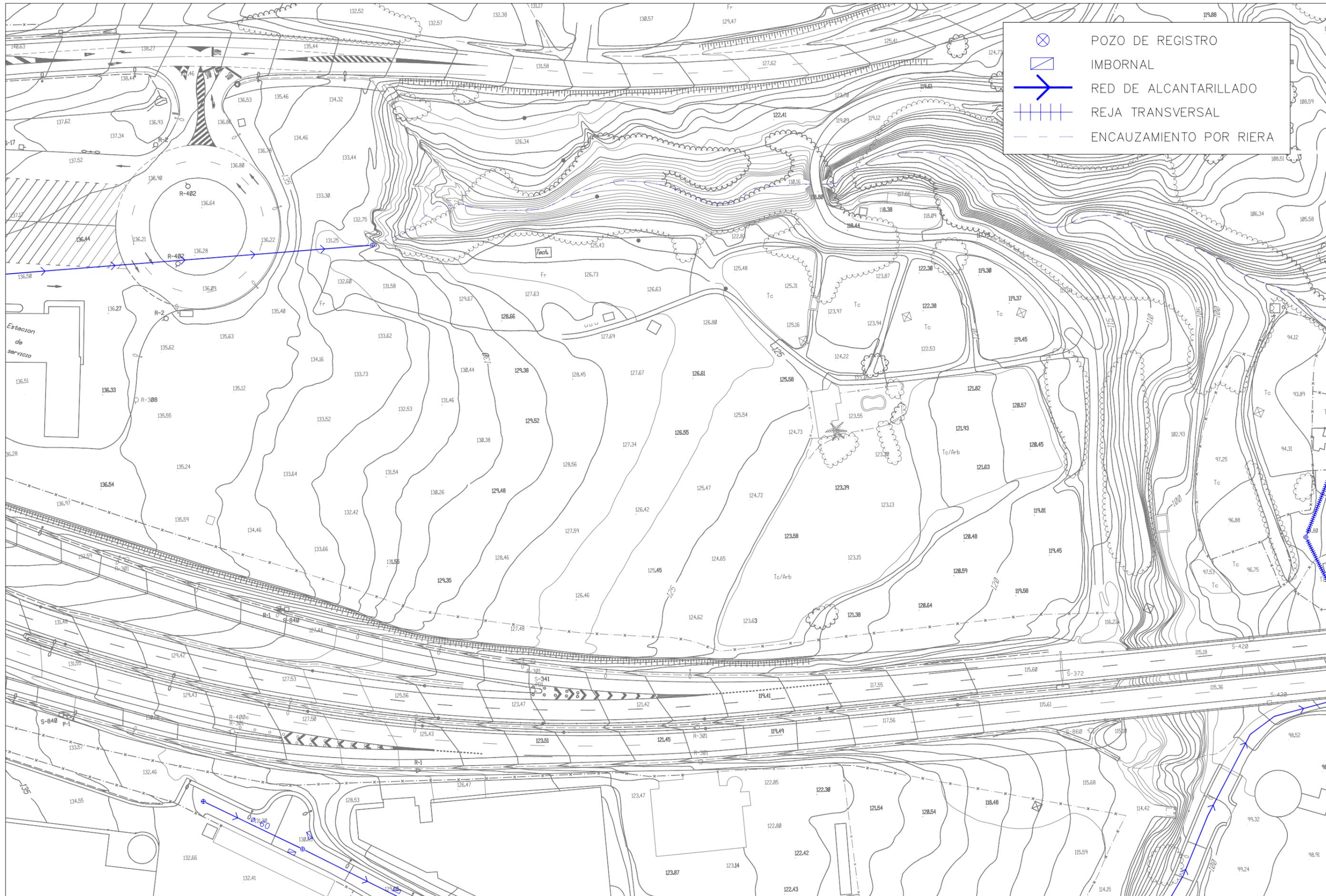
	SOPORTE ALTA TENSION		DESINSTALACION SOPORTE MEDIA TENSION
	SOPORTE MEDIA TENSION		NUOVO SOPORTE MEDIA TENSION
	SOPORTE BAJA TENSION		DESINSTALACION SOPORTE BAJA TENSION
	CENTRO DE DISTRIBUCION		DESINSTALACION CENTRO TRANSFORMADOR
	CENTRO TRANSFORMADOR		NUOVO TRAZO DE MEDIA TENSION
	TRAZA DE ALTA TENSION		DESINSTALACION TRAZO DE MEDIA TENSION
	TRAMO ENTERRADO DE MEDIA TENSION		DESINSTALACION TRAMO TRENZADO DE BAJA TENSION
	TRAZA DE MEDIA TENSION		NUOVO TRAMO ENTERRADO MEDIA TENSION
	TRAZA DE BAJA TENSION		DESINSTALACION TRAMO ENTERRADO MT
	TRAMO AEREO DE BAJA TENSION		
	TRAMO TRENZADO DE BAJA TENSION		



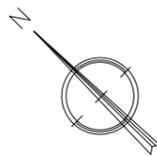
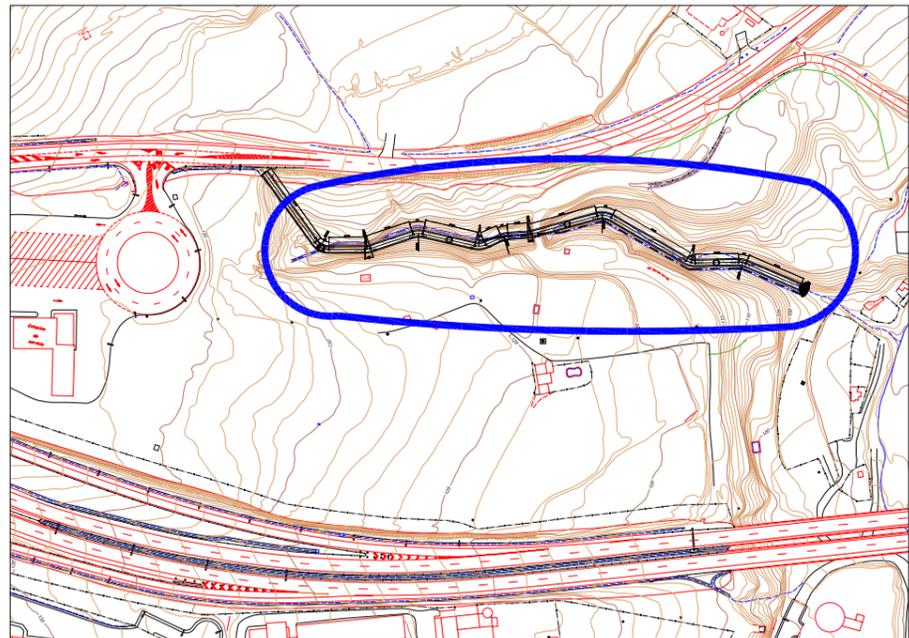
- EJE CANALIZACIÓN DE CONDUCTOS DE PVC
- CÁMARA DE REGISTRO SUBTERRÁNEA
- ARQUETA DE REGISTRO SUBTERRÁNEA



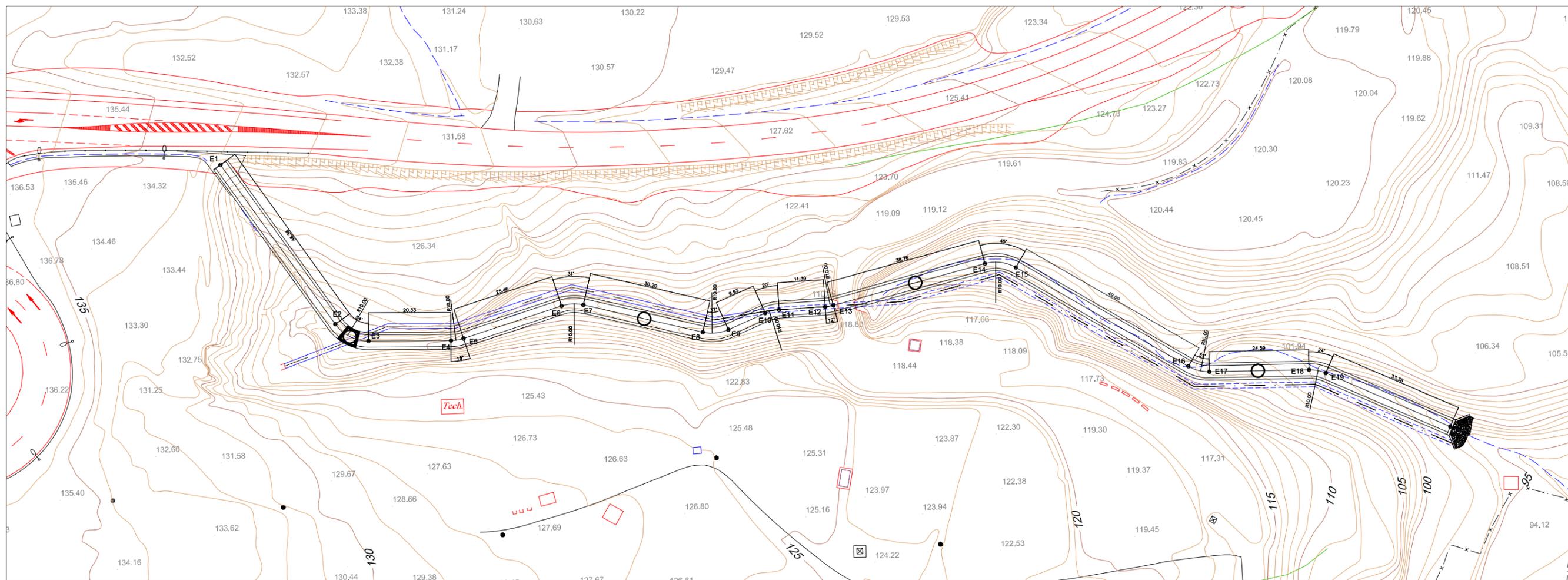
- EJE CANALIZACIÓN DE CONDUCTOS DE PVC
- CÁMARA DE REGISTRO SUBTERRÁNEA
- ARQUETA DE REGISTRO SUBTERRÁNEA
- - - EJE CANALIZACIÓN DE CONDUCTOS DE PVC A DESMONTAR
- CÁMARA DE REGISTRO SUBTERRÁNEA A DESMONTAR
- CÁMARA DE REGISTRO SUBTERRÁNEA NUEVA
- NUEVO EJE CANALIZACIÓN DE CONDUCTOS DE PVC



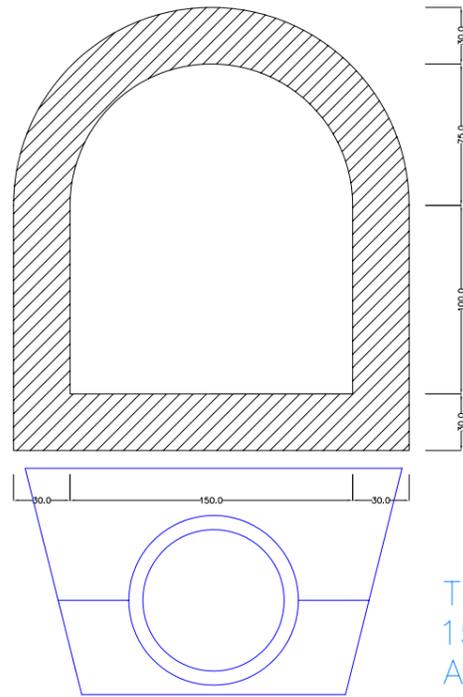
	POZO DE REGISTRO
	IMBORNAL
	RED DE ALCANTARILLADO
	REJA TRANSVERSAL
	ENCAUZAMIENTO POR RIERA



escala 1/4000



Sección Tipo (PK 160-180)



Tubo de saneamiento
1500 mm. Clase V
ASTM

escala 1/75

