



## Anejo 2.14- Instalaciones e ITS



urbanismo, medio ambiente  
y movilidad

**MADRID**



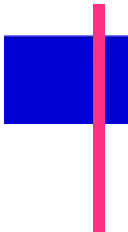
Control de documentación

Hoja de control

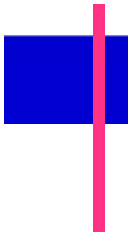
Realizado	Revisado	Aprobado
ACG	BON	VMLS

Control de modificaciones

Versión	Fecha	Control de Modificaciones	Autor
1.0	27/10/2023	Primera entrega completa para Supervisión del Ayuntamiento	BON
2.0	12/04/2024	Entrega 1ª Revisión	BON



## Anejo 2.14. Instalaciones e ITS



<b>1.</b>	<b>Introducción.....</b>	<b>2</b>
<b>2.</b>	<b>Normativa de aplicación .....</b>	<b>2</b>
<b>3.</b>	<b>Decripción del túnel .....</b>	<b>3</b>
<b>4.</b>	<b>Instalaciones túnel .....</b>	<b>3</b>
4.1.	Electricidad BT y MT .....	4
4.2.	Iluminación.....	5
4.2.1.	Bases del cálculo.....	6
4.2.2.	Clasificación del túnel.....	7
4.2.3.	Iluminación zona interior.....	8
4.2.4.	Distancia de seguridad o parada .....	8
4.3.	Protección Contra Incendios .....	11
4.3.1.	Equipos de PCI .....	11
4.3.2.	Detección en cuartos técnicos .....	11
4.3.3.	Detección lineal de incendios en el túnel .....	12
4.4.	Ventilación túnel.....	12
4.4.1.	Detección de gases. Control de Ventilación.....	13
4.5.	Presurización vías de evacuación .....	14
4.6.	Sistema de radiocomunicaciones .....	14
4.7.	CCTV .....	15
4.7.1.	Detección automática de incidentes (DAI) .....	15
4.7.2.	Grabación de video .....	15
4.8.	Sistema de poste SOS .....	15
4.8.1.	Gestor de postes SOS.....	16
4.9.	Megafonía. ....	16
4.10.	SCADA .....	16
4.11.	Fibra óptica .....	16
4.12.	Salidas de emergencias .....	16
<b>5.</b>	<b>Sistema de transporte inteligente (ITS).....</b>	<b>17</b>
5.1.	Sistema de control de tráfico .....	17
5.1.1.	Paneles de mensajería variable exterior:.....	17
5.1.2.	Paneles de mensajería variable interior:.....	17
5.1.3.	Matrices gráficas: .....	17
5.1.4.	Semáforos exteriores: .....	18
5.1.5.	Semáforos interiores: .....	18
5.2.	Sistema de control y comunicaciones .....	18
5.2.1.	Red troncal de comunicaciones :.....	18

5.2.2.	Red local de túnel.....	18
5.3.	Elementos de gestión del tráfico.....	18
5.3.1.	Control de aforos. ....	19
5.3.2.	Barreras para el corte del tráfico.....	19
<b>6.</b>	<b>Edificios técnicos .....</b>	<b>19</b>
6.1.	Centros de transformación .....	19
6.2.	Caseta técnica baja tensión .....	20
6.3.	Caseta técnica comunicaciones e ITS.....	21
6.4.	Edificio técnico protección contra incendios .....	21
<b>7.</b>	<b>Semaforización de la intersección entre las calles Monasterio de Arianza y C/ del Reino de Candaya .....</b>	<b>22</b>
7.1.	Ordenación y regulación del tráfico .....	22
7.2.	Regulación semafórica .....	22
7.2.1.	Conceptos básicos .....	22
7.2.2.	Funcionamiento del cruce semafórico.....	23
7.3.	Solución escogida .....	23

Índice de Imágenes

Imagen 1.	Sección tipo de túnel en mina.....	3
Imagen 2.	Esquema de principio de funcionamiento de alimentación desde una de las compañías. ....	4
Imagen 3.	Esquema de principio de funcionamiento de alimentación eléctrica para el túnel. ....	5
Imagen 4.	Distribución de equipos dentro del centro de transformación tipo 1. ....	20
Imagen 5.	Distribución de equipos dentro del centro de transformación tipo 2. ....	20
Imagen 6.	Distribución de equipos dentro de las casetas técnicas de baja tensión.....	21
Imagen 7.	Distribución de equipos dentro de las casetas técnicas de comunicaciones e ITS. ....	21
Imagen 8.	Distribución de equipos dentro del edificio técnico de protección contra incendios.....	22
Imagen 9.	Solución semafórica adoptada .....	23

Índice de Tablas

Tabla 1.	Características del túnel y clasificación según el RD 635/2006 .....	3
Tabla 2.	Instalaciones de seguridad requeridas y previstas .....	4



## [1] Introducción

El presente documento pretende ser un avance de los anejos específicos de instalaciones de túnel, ITS y edificios técnicos para el túnel propuestos como solución en el Anteproyecto de Remodelación del Nudo de Fuencarral. Se incluye en este documento, un avance de los trabajos desarrollados para la preparación del Anejo de Instalaciones e ITS que formará parte del Proyecto.

Este documento debe ser considerado como una propuesta conceptual en términos de requisitos y limitaciones para la sección típica, la disposición de los edificios técnicos y los principios de funcionamiento de las instalaciones, y no debe extraerse de él ningún espesor o dimensión de la solución estructural del túnel para consideraciones futuras. En este documento se pretende analizar los equipos necesarios en base a las exigencias del Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares del Proyecto. Adicionalmente se presenta de manera general la constitución de los Edificios Técnicos que darán soporte al túnel.

## [2] Normativa de aplicación

La normativa y recomendaciones a tener en cuenta se puede encontrar a continuación:

- Generales
  - 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.
  - Resolución de 30 de mayo de 2012 del Secretario de Estado de Infraestructuras, transporte y vivienda por la que se aprueba la metodología de análisis de riesgo en túneles de la red de carreteras del Estado.
- Las normativas de referencia básicas para el diseño de las instalaciones de ventilación son el Real Decreto 635/2006 sobre requisitos mínimos de seguridad en los túneles de carreteras del Estado y la 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.
- De manera adicional, y con objeto de cubrir aspectos que no quedan totalmente definidos en las normativas anteriores, se atienden las siguientes normativas y recomendaciones de:
  - Le Dossier pilote des tunnels - Ventilation. Centre d'Etudes des Tunnels (CETU). Año 2.003.
  - Road tunnels: vehicle emissions and air demand for ventilation (Ed. 2012) - Asociación Mundial de la Carretera (PIARC).
  - Vehicle emissions. Air demand environment. Longitudinal ventilation. - Asociación Mundial de la Carretera (PIARC).
  - UNE-EN 12101-6. Sistemas para el control de humo y calor. Parte 6: Especificaciones para los sistemas de diferencial de presión. Equipos.
  - UNE-EN 13779. Ventilación de los edificios no residenciales.
- Con respecto a la alimentación eléctrica es de aplicación:
  - Real Decreto 223/2008: Reglamento de Líneas Eléctricas de Alta Tensión
  - Real Decreto 337/2014: Reglamento de Instalaciones Eléctricas de Alta Tensión
  - Real Decreto 842/2002: Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión e ITC
- Con respecto a la iluminación podemos encontrar:
  - Resolución de 30 de mayo de 2012 del Secretario de Estado de Infraestructuras, transporte y vivienda por la que se aprueba la metodología de análisis de riesgo en túneles de la red de carreteras del Estado.
  - Orden circular 36/2015 sobre criterios a aplicar en la iluminación de carreteras a cielo abierto y túneles. Ministerio de Fomento. Madrid.
  - UNE-CR 14380:2007 IN Aplicaciones de iluminación. Alumbrado de túneles.
  - CIE 88: 2004 Guía para alumbrado de túneles de carretera y pasos inferiores
  - Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior y sus Instrucciones técnicas complementarias EA-01 a EA-07. Aprobado por Real Decreto 1890/2008 de 14 de noviembre.
  - CIE 189:2010 Criterios de calidad de los cálculos de iluminación de túneles.
- Con respecto al sistema PCI: Independientemente de la normativa indicada y dada la ambigüedad existente sobre este tipo de instalaciones y sistemas de protección, en su aplicación a un tipo de riesgo de incendio tan específico como el de un túnel carretero, se tendrán en cuenta las siguientes normas, reglamentos y/o reglas técnicas, que pueden servir de referencia en algunos aspectos puntuales del desarrollo de los mismos:
  - Reglamento de Instalaciones de Protección contra Incendios, según R.O. 513/2017 de 22 de mayo (en adelante RIPCI).
  - Documento Básico SI de Seguridad en caso de incendio del Código Técnico de la Edificación, aprobado según R.D. 314/2006 de fecha 17 de marzo y modificaciones de octubre de 2007 (en adelante CTE-DB-SI-06)

- Reglas Técnicas del Centro Nacional de Prevención de Daños y Pérdidas, UNESPA CEPREVEN.
  - RT2-EXT: Regla Técnica para instalaciones de Extintores móviles
  - RT2-ABA: Regla Técnica para los Abastecimientos de Agua contra incendios.
  - RT2-BIE: Regla Técnica para instalaciones de Bocas de Incendio Equipada.
  - RT3-CHE: Regla Técnica para instalaciones de Columnas Hidrantes
- Reglamento de Seguridad contra Incendios en Establecimientos Industriales, aprobado según R.O. 2267/04 de fecha 3 de diciembre (en adelante RSCI-EI)
- Recomendaciones del comité nº 5 de PIARC para túneles de carretera.
- Normas UNE de referencia.

[3] Descripción del túnel

El túnel se plantea como monotubo entre los 0+413m hasta 1+003m, teniendo una sección de unión entre la M-607 con la M-40 al norte y otra entre la M-607, la M-603 y la calle de Nuestra Señora de Valverde al sur, ambas de falso túnel.

El tubo contará con 2 carriles, arcenes y aceras a ambos lados. Habrá galerías de evacuación que conecten el túnel con las zonas seguras en el exterior. En el exterior de cada boca del túnel se situarán los edificios técnicos.

Las características del túnel para su clasificación son:

TÚNEL DE MESA MOTA - LA GORGOLANA	
Longitud (m)	821
Tipología	Unidireccional
IMD (veh/día/carril):	15.392 / 4.035 / 19.427
Entorno	Interurbano
Clasificación R.D. 635/2006	2.21.1.2
Grupo de túneles:	No
Pendiente	-4,0 % / +6,0 %
Asnm entrada	713 m
Asnm salida	716 m

Tabla 1. Características del túnel y clasificación según el RD 635/2006

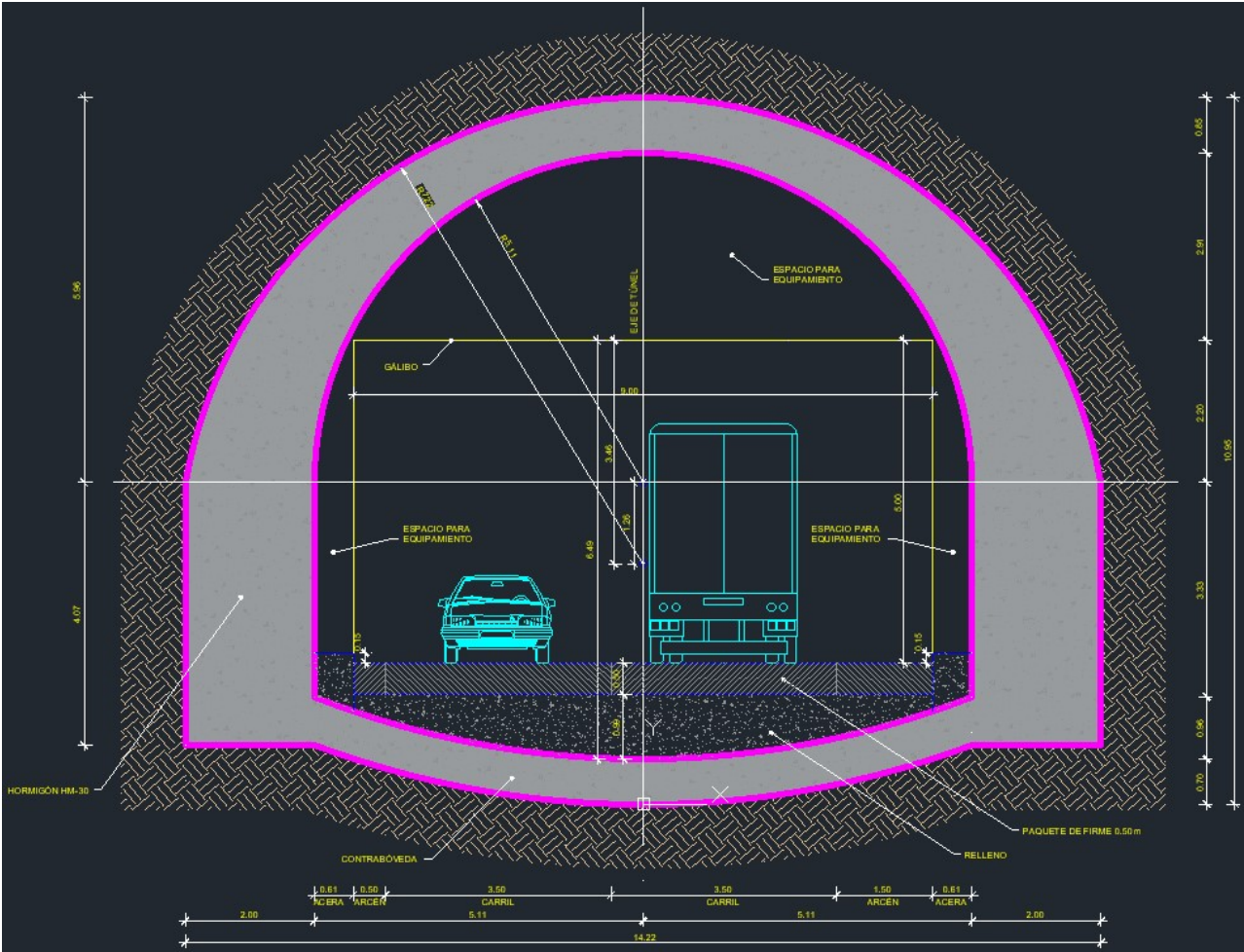


Imagen 1. Sección tipo de túnel en mina.

[4] Instalaciones túnel

En la siguiente tabla se recogen los equipamientos necesarios según el RD 635/2006 y la solución propuesta en base a las recomendaciones del cliente:

Requerimientos de Seguridad	Requerido RD 635/2006	Solución propuesta
Aceras	Sí	Sí
Salidas de emergencia	Sí	Sí
Conexiones transversales para emergencia	Sí	Sí
Cruce de mediana en el exterior de cada boca	Si	Si
Apartaderos	No	No
Drenaje de líquidos tóxicos	Sí	Sí
Centro de control	Sí	Sí
Ventilación	Sí	Sí

Requerimientos de Seguridad	Requerido RD 635/2006	Solución propuesta
Sistema Informático de extracción de humos	Sí	Sí
Detectores de CO	Sí	Sí
Opacímetros	Sí	Sí
Iluminación normal	Sí	Sí
Iluminación de seguridad	Sí	Sí
Iluminación de emergencia	Sí	Sí
Doble suministro eléctrico	No	Sí
Generadores de emergencia	Sí	No
Sistema de alimentación Ininterrumpida (SAI)	Sí	Sí
Cable de detección de incendios	Sí	Sí
Circuito cerrado de televisión	Sí	Sí
Detección automática de incidencias	Sí	Sí
Puestos de emergencia y extintores	Sí	Sí
Señalización de salidas y equipamiento de emergencia	Sí	Sí
Señalización según Norma 8.1 y 8.2 I.C.	Sí	Sí
Paneles de señalización variable	Sí	Sí
Barreras exteriores	Sí	Sí
Semáforos exteriores	Sí	Sí
Semáforos interiores	No	No
Megafonía	Sí	Sí
Red de hidrantes	Sí	Sí
Aforadores	Sí	Sí
Sistemas de radiocomunicación	No	Sí
Mensajería de emergencia (señales radio)	Sí	Sí

Tabla 2. Instalaciones de seguridad requeridas y previstas

[4.1] Electricidad BT y MT

La instalación y equipos de suministro de energía proyectados se encargan de alimentar las instalaciones y equipos de protección civil y seguridad en el túnel con la energía eléctrica necesaria para su correcto funcionamiento. Se dispondrán en total 4 centros de transformación, dos en el norte y dos en boca sur.

Para alimentar a todas las instalaciones y equipos necesarios en el túnel, se conectarán dos centros de transformación a dos compañías eléctricas diferentes que tengan una red eléctrica existente de media tensión a 15 kV o, en caso de no ser posible, cada centro de transformación se conectará a redes que dependan de subestaciones distintas, aunque pertenezcan a la misma compañía. Como primera aproximación suponemos que cada compañía alimenta a un centro de transformación situado en los extremos opuestos del túnel, es decir, uno en el norte y otro en boca sur.

La corriente eléctrica procedente de las subestaciones pasa por las celdas correspondientes (remonte, medida, protección, etc.) y alimenta a dos de los centros de transformación. Los dos centros de transformación restantes se conectarán a ellos a través de dos líneas a 15 kV que transcurrirán por el interior del túnel (en bandejas), conectando ambos centros de transformación.

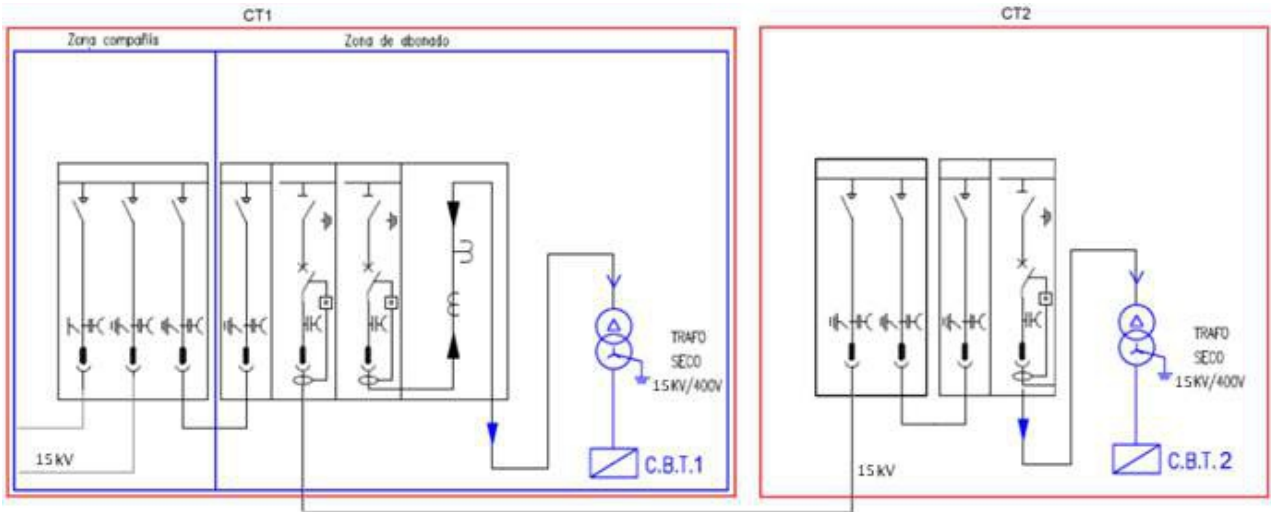


Imagen 2. Esquema de principio de funcionamiento de alimentación desde una de las compañías.



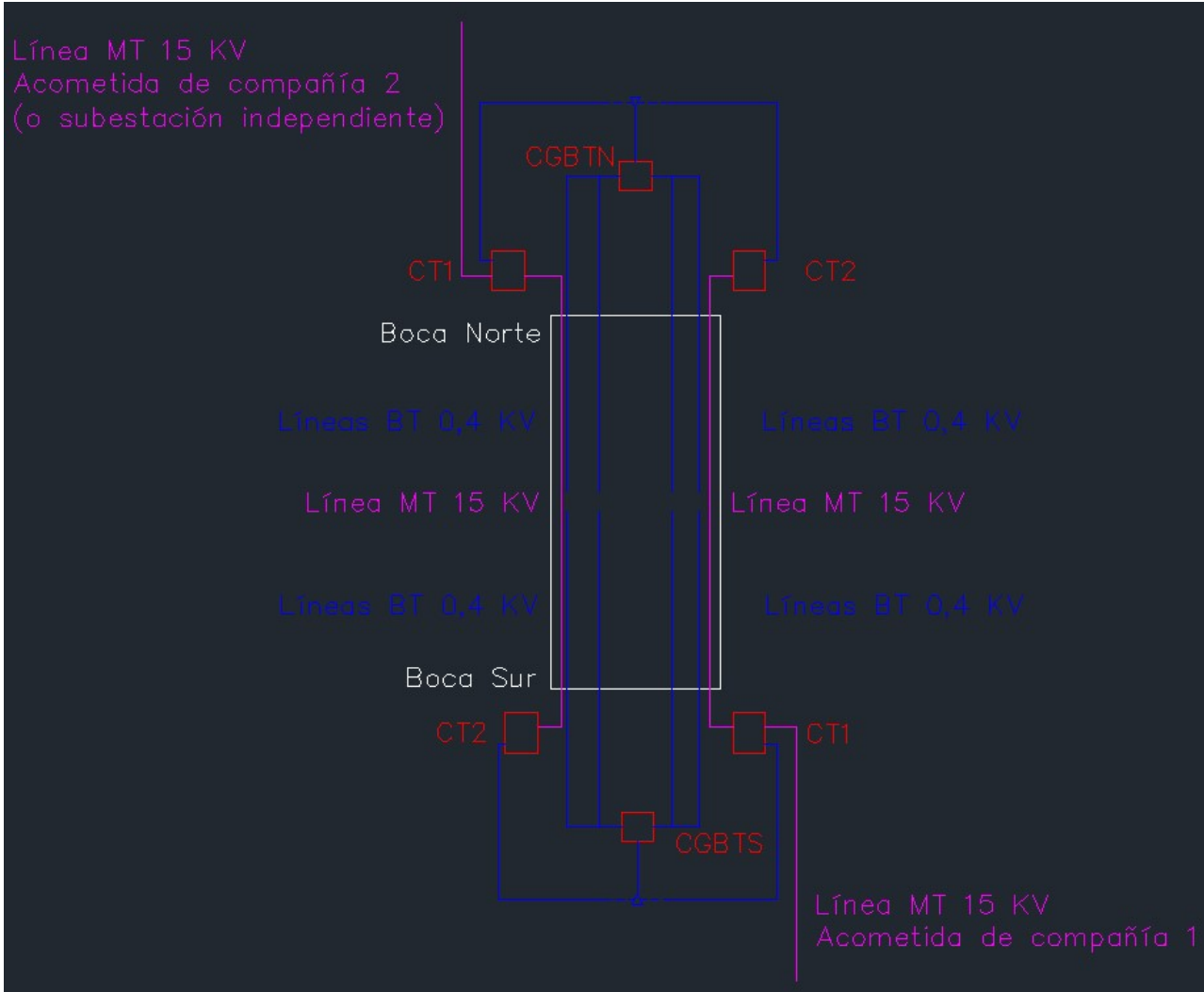


Imagen 3. Esquema de principio de funcionamiento de alimentación eléctrica para el túnel.

Una vez en el centro de transformación correspondiente, la línea de 15 kV pasa a 400 V a través de un transformador. Los dos transformadores en cada extremo del túnel se conectan con el Edificio Técnico de Baja Tensión presente en cada boca del túnel, existiendo un enclavamiento en cada uno para alimentar desde una subestación u otra en caso de fallo en una de ellas, alimentando al Cuadro General de Baja Tensión desde el que se lleva a cabo la distribución al resto de cuadros e instalaciones del túnel.

Esta configuración de la alimentación eléctrica asegura el suministro eléctrico en caso de fallo, por lo que no es necesaria la instalación de grupos electrógenos. Sin embargo, para evitar el paso por 0 V si ocurriera un fallo, se alimenta mediante un Sistema de Alimentación Ininterrumpida (SAI) aquellas cargas críticas que no pueden dejar de funcionar en ningún momento:

- Cuadro Secundario de Alumbrado conectado al SAI
- Cuadro Secundario de ITS
- Cuadro Secundario del Edificio Técnico de Baja Tensión

- Cuadro Secundario del Edificio Técnico de Comunicaciones e ITS
- Cuadro Secundario del Edificio de PCI (sólo en la boca sur en la que se sitúa el edificio de PCI)
- Cuadro Secundario de Galería (sólo en la boca norte, ya que no cuenta con el edificio de PCI, de forma que se trata de equilibrar la carga de ambos SAI, norte y sur)

El SAI se alimentará del CGBT a través de interruptores magnetotérmicos tetrapolares, de calibre adecuado, a 400V, 50 Hz. Cada salida irá protegida por un interruptor automático magnetotérmico tetra/bipolar del poder de corte indicado, y cableado a bornas. Además del SAI, el Cuadro General de Baja Tensión da alimentación a los siguientes cuadros secundarios y cargas:

- Cuadro Secundario de Alumbrado de Red
- Cuadro Secundario del Edificio de Centro de Transformación
- Cuadro Secundario de Protección Contra Incendios (en la boca en la que se sitúa el edificio de PCI)
- Cuadro Secundario de Ventilación
- Baterías de Condensadores

La instalación eléctrica está equipada con dos baterías de condensadores, una en cada ETBT, y alimentarán a los Cuadros Generales de Baja Tensión. Con la instalación de dichas baterías se asegura un factor de potencia deseado. Estas baterías estarán dimensionadas para compensar el factor de potencia de toda la instalación.

Los cálculos eléctricos atenderán a los criterios de intensidad admisible, cortocircuito y caída de tensión, teniendo en cuenta factores de sobrecarga, coeficientes de arranque, selectividad de protecciones, etc. Se considerará una reserva del 20% tanto en potencia como en número de circuitos (en caso de circuitos monofásicos, se añadirán circuitos de reserva hasta alcanzar el múltiplo superior de 3) para los cuadros secundarios, salvo el del SAI que tendrá una reserva del 35%. En el caso de los cuadros generales de distribución en baja tensión, la reserva será del 10%.

#### [4.2] Iluminación

El presente anteproyecto contempla los siguientes sistemas de alumbrado o iluminación:

- Iluminación normal
- Iluminación de seguridad
- Iluminación de emergencia
- Iluminación de guiado

Conforme al Real decreto 635/2006 cada uno de estos sistemas cumplirá la siguiente función:

- La iluminación normal se proporcionará de modo que asegure a los conductores una visibilidad adecuada de día y de noche en la entrada del túnel, en las zonas de transición y en la parte central.
- La iluminación de seguridad se proporcionará de modo que permita una visibilidad mínima para que los usuarios del túnel puedan evacuarlo en sus vehículos en caso de avería del suministro de energía eléctrica.
- 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/m<sup>2</sup>.
- La iluminación de guiado no es preceptiva de acuerdo a normativa, estando definida dentro de los túneles de la M-30 con el fin de hacer más visible a todos los usuarios del túnel la posición de las salidas de emergencia. Estará formada por luces señalizadoras con forma de flecha de color verde situadas a ambos lados de la puerta indicando la posición de la salida de emergencia para atraer la atención de los peatones en su huida durante una situación de emergencia.

#### [4.2.1] Bases del cálculo.

Las premisas que se deberán cumplir en la instalación de alumbrado del túnel son las siguientes:

- Luz de color blanco en el interior de todo el túnel
- Posibilidad de ejercer un control y regulación digital sobre las luminarias permanentes y de refuerzo desde el Centro de Control.

Los objetivos de estas premisas serán los siguientes:

- Limitar el deslumbramiento, de modo que el valor del incremento umbral debe ser inferior al 15% para todas las zonas y niveles, a excepción de la zona de salida.
- Acabar con el molesto efecto Flicker ó parpadeo, de modo que recorriendo el túnel un automóvil a la velocidad de diseño no se produzcan impactos luminosos a frecuencias inferiores a 2,5 hz y superiores a 15 hz
- Evitar al conductor la sensación de claustrofobia, debido a que puede permanecer mucho tiempo en el interior del túnel, para lo que se colocará luz blanca.
- Evitar el efecto “muro” al convertir las paredes en elementos bien iluminados y claramente visibles
- Es muy importante que sea fácilmente accesible sin herramientas, para el cambio de módulos y mantenimiento, por lo que deberán ser de acceso frontal, lo que además permitirá una continuidad en la línea de luminarias, además se exigirá un índice de estanqueidad IP alto para mantener la fotometría a lo largo del tiempo y su limpieza a chorro, por lo que un IP66 será adecuado.

A la entrada del túnel, en la denominada zona de umbral, el alumbrado durante el día debe dimensionarse de forma que se asegure una visión suficiente de eventuales obstáculos sobre la calzada, pero con unos valores de luminancia inferiores a los naturales. Después de esta primera reducción, en la calificada zona de transición, la instalación debe concebirse para paliar el efecto de adaptación (paso de un nivel de iluminación muy elevado a un nivel más bajo), habituando progresivamente el ojo a los valores de iluminación considerablemente inferiores en la denominada zona interior del túnel, mediante la disminución paulatina de los niveles de iluminación hasta los valores constantes de dicha zona interior del túnel.

En este tipo de instalaciones es el efecto parpadeo (flicker) que se produce cuando la separación entre puntos luminosos coincide dentro de las denominadas separaciones prohibidas (entre 2,5 y 15 Hz. en función de la velocidad de circulación).

Estos criterios mencionados, juntos con otros, son aplicados en el estudio para proporcionar a la instalación el grado de seguridad vial requerida en los momentos de máxima densidad de utilización.

El túnel objeto de estudio queda clasificado como túnel largo (ópticamente largo o geoméricamente largo), el cual necesita siempre alumbrado artificial.

Los niveles de luminancia que se deben dar a lo largo del tronco del túnel han sido calculados para una velocidad máxima en su interior de 80 Km/h y de acuerdo con la publicación del Ministerio de Fomento “Recomendaciones para la Iluminación de Carretera y Túneles”.

Sin embargo, para los accesos a este tronco, tomaremos una velocidad de 60Km/h, lo que nos da una distancia de seguridad de 55 m.

Esta diferenciación de dimensionamiento, nos hace tener dos curvas CIE, ya que la distancia de parada, está directamente relacionada con ella, así pues, tendremos una curva a 80km/h, que nos dará el alumbrado base para el interior del túnel. Los accesos al tronco y los refuerzos a la entrada de éste, y otra curva para los accesos más lentos, dimensionada a 60km/h, para determinar los refuerzos de dichos accesos.

En el ramal en sentido sur-norte se establece una iluminación de túnel corto realizando un refuerzo de día.

De este modo el alumbrado base para todo el túnel será de 2,5 cd/m<sup>2</sup> (en caso de emergencia se deberá poder subir el nivel hasta 4 cd/m).

La zona umbral es el primer tramo del túnel, situado justo a continuación de la entrada al mismo.

El nivel de iluminación recomendado de la zona de umbral se establece en función de la luminancia de la zona de acceso durante el día, que recibe la denominación de L<sub>20</sub>.

De manera general, la luminancia de la zona de umbral, denominada L<sub>th</sub>, será directamente proporcional a la luminancia de acceso L<sub>20</sub>, y el diseño de la instalación de alumbrado artificial de la zona de umbral de un túnel se basará en la determinación de cuál debe ser el coeficiente que ligue la luminancia de umbral con la de acceso. Para establecer la luminancia de la zona de umbral se estudiará el acceso a cada túnel de forma individualizada de acuerdo con la orden circular

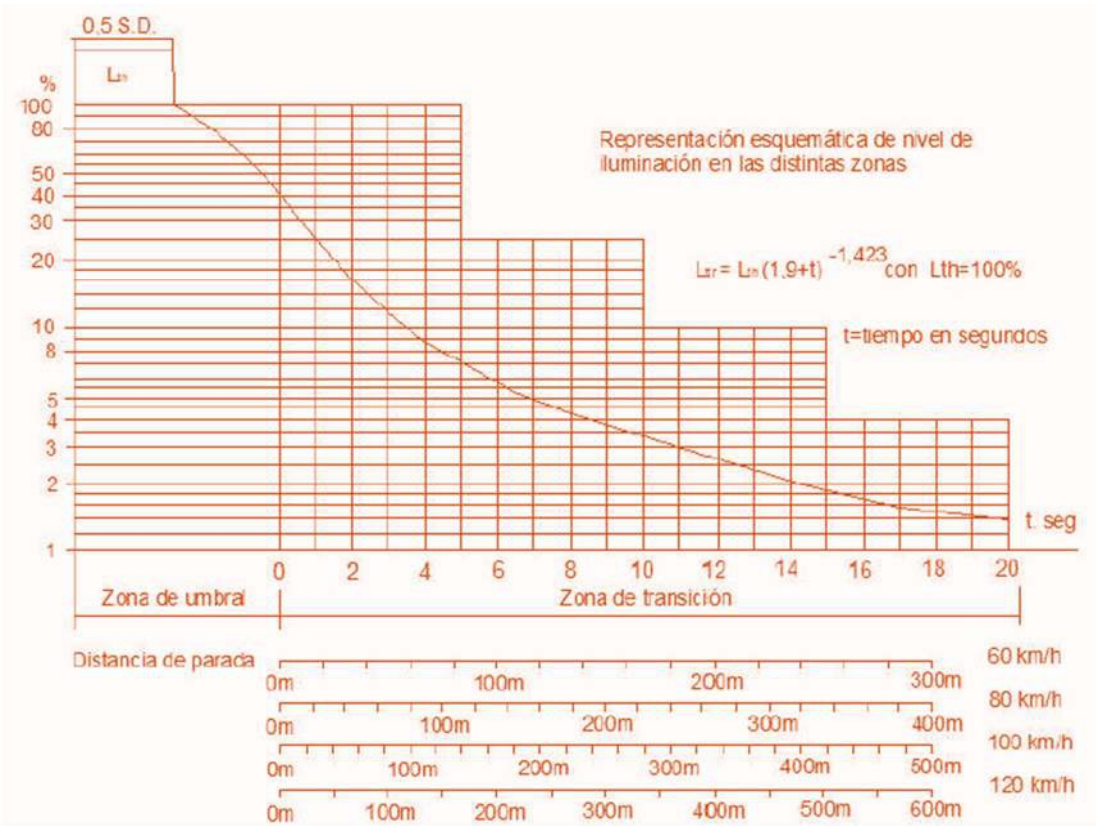


36/2015 sobre criterios a aplicar en la iluminación de carreteras a cielo abierto y túneles del Ministerio de Fomento.

La luminancia de la zona de umbral  $L_{th}$  (luminancia media de la superficie de la calzada en servicio) deberá ser proporcionada durante el día al comienzo de la zona de umbral y a lo largo de una longitud de túnel de  $0,5 \cdot DP$  (distancia de parada calculada para pavimento húmedo). La luminancia media de la superficie de la calzada debe determinarse para la anchura total del túnel, es decir, para el carril o carriles de circulación y para los carriles de emergencia que haya previstos en el túnel.

La longitud total de la zona de umbral debe ser al menos igual a la distancia de parada calculada para pavimento húmedo. Durante la primera mitad de la distancia, el nivel de luminancia debe ser igual a  $L_{th}$  (el valor al comienzo de la zona de umbral). A partir de la mitad de la distancia de parada, hacia adelante, el nivel de alumbrado puede disminuir gradual y linealmente hasta un valor igual a  $0,4 L_{th}$  al final de la zona umbral. La reducción gradual durante la última mitad de la zona de umbral puede hacerse en escalones o de forma progresiva. Sin embargo, los niveles de luminancia no deben descender por debajo de los valores correspondientes a la disminución gradual recogida en la curva de adaptación del ojo humano.

La zona de transición del túnel es la que sigue inmediatamente después a la zona de umbral. Su función es la de adaptar los elevados niveles de luminancia del umbral del túnel a los menores valores de la zona interior del túnel, que suele ser la que cubre la mayor longitud de este.



Dado que la luminancia de la zona de transición debe permitir la adaptación del ojo del conductor, tal y como se ha explicado anteriormente, basta con acudir a la curva de adaptación representada para calcular la longitud de la zona de transición; debe corresponder al tiempo necesario (20 s)

para pasar del nivel al final de la zona de umbral al principio de la zona interior, y que mediante una simple multiplicación por la velocidad de proyecto de la zona interior del túnel expresada en m/s, dará como resultado la longitud que debe tener la citada zona de transición.

	Velocidad	Distancia de seguridad
Tronco del túnel y accesos principales	100 Km/h	100m
Accesos al túnel desde ramales	60Km/h	55m

[4.2.2] Clasificación del túnel

De acuerdo con la orden circular 36/2015 de Ministerio de Fomento, los túneles se pueden clasificar en función de las características físicas y de uso siguientes:

- Intensidad de tráfico.
- Tipo y composición del tráfico.
- Guiado visual.

Para la intensidad de tráfico se consideran los tres niveles que figuran en la siguiente tabla. Como hora punta se considera la IH100.

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 de Intensidad de tráfico en hora punta

En cuanto a tipo y composición del tráfico, se consideran los dos tipos siguientes:

- A: Solo tráfico motorizado.
- M: Tráfico mixto incluyendo bicicletas.

El guiado visual solo se considera para túneles en los que la intensidad de tráfico es baja (IMD<500) y tipo A, ya que en este caso no está justificado el alumbrado de túnel "completo".

En función de la intensidad y tipo de tráfico fijados anteriormente, se establecen las cuatro clases de alumbrado de túneles que figuran en la siguiente tabla:

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

Tabla. Clase de alumbrado de túneles

De este modo el nuevo tramo de túnel proyectado, se clasificará como túnel de Clase 2 destinado para un tipo de tráfico sólo motorizado con una intensidad de tráfico media.

#### [4.2.3] Iluminación zona interior

Se entiende por zona interior, la situada a continuación de la zona de transición. Los valores de luminancia exigidos en esta zona son los que figuran en la tabla siguiente para las diferentes clases de túneles y distancias de parada (calculada para pavimento seco). Los valores de luminancia de superficie de calzada requeridos son válidos tanto para diseño como para funcionamiento durante el día (valores mínimos mantenidos). La luminancia media de la superficie de la calzada debe determinarse sobre el carril o carriles de circulación en el túnel.

Clase de túnel	Distancia de parada $D_p^*$ (m)		
	$\leq 60$	100	$\geq 160$
4	3	6	10
3	2	4	6
2	1,5	2	4
1	**	0,5	1,5

Tabla. Luminancia media de la superficie de la calzada

de la zona interior en  $\text{cd/m}^2$

- \* Distancia de parada calculada para pavimento seco
- \*\* No hay requisitos

#### [4.2.4] Distancia de seguridad o parada

Para la determinación de la distancia de parada emplearemos la siguiente fórmula:

$$SD = u \cdot t_0 + \frac{u^2}{2 \cdot g \cdot (f \pm s)}$$

donde

- $u$ : es la velocidad expresada en m/s
- $t_0$ :  $t_0$  es el tiempo de reacción en segundos (normalmente se toman 2 s)

- $f$ : coeficiente de fricción
- $g$ : es igual a  $9,81 \text{ m/s}^2$
- $s$ : pendiente, con signo (+) para una pendiente ascendente y signo (-) para una pendiente descendente.

El coeficiente de fricción se detalla en el siguiente gráfico en función de la velocidad evaluado por ensayos prácticos.

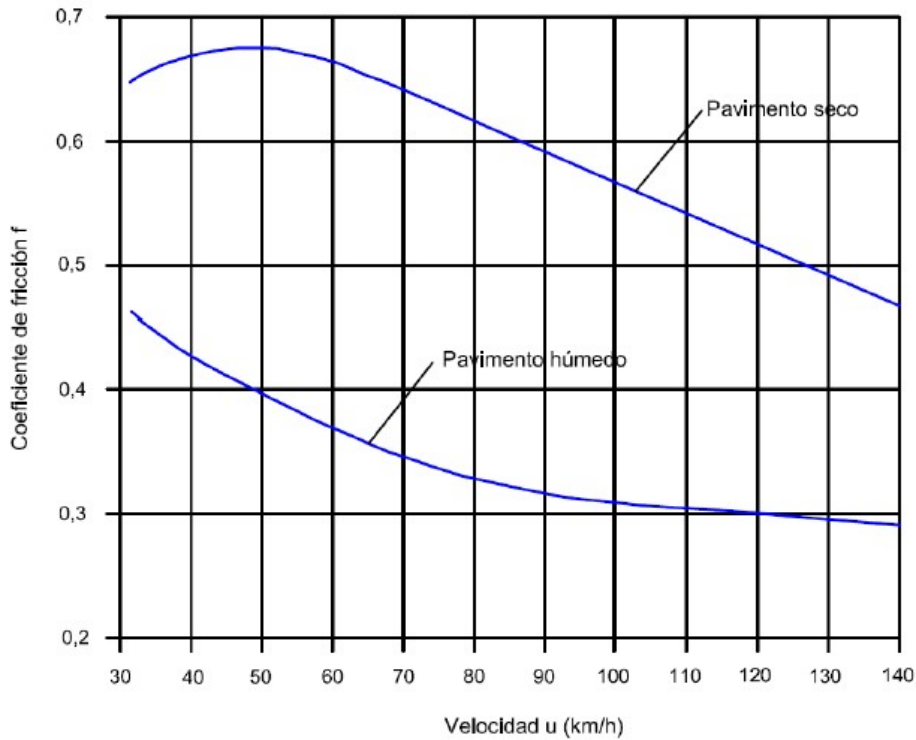


Tabla. Diagramas típicos del coeficiente de fricción en función de la velocidad para pavimento seco y húmedo.



Se han realizado las primeras aproximaciones que a continuación se exponen:

**TÚNEL DE VAR. FUENCARRAL - MOJADO**

**SENTIDO DE CONDUCCIÓN NORESTE**

$$DS = [(V \cdot t_p) / 3,6] + [V^2 / (254 \cdot (f_r + i))]$$

**SUBIDA**

Velocidad de cálculo	50 Km/h
Tiempo de reacción	2 seg
fr	0,411
Pendiente en %	-4,00

Distancia de frenado	54,31 m
Estimado	55 m

**TÚNEL DE VAR. FUENCARRAL - MOJADO**

**SENTIDO DE CONDUCCIÓN SUROESTE**

$$DS = [(V \cdot t_p) / 3,6] + [V^2 / (254 \cdot (f_r + i))]$$

**BAJADA**

Velocidad de cálculo	de	50 Km/h
Tiempo de reacción		2 seg
fr		0,411
Pendiente en %		2,20

Distancia de frenado	de	50,51 m
Estimado		120 m



Se han realizado unos primeros cálculos de los niveles necesarios en función de estimaciones de la geometría de las bocas:

TÚNEL DE FUNCARRAL (MADRID)

BOCA NORTE - DIRECCIÓN DE CONDUCCIÓN SUR

CÁLCULO SEGÚN OC 36/2015 - FIRME MOJADO

DISTANCIA DE FRENADO CON  $t_0 = 2$  seg55 m

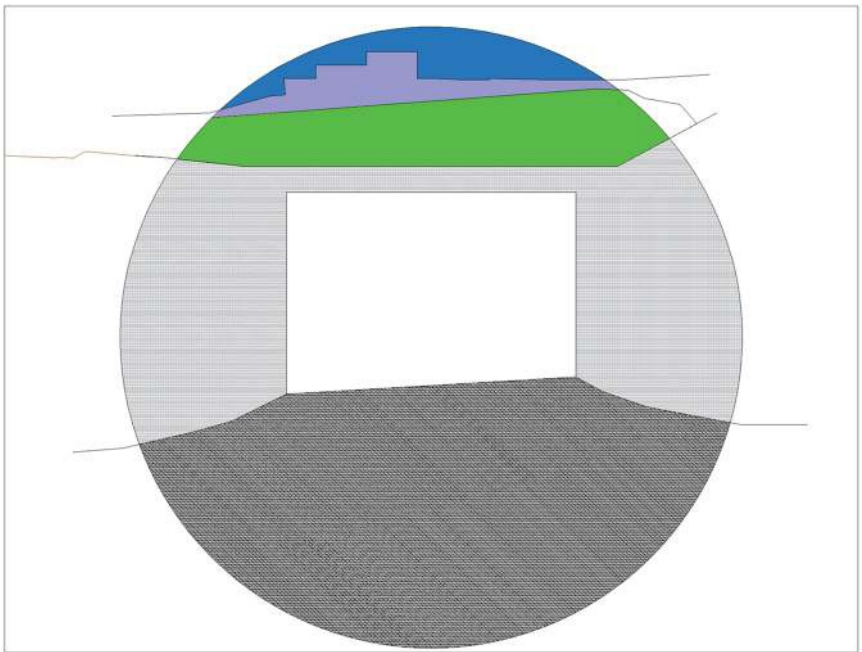
	AREA	PORCENTAJE
TOTAL CÍRCULO	294,5	100%
CIELO	10,7	4%
ROCAS	82,9	28%
EDIFICIOS	9,4	3%
PRADERAS	27,9	9%
CARRETERA	109,1	37%
NIEVE VERTICAL		0%
NIEVE HORIZONTAL		0%
BOCA CONTRARIA		0%
BOCA TÚNEL	54,5	19%

		VALOR LUMINANCIA	LUMINANCIA
LUMINANCIA CIELO	$L_C$	16	581,32
LUMINANCIA ROCAS	$L_R$	1	281,49
LUMINANCIA EDIFICIOS	$L_E$	4	127,67
LUMINANCIA PRADERAS	$L_P$	2	189,47
LUMINANCIA CARRETERA	$L_{CA}$	5	1.852,29
LUMINANCIA NIEVE VERTICAL	$L_{CV}$	5	0,00
LUMINANCIA NIEVE HORIZONTAL	$L_{CH}$	15	0,00
LUMINANCIA BOCA CONTRARIA	$L_N$	0	0,00
LUMINANCIA BOCA TÚNEL	$L_{th}$	0,1	18,51

LUMINACIA MEDIA DE LA ZONA DE ACCESO  $L_{20}$ 3.050,76

VALOR DE K PARA DISTANCIA PARADA 125 m0,030

NIVEL DE LUNANCIA REQUERIDO  $L_{th} = L_{20} \times K$ 91,52



TÚNEL DE FUNCARRAL (MADRID)

BOCA SUR - DIRECCIÓN DE CONDUCCIÓN SUROESTE

CÁLCULO SEGÚN OC 36/2015 - FIRME MOJADO

DISTANCIA DE FRENADO CON  $t_0 = 2$  seg55 m

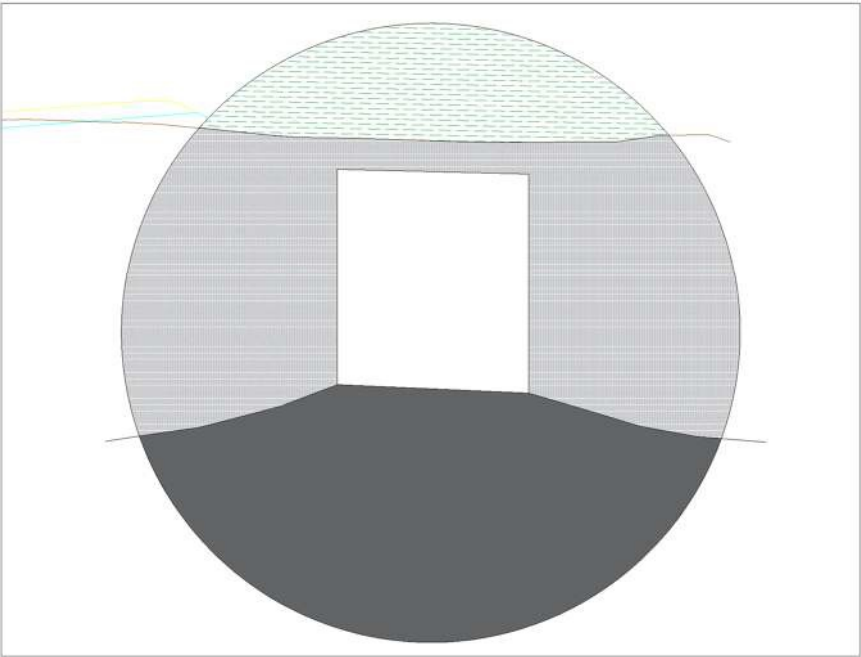
	AREA	PORCENTAJE
TOTAL CÍRCULO	354,4	100%
CIELO	0,0	0%
ROCAS	114,3	32%
EDIFICIOS	0,0	0%
PRADERAS	37,7	11%
CARRETERA	101,6	29%
NIEVE VERTICAL		0%
NIEVE HORIZONTAL		0%
BOCA CONTRARIA		0%
BOCA TÚNEL	0,1	0%

		VALOR LUMINANCIA	LUMINANCIA
LUMINANCIA CIELO	$L_C$	14,0	0,00
LUMINANCIA ROCAS	$L_R$	1,5	483,78
LUMINANCIA EDIFICIOS	$L_E$	5,0	0,00
LUMINANCIA PRADERAS	$L_P$	2,0	212,75
LUMINANCIA CARRETERA	$L_{CA}$	4,5	1.290,07
LUMINANCIA NIEVE VERTICAL	$L_{CV}$	7,5	0,00
LUMINANCIA NIEVE HORIZONTAL	$L_{CH}$	15	0,00
LUMINANCIA BOCA CONTRARIA	$L_N$	0,1	0,00
LUMINANCIA BOCA TÚNEL	$L_{th}$	0,1	0,03

LUMINACIA MEDIA DE LA ZONA DE ACCESO  $L_{20}$ 1.986,63

VALOR DE K PARA DISTANCIA PARADA 125 m0,030

NIVEL DE LUNANCIA REQUERIDO  $L_{th} = L_{20} \times K$ 59,60



### [4.3] Protección Contra Incendios

#### [4.3.1] Equipos de PCI

Los equipos, instalaciones y sistemas de protección contra incendios proyectados se seleccionan en base al Real Decreto 635/2006, que establece los requisitos mínimos de seguridad en los túneles de la red de carreteras del Estado y a las Especificaciones Técnicas del Ayuntamiento de Madrid.

Por otro lado, para el desarrollo de las características de cada una de las instalaciones de Protección Contra Incendios se tendrá en cuenta el Real Decreto 513/2017, de 22 de mayo, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones de Protección Contra Incendios.

Los equipos y sistemas de protección contra incendios a implantar, según el apartado 2.21.1.1 del RD 635/2006 para túneles unidireccionales, de longitud entre 500 y 1000m y con IMD superior a 2000 veh/h por carril serán los siguientes:

- Extintores portátiles, disponiéndose en túnel junto a cada BIE y en el mismo armario un extintor tipo ABC con eficacia 21A-113B, así como en los cuartos técnicos.
- Sistemas de Hidrantes. Se prevén hidrantes exclusivamente en las salidas de emergencia. El sistema consistirá en dos tomas, una ubicada en superficie (hidrante bajo rasante con toma de 100 mm y rosca Madrid) y otra ubicada en el acceso a la salida desde calzada (tomas de 2x70 mm con racor Barcelona, en armario IPF-41). Ambos hidrantes serán unidos con tubería de acero de 100 mm de diámetro.

Los hidrantes bajo tierra deberán llevar el marcado CE, de conformidad con la norma UNE-EN 14339.

- Sistema de abastecimiento de Agua contra Incendios. El suministro de los hidrantes exteriores (uno por cada salida de emergencia). Cada acometida abastecerá a un máximo de 5 hidrantes, para lo cual se hará la distribución más conveniente a nivel de superficie exterior con el cálculo de la sección necesaria. Dicha distribución será en acero negro. El caudal previsto para los hidrantes que determinará la sección de tubería prevista será del 1000 l/min.

Como se ha dicho, además del R.D. 635/2006, la instalación de protección contra incendios tendrá:

- Bocas de incendio equipadas. Las BIE's estarán ubicadas en ambos hastiales a tresbolillo, de manera que todos los puntos del túnel se encuentren cubiertos simultáneamente por la acción de 3 BIEs. La red de reparto se dispondrá en configuración de anillo con tubería de acero negro sin soldadura conforme norma UNE EN 10255, con válvulas de corte motorizadas cada 400 m como máximo. Se han adoptado bocas de Incendio Equipadas de 25 mm con racor Barcelona. Asimismo, dispondrán de armario para ir alojado un extintor.

Para el dimensionado de la instalación se considerarán los valores mínimos y máximos que establece el Real Decreto 513/2017 en cuanto a la presión de 3 kg/cm<sup>2</sup> como y 6 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente, con un factor K=42 para las BIEs de 25 mm. Estas condiciones deberán mantenerse al menos para 3 BIE's simultáneamente durante 1 hora. En cada BIE, se situará una válvula reductora de presión con el fin de garantizar la presión exigida en el caso de que sea necesaria.

Las Bies dispondrá de manguera semirígida, contarán con marcado CE de conformidad con las normas UNE-EN 671-1. Además, deberán contar con sus placas características.

La red será atendida en caudal y presión, por un grupo de presión compuesto por dos bombas eléctricas principales + bomba jockey exclusivo para dicha instalación. Se deberá disponer de una reserva de agua de 18 m<sup>3</sup> considerando el suministro de tres BIEs durante 60 minutos con un caudal por BIE de 100 l/min.

- Red de columna seca. Se prevé exclusivamente en las salidas de emergencia. El sistema consistirá en dos tomas, una ubicada junto a la trampilla exterior y otra en el acceso a la salida desde calzada, empleándose tomas de 2x70 mm con racor Barcelona, en armario IPF-41. Ambas tomas serán unidas con tubería de acero galvanizado de 80 mm de diámetro. Si la columna seca acomete a diferentes tomas, en diferentes niveles de embarque, se dispondrán llaves de cierre normalmente abiertas.
- Armarios de dotación de Bomberos. Requerido generalmente por los Bomberos, se instalará en cada Salida de Emergencia a nivel de calzada, un armario, cuyo suministro quedará por cuenta de la Explotadora. El armario contará con 1 premezclador de Espuma de 200 l/m, 1 lanza para espuma de baja expansión de 200 l/m, 2 bidones para espumógeno de 25 litros baja expansión AFFF Polyfoam 3/3 o similar, 3 mangajes de 25 mm. De diámetro y 25 m. de longitud, 2 sacos de absorbente tipo "Green Stuff" o similar de 25 litros y 8 conos de señalización de Tráfico.
- Además, los Cuartos Técnicos dispondrán de una protección contra incendios, mediante un sistema de gas NOVEC.

#### [4.3.2] Detección en cuartos técnicos

Para los cuartos de control, centros de transformación, cuartos eléctricos y ventiladores se proyecta una instalación de detección por aspiración en ambiente y falso suelo donde este se haya dispuesto.

El detector de humo por aspiración contará con cámara de alta sensibilidad y dispondrá de 1 o 2 tubos según las características de los locales a proteger.

Para la toma de muestras se proyecta tubería de plástico rígida ABS (libre de halógenos) en color rojo con un diámetro exterior de 25x2mm.

Para el resto de los cuartos técnicos se prevé detección de incendios convencional formado por los siguientes elementos:

- Central analógica de de 1 lazo ampliable a 2.
- Detectores ópticos repartidos por los locales y zonas generales a proteger.
- Pulsadores de alarma rearmables. Toda la zona de cuartos técnicos estará cubierta con pulsadores de alarma de forma que ningún punto queda a más de 25m de uno de estos equipos. Se fijarán a una distancia del suelo comprendida entre los 1,2 m y los 1,5m
- Sirenas que hagan audible la señal de alarma en toda la zona de cuartos técnicos.



#### [4.3.3] Detección lineal de incendios en el túnel

La instalación del cable sensor se hará en el túnel y en el ramal en la parte cenital del mismo en toda su longitud. Este cable irá cosido al techo por medio de soportes cada 10 metros para evitar que éste se pueda descolgar.

Tanto en el principio del cable como en el final, la instalación finalizará en una terminación termo retractable y para las derivaciones a las unidades de control y hacia el ramal, se utilizará una caja de conexiones de poliéster reforzada de fibra de vidrio.

Debido a la longitud del túnel y al ancho de la calzada, se utilizarán dos tiradas de cableado en el túnel y una en el ramal con una unidad de control con dos derivaciones. El cableado de detección lineal funciona para un máximo de 3 carriles por tirada, por lo que en nuestro caso en el túnel, al haber 5 carriles, es necesario realizar 2 tiradas para que se cubra la totalidad del mismo y se garantice la detección del posible incendio en cualquier punto del ancho de la calzada.

La conexión de la unidad de control con el cable de detección del túnel se hará por medio de cable de comunicaciones de pares de dos hilos, el cual conectará desde la caja de derivación de los cables sensores del túnel hasta el rack de la ubicación de los equipos.

La unidad de control estará situada en el cuarto de comunicaciones del núcleo de ventilación y cuartos técnicos 2 en un rack de 24U y 19". Esta unidad estará compuesta por la unidad de control y testeo del cable de detección lineal.

Cada unidad de control puede controlar hasta 3.200 m de cable en distintas tiradas. Los 3.200 m de cable representan el conjunto del cable, es decir, la suma de distancia del cable y el cable de comunicación entre el cable sensor y la unidad de evaluación.

La unidad de control del sistema que suministra la corriente eléctrica al cable sensor, cumple el ciclo de direccionamiento de los sensores conectados, lee los valores de temperatura medida e interpreta la información. En el caso de que el valor supere un umbral determinado, aparece una alarma. Estas alarmas serán de varios tipos, según el margen de temperatura que se supere, dando así varios umbrales de avisos de posible incendio.

La zona que debe controlar el cable sensor puede ser dividida en un máximo de 254 zonas de alarma por unidad de control. Se puede definir para cada zona de alarma un umbral de alarma independiente.

El cable se compone de un cable plano de 4 conductores, con híbridos instalados cada 8 m. Los híbridos contienen un circuito integrado, específico de la aplicación y un sensor de temperatura semiconductor. Los puntos de medida tienen una dirección fija y propia, lo que permite su localización física.

#### [4.4] Ventilación túnel

Se analizan a continuación los distintos tipos de ventilación que se podrían instalar.

La ventilación longitudinal en este tipo de túneles no garantiza por si sola que se puedan dar las condiciones para el caso de servicio y emergencia.

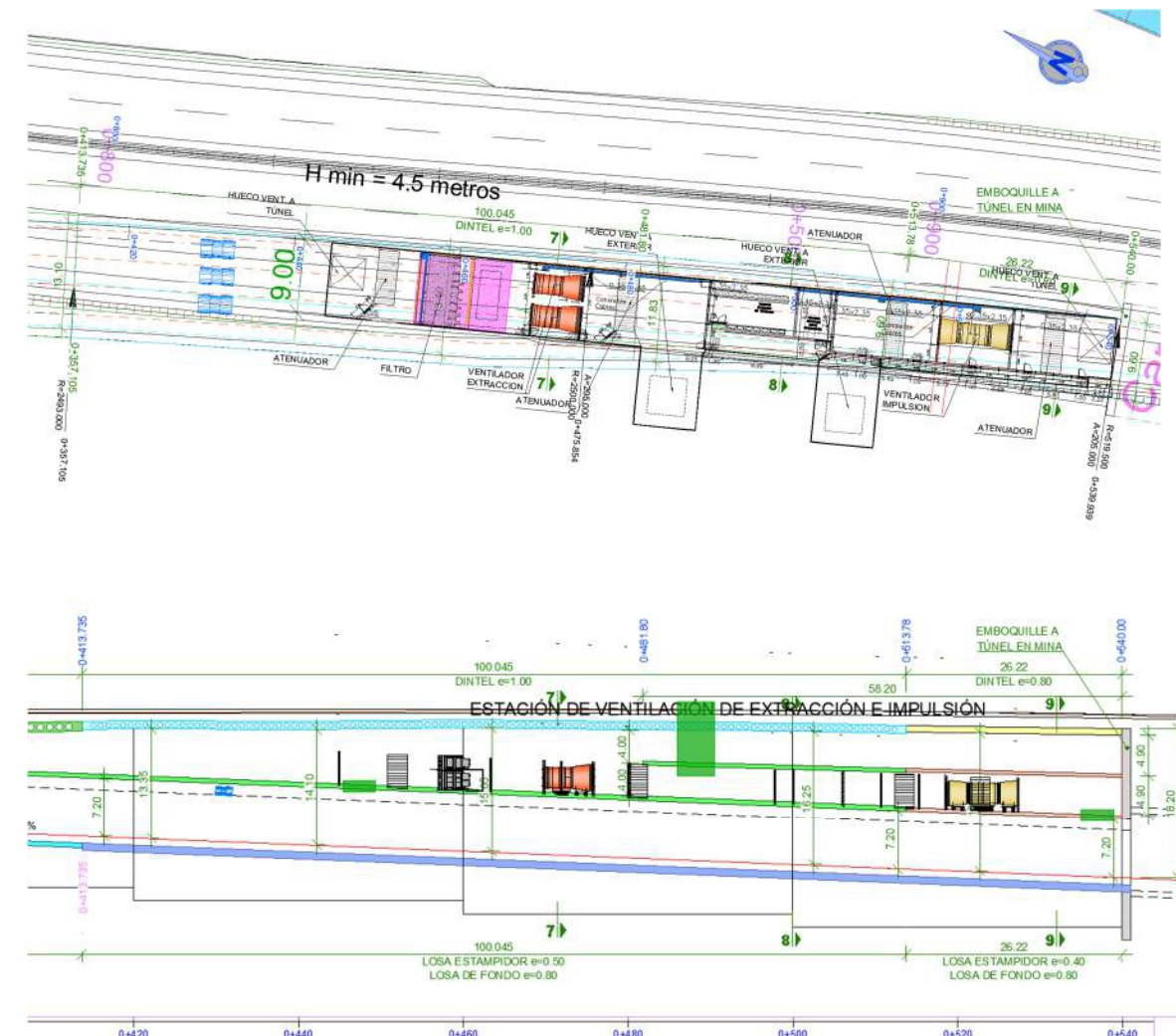
Lo ideal es el uso de una ventilación transversal o semitransversal, pero para esto se requiere la ampliación de sección unos espacios mayores para la instalación de los equipos.

Se plantea un sistema de ventilación longitudinal con apoyo de extracciones e impulsiones locales ya que con este sistema se garantiza alcanzar la velocidad crítica en el túnel, (que en este caso de 2,97 m/s), poder conducir los humos hasta la estación de extracción y preceder allí a su expulsión al exterior.

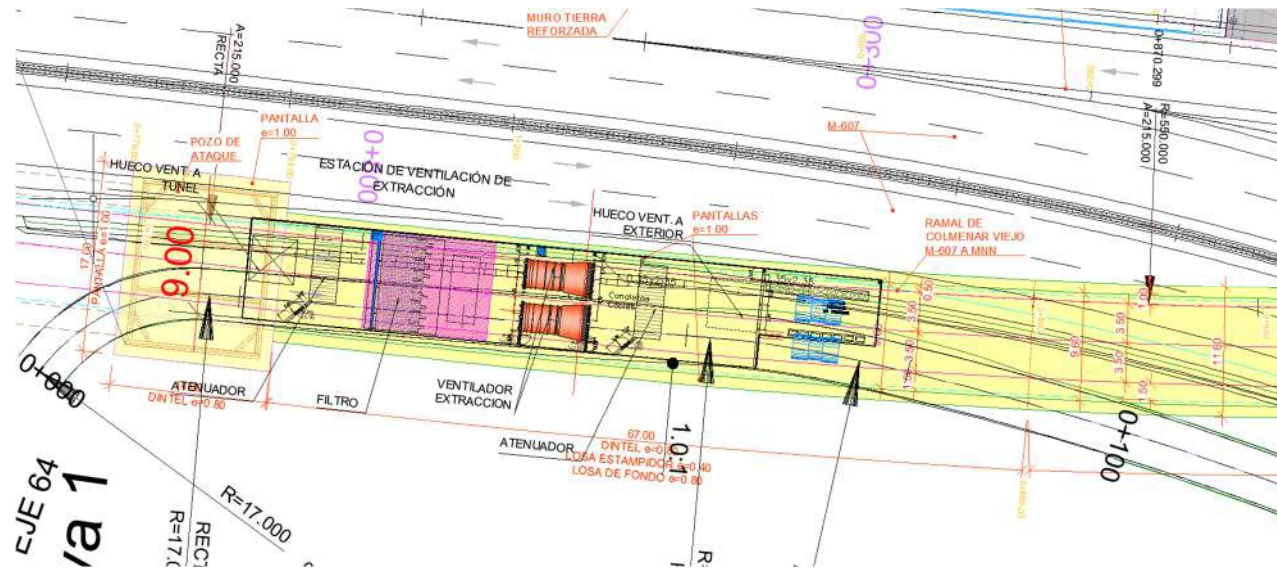
De esta manera se preverán dos estaciones de ventilación.

En el sentido creciente de los PPKK se prevé una justo antes del túnel en mina para taratar de evitar así sobreexcavaciones en este tipo de terrenos difíciles y caros de sostener.

En esta, se prevé una estación de extracción de humos redundante y punto de inyección de aire fresco tomado del exterior del túnel.



La segunda estación de ventilación es solo de extracción ya que se cuenta con el apoyo de la primera estación de ventilación con capacidad de impulsión de aire y con los jet fans previstos.



#### [4.4.1] Detección de gases. Control de Ventilación

La ventilación del túnel estará accionada por el sistema de control, el cual contará con sensores para medir los siguientes parámetros a lo largo del túnel:

- Velocidad y dirección del viento en el interior del túnel
- Velocidad y sentido del viento en el exterior del túnel
- Visibilidad en el interior del túnel
- Concentración de Gases tóxicos en el interior del túnel: CO y NO2

##### [4.4.1.1] Anemómetros de ultrasonidos

Los anemómetros de medición de caudal por ultrasonidos se ubican en los dos hastiales de cada tubo enfrentados de manera que miden el sentido del aire y el caudal para analizar la velocidad de este, estando la electrónica en el hastial derecho desde el que se conecta a la UCD más cercana por medio de conexión de 4-20 mA. En general se colocarán con una interdistancia máxima entre dos medidas de 100 m.

##### [4.4.1.2] Sensor de Opacidad

- El haz de medición entre los sensores de infrarrojos no estará obstaculizado por luminarias o por los vehículos que atraviesan el túnel.
- La distancia entre el transmisor y el receptor (para los sensores de infrarrojos) es de 6 m. Debido a que en estos equipos una unidad realiza la función de emisor y transmisor y la otra unidad es el receptor, la distancia óptima recomendada entre los dos equipos es de 6 m.
- La altura a la que se instalarán la pareja de sensores será 3,50 m respecto de la acera aproximadamente, según recomendaciones de fabricante.
- La distancia entre equipos medidores de opacidad será de 200 m. aproximadamente.

##### [4.4.1.3] Sensor de CO

- El principio de medición de la concentración de CO será por medio de Tecnología electroquímica: Un sensor electroquímico consiste como mínimo en dos electrodos (electrodo de medida y contra electrodo) que tienen contacto eléctrico de dos manera diferentes: por un lado vía un medio eléctricamente conductivo llamado electrolito (un líquido pastoso para transportar iones), por otro lado vía un circuito de corriente eléctrica externo (un simple cable de cobre para transportar electrones).
- Su ubicación será a 2,50 metros con respecto a la aceras, según recomendaciones del fabricante.
- Dispondrá de salida 4-20 mA de conexión directa con la UCD más cercana.
- La distancia entre equipos medidores de CO será de 200 m. aproximadamente.

##### [4.4.1.4] Sensor de NO/NO2

- El principio de medición de la concentración de NO/NO2 es por quimiluminiscencia, a través de un analizador automático que por medio de aspiración por tubería con un sistema de filtrado de partículas de tamaño superior de 5 µm mediante doble filtro de teflón realiza la medición de estos gases.
- Su ubicación será a 2,50 metros con respecto a la aceras, según recomendaciones del fabricante.
- Dispondrá de salida 4-20 mA de conexión directa con la UCD más cercana.
- La distancia entre equipos medidores de NO/NO2 será de 200 m. aproximadamente, realizándose una medida de CO y otra de NO/NO2 en el mismo punto.



Para los equipos de medición de la velocidad y sentido del viento en el exterior, se situarán anemómetros de cazoleta y catavientos en la rampa del ramal de acceso. De esta manera se tiene conocimiento de los vientos en la boca, para cuando se tenga que activar la ventilación, saber qué condiciones tiene que tener en función de lo que marque el anemómetro y el catavientos.

La ubicación de los equipos será sobre mástiles de 3 metros para los catavientos y anemómetros de cazoletas. De todos modos, el mástil de los catavientos y los anemómetros de cazoletas podrá variar en altura en función de las características de la zona.

#### [4.5] Presurización vías de evacuación

Para asegurar una evacuación adecuada de las personas en caso de incendios y la no entrada de humo en las vías de evacuación, se prevé la presurización de los vestíbulos de independencia de conexión entre el túnel y las salidas de emergencia.

El diseño de la sobrepresión de las escaleras de emergencia se realiza conforme a lo indicado en Dossier Pilote des Tunnels: Ventilation. CETU. (Centre d'Etudes des Tunnels) específico para la presurización de las salidas de emergencia en túneles.

Junto a los vestíbulos, situados en lugar considerado seguro, se colocarán dos equipos uno de ellos de reserva, que tomarán el aire en caso de incendios desde el exterior impulsándolo dentro del vestíbulo a presurizar.

A la hora de producirse un incendio el funcionamiento del sistema de presurización será el siguiente:

- Con la activación de la detección lineal de túnel se manda la orden programada automáticamente desde el centro de control de poner en marcha uno de los dos ventiladores de presurización.
- El ventilador puesto en marcha impulsará aire por medio de ventiladores a la vía de evacuación empezándose a presurizar la zona. El aire de impulsión debe permitir la presurización de la galería siendo posible alcanzar una velocidad de paso de aire mínima en la puerta, cuando está abierta de 1m/s.
- Para la situación en la cual se encuentren todas las puertas cerradas la diferencia de presión entre la superficie incendiada y la presurizada debe estar en torno a los 50-80 Pa, con el fin de permitir la facilidad de apertura de dichas puertas por los usuarios durante la evacuación.
- El control de dicha presión se realizará mediante un Presostato diferencial que en condiciones de funcionamiento al 100% de la ventilación mantenga una diferencia de presión entre ambos lados de como máximo 80Pa.
- Para evitar el posible escape del aire a través del ventilador que no se encuentra en funcionamiento se prevé la instalación de compuertas antiretorno en la impulsión de cada uno de los equipos.

#### [4.6] Sistema de radiocomunicaciones

Se prevé un sistema de radiocomunicaciones compuesto por tres zonas o frecuencias de emisión.

- Una zona para sistema tetra y tetrapol para policía nacional y guardia civil, policía municipal, bomberos y emergencias,
- Un sistema UHF para mantenimiento,
- Un sistema FM para emisión de mensajes de emergencia por medio de las emisoras de FM.

El sistema de transmisión será cable radiante de 1 ¼" para sistema tetra y tetrapol y de 1 5/8" para el resto de los sistemas.

En las salidas de emergencia se ubicarán equipos y cable radiante para sistema tetra y tetrapol para garantizar cobertura en esta zona.

Todos los tramos de cable radiante dispondrán de un amplificador, incluso los tramos correspondientes a enlaces y rampas de acceso o salida. Uno sólo de los amplificadores debe ser capaz de dar servicio a todo el tramo en caso de fallo del otro.

Los servicios de comunicaciones a incorporar en el conjunto de túneles son los siguientes:

- Dos frecuencias del Servicio de Bomberos de Madrid.
- Doce emisoras comerciales de FM, a seleccionar entre las existentes en el Dial de Madrid. Dichas emisoras comerciales de FM dispondrán en el interior de los túneles de la posibilidad de cortar la programación existente en ellas y sustituirla por mensajes de información a los usuarios. De estas 12 emisoras 8 están en el CCT y 4 en el CCR.
- Ocho portadoras del Sistema TETRA perteneciente al sistema del Excmo. Ayuntamiento de Madrid, que trabaja en la banda de UHF (380 -390 MHz). En este sistema se engloba en la actualidad, entre otros, los servicios de la Policía Municipal de Madrid, el SAMUR y los Bomberos de Madrid.
- Ocho portadoras del Sistema TETRAPOL perteneciente al sistema del Ministerio del Interior, que trabaja en la banda de UHF (380 -390 MHz). En este sistema se engloba en la actualidad, entre otros, la Policía Nacional y a la Guardia Civil.

Con esta instalación se pretende dar una cobertura dentro del túnel a todos los cuerpos de intervención y operarios de mantenimiento.

En todas las salidas de emergencia se situarán amplificadores bidireccionales de sistema tetra, tetrapol y bomberos para que haya cobertura dentro de las mismas, para que en caso de emergencia se pueda comunicar desde esta zona.

También habrá cobertura radio de los servicios de FM y mantenimiento de túnel.

Se ubicarán equipos en los siguientes sitios:

En los cuartos de comunicaciones del núcleo de cuartos técnicos. Será necesario ubicar racks amplificadores de señal para dar cobertura al túnel del proyecto.

Estos equipos de cobertura son los encargados de amplificar las señales que reciben a través de la red de transporte de fibra óptica prevista, y de su envío al sistema de cable radiante, encargado

de realizar la cobertura interior del túnel. A su vez tienen como función hacer llegar las señales de R.F. generadas por los terminales radio en el interior del túnel, a los racks de amplificación.

#### [4.7] CCTV

Las cámaras proyectadas serán cámaras domos móviles en los accesos al túnel y en los accesos a las galerías de evacuación desde el túnel, cámaras fijas y cámaras domos fijas asociadas a las galerías de comunicación. Los criterios de implantación de las mismas son los siguientes:

- Se ubican cámaras fijas en el interior de los túneles, con una interdistancia máxima entre ellas de 80 metros. No obstante, aunque se establezca esta distancia máxima como base de trabajo, las condiciones del túnel y la ubicación de elementos de gran tamaño como jet y paneles de mensajería, la distancia entre ellas puede ser inferior a 80 m. Durante la obra se realizarán aquellos replanteos que sean necesarios para la visualización correcta de todo el tramo.
- La instalación será en el techo del túnel junto a los hastiales para salvar los posibles obstáculos, y a la hora de establecer el punto exacto de ubicación de una cámara, se asegurará una correcta visualización, teniéndose en cuenta, si el tramo es recto o curvo, si existen disminuciones estructurales de gálibo o si hallamos elementos situados en el techo que oculten alguna zona del túnel. Cabe la posibilidad de que se decida ubicar alguna cámara en un hastial para evitar lo comentado anteriormente.
- Las cámaras por lo tanto se retranquearán lo suficientemente lejos de cualquier elemento de ocultación y modificarán su posición en función de las características del tramo.

Estas cámaras sirven adicionalmente para alimentar al sistema de Detección Automática de Incidentes.

Se instala una cámara móvil en el exterior en el ramal de acceso al túnel. En el ramal de acceso se sitúa una cámara en la rotonda previa a la entrada al ramal para la visualización de la entrada.

Se procura que la cámara exterior controle o sea capaz de visualizar tanto la rampa de acceso, como los sistemas de información variable del acceso al túnel. Para conseguir esto, la cámara se situará sobre báculo o columna de 15 m. de altura.

Para la zona de las salidas de emergencia se ubica una cámara móvil de tipo DOMO, próxima a la puerta, para el control de esta zona en caso de evacuación. Esta cámara no necesita estar adaptada para el sistema de detección automática de incidencias.

Se instalan minidomos fijos en los accesos a locales técnicos de las dos zonas de cuartos técnicos y en los accesos a las salidas de emergencia. Se ubican 2 cámaras en las zonas de los locales técnicos 1 y 3 cámaras en las zonas de los locales técnicos 2. Se sitúan próximas a cada puerta de acceso a los locales, con el fin de controlar lo máximo posible todos los accesos, para en caso de detectar una señal de intrusión en alguna de las puertas se pueda visualizar la zona y comprobar la veracidad de la alarma. También se instalan este tipo de cámaras en las salidas de emergencia en su interior, con el fin de comprobar las entradas y salidas desde y hacia el túnel en estas zonas.

#### [4.7.1] Detección automática de incidentes (DAI)

Además del sistema de cámaras de televisión, se implantará un sistema de detección de incidentes, asociado a las cámaras fijas distribuidas por el túnel con el fin de identificar irregularidades en el tráfico.

- La Detección Automática de Incidentes permite conseguir un acceso inmediato al escenario en caso de incidente, así como la secuencia de los acontecimientos que han precedido al disparo de la alarma. Este sistema tiene almacenado en su interior los acontecimientos lógicos de tráfico, analizando todos los aspectos de este y comparándolos con los datos almacenados. De esta forma, cualquier anomalía de tráfico fuera de los parámetros normales del mismo y recogidos por el sistema, hace saltar la alarma, produciéndose una emisión de imagen prioritaria al centro de control. Este sistema es muy importante como detector de accidentes y posibles conatos de incendios, incluso antes que la detección lineal de túnel.
- Se ha previsto un sistema de detección de incidentes en tiempo real basado en técnica de procesado digital de imágenes. Su fuente son las imágenes recibidas de las cámaras fijas situadas dentro de túnel. Debido a que las cámaras serán IP, no será necesaria la digitalización de las imágenes previo a su procesamiento, ya que el sistema DAI proyectado estará capacitado para las conexiones directas de cámaras IP.
- Para realizar las funciones de Detección Automática de Incidencias, se recomienda que la separación de las cámaras sea como entre 15 y 20 veces la altura de instalación.

#### [4.7.2] Grabación de video

La grabación de las señales IP se hará en dispositivos de almacenamiento iSCSI. Estos dispositivos son arrays de discos que se conectan directamente a la infraestructura de comunicaciones fijas, evitando así el uso de servidores de aplicación. El sistema de grabación directa a iSCSI permite una arquitectura del sistema de grabación tanto centralizada como distribuida. Estos equipos serán sistemas de grabación IP con unidades de discos duros de 4TB cada disco duro, con un total de 3 discos duros en cada equipo.

Los equipos de grabación tendrán una capacidad máxima de 40 cámaras por cada unidad, con un tiempo de grabado de 7 días a 30 fps.

#### [4.8] Sistema de poste SOS

Se instalarán intercomunicadores cada 100 metros más o menos a lo largo del túnel, ubicándose uno en cada salida de emergencia, lo que puede ocasionar que estas distancias se acorten. Los intercomunicadores se conectarán vía Ethernet desde el switch existente en su interior a un armario de control distribuido, que enlazará con un cuarto técnico que a su vez enlaza con el centro de control. Esta conexión se realizará a través de una cable FTP que conecta la electrónica del poste al switch alojado en su interior, con un switch situado en el armario de control distribuido (UCD), entrando así en la red de comunicaciones de equipos de campo que une las UCD y posterior conexión con los PLCs redundantes, para así entrar en la red de comunicaciones.

Los terminales SOS se ubicarán en los armarios propuestos y su funcionamiento es similar al de un teléfono analógico tradicional con llamadas predefinidas.



Se conectan vía Ethernet desde el switch ubicado en cada poste S.O.S. al armario de control distribuido más cercano que es donde se encuentra el switch de la red del túnel encargado de integrar dentro de la red IP existente el servicio de Postes S.O.S.

En el Centro de Control Principal existirá un Sistema Integrado de Gestión de Servicios de Postes S.O.S, compuestos cada uno de ellos por:

#### [4.8.1] Gestor de postes SOS

Como terminal de recepción de llamadas se puede emplear un teléfono analógico estándar, un teléfono SIP o un PC con un software de conexión compatible SIP (Softphone o Ms NetMeeting por ejemplo). En el proyecto se utilizarán teléfonos SIP en el Centro de Control ya existente, con la posibilidad de instalar uno en el cuarto de comunicaciones de los cuartos técnicos 1 y 2.

#### [4.9] Megafonía.

El sistema de Megafonía se basará en un sistema de Evacuación por voz en cumplimiento de la normativa EN-54 especificada en el Real Decreto 513/2017, de 22 de mayo, por el que se aprueba el Reglamento de instalaciones de protección contra incendios (RIPCI).

Se instalará un sistema de megafonía en el interior del túnel. Además, se situarán altavoces en las salidas de emergencia, con el fin de comunicarse con las personas que evacuen por las salidas. El sistema de megafonía será el encargado de transmitir a todos los usuarios del túnel de manera clara y entendible las instrucciones que deben seguir en caso de producirse un accidente en su interior. Además, se utilizarán distintas zonas de megafonía, para que así se puedan emitir desde el centro de control diferentes mensajes en función de las necesidades dentro del túnel, puesto que se puede indicar zonas de evacuación y actuaciones a seguir. También existe la posibilidad de emitir mensajes en las salidas, de calma y de modo de actuación distintos a los que se emitan en el túnel siniestrado.

Todas estas cualidades del sistema de megafonía serán posibles debido a que se trata de un sistema de megafonía descentralizado, con la posibilidad de manejo por medio de unidades remotas de control, por si se produce una caída de comunicación entre el túnel y el centro de control.

El sistema de megafonía lo compondrán los siguientes equipos:

- **Amplificación y Sonorización.** Los amplificadores serán de 500W con cuatro líneas de amplificación, ubicándose 1 unidad en un mismo rack. De todos ellos, uno de los amplificadores será de reserva para poder realizar la conmutación en caso de fallo en línea por amplificador.
- **Matriz de audio:** Situado en el mismo rack que el elemento anterior, se instalará una matriz de audio con conmutación de equipos y gestión del sistema de megafonía de alarma por voz. Esta matriz de audio funciona de manera autónoma para la inclusión de evacuación por voz a través de relés de entradas, que se conectan a módulos de señales del sistema de detección de incendios, de manera que cuando hay una alarma por detección de incendios y se activa el protocolo de evacuación, un módulo de detección de incendios da la orden directamente a la matriz de audio para que emita los mensajes pregrabados de evacuación.
- **Armario rack de Megafonía:** Se situarán en el cuarto técnico.

- **Cableado de conexión** entre los amplificadores y las cajas de derivación.

#### [4.10] SCADA

Todos los equipamientos se integrarán en el centro de control, previéndose una partida para su integración en el sistema de control correspondiente.

El Sistema de supervisión, control y adquisición de datos deberá ser la herramienta que integre todos los sistemas ITS del túnel dentro del alcance del presente proyecto, con el Centro de Control y Operaciones.

Todo el control de este túnel proyectado será realizado desde el sistema de control existente. Además, todo el sistema de control e integración de señales será integrable y compatible con el sistema de supervisión existente, siendo totalmente compatible con el SCADA existente, no estando permitido la existencia de pasarelas para las integraciones. En el Centro de Control asignado a este túnel existe un sistema SCADA, que realiza las siguientes funciones:

- Adquisición y almacenado de datos; para recoger, procesar y almacenar la información recibida, en forma continua y confiable.
- Representación gráfica y animada de variables de los sistemas ITS y monitorización de éstas por medio de alarmas.
- Arquitectura abierta y flexible con capacidad de ampliación y adaptación.
- Conectividad con otras aplicaciones y bases de datos, locales o distribuidas en redes de comunicación.
- Supervisión, para observar desde un monitor la evolución de las variables de control de los diferentes sistemas.

#### [4.11] Fibra óptica

La fibra óptica distribuirá las señales de los distintos equipamientos en un anillo dentro del túnel comunicando con los nodos de comunicaciones más cercanos.

#### [4.12] Salidas de emergencias

Se han previsto 4 salidas de emergencia que conducen al exterior y que estarán dotadas con los siguientes equipamientos:

- Presurización
- Poste SOS interior y extintor
- CCTV interior y en el acceso.
- Iluminación normal.



- Iluminación de evacuación.
- Megafonía.
- Control de accesos.
- Señalización de evacuación.

## [5] Sistema de transporte inteligente (ITS)

### [5.1] Sistema de control de tráfico

Los equipos a ubicar en Túnel y ramales son:

- Matrices gráficas
- Paneles de mensajería variable interior
- Paneles de mensajería variable
- Semáforos.

#### [5.1.1] Paneles de mensajería variable exterior:

Para paneles externos a túneles, los criterios de ubicación corresponden principalmente a la información específica para la cual están destinados estos paneles.

Los criterios generales de ubicación son los siguientes:

En los casos de cierre de túnel o incidencias importantes que aconsejen impedir o minimizar la entrada de vehículos al túnel, se ubicarán paneles externos en aquellos lugares donde el conductor pueda optar por vías alternativas a la utilización de túneles. Lo que se debe evitar es que un vehículo acceda a un viario que conduzca directamente al túnel, sin posibilidad de escape por vías alternativas y sin haber sido informado de la situación.

Los paneles de exterior estarán formados por una zona matricial para la parte de texto con regulación de altura de los caracteres en función del texto y dos zonas gráficas montados sobre pórtico del tronco del túnel y sobre banderola los que están situados en los dos ramales de acceso de la calzada derecha y en el ramal de acceso de la calzada izquierda.

En los ramales de acceso al túnel, se ubicarán paneles asociados al sistema de detección de gálbo, previos a las rotondas de acceso o vías de escape, de zona de texto matricial con dos zonas gráficas sobre banderola, con el fin de avisar a vehículos en caso de tener que tomar una salida antes de entrar al túnel, por estar este cerrado o como recorrido alternativo.

#### [5.1.2] Paneles de mensajería variable interior:

La totalidad de paneles ubicados en el interior del túnel, corresponderán a paneles de 2 líneas matriciales con regulación de altura de texto. Además, se aprovechará la situación del panel para

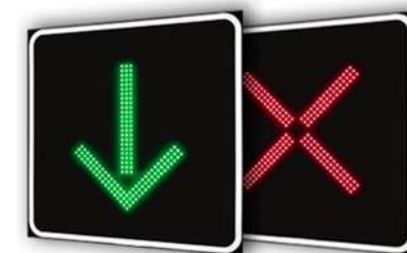
situar dos matrices gráficas a ambos lados del panel como refuerzo de la información que se presentará.

Los criterios generales de ubicación son los siguientes:

- Los paneles se ubicarán con una separación entre ellos de aproximadamente 400 metros, ubicándose en las posiciones que reflejan los planos de manera que se mantenga también una distancia similar con los ya ubicados en los tramos soterrados anterior y posterior.
- A 200 m. aproximadamente de cualquier incorporación o desvío.
- Al menos 50 metros aproximadamente antes de la rampa de salida del túnel.
- Los paneles deberán ser visibles a 150 metros de su ubicación.
- En función del tamaño del panel, es posible que las matrices gráficas caigan entre dos carriles. Se entenderá que esa matriz hace referencia a ambos carriles, siendo la utilidad de las matrices las mismas que las posicionadas en grupo en el que sólo se ubican dos matrices.

#### [5.1.3] Matrices gráficas:

La señalización en matrices gráficas pretende informar de incidentes o acontecimientos en el tráfico o en la red viaria a nivel de carril de circulación.



La información que aportan las matrices gráficas se basa fundamentalmente en la señalización vertical normalizada, aportando la ventaja de que la señalización puede variar dependiendo de las situaciones de tráfico, estado de la calzada o cualquier tipo de incidencia que se produce en cada uno de los carriles de circulación.

Al ser un tipo de información gráfica y de contenido normalmente conocido por el conductor, el tiempo de visualización de la información es mucho menor que en el caso de los paneles de mensaje variables.

Los criterios generales de ubicación de matrices gráficas son los siguientes:

- En las ubicaciones definidas para las matrices gráficas, se situará una señal por carril de circulación.
- La distancia entre distintas señalizaciones con matrices gráficas será de unos 200-250 metros aproximadamente, dando cumplimiento al Real Decreto 635/2006, en el que se especifica que deberá haber señalización de velocidad y afecciones de carril cada 400 m. como máximo.

- Zonas próximas a desvío o incorporación.
- Inicio de las rampas de salida de los túneles.
- Se situarán matrices gráficas de forma específica en los siguientes lugares:
- En los ramales de acceso al túnel.
- En la alineación recta antes del comienzo de curvas de transición, siempre y cuando el resto de equipos instalados en el túnel lo permita, y respetando distancias de equipos ubicados ya en los tramos anteriores y posteriores.

#### [5.1.4] Semáforos exteriores:

Se dispondrán a la entrada de tronco y ramales de accesos próximos a la barrera para el corte de tráfico mecánico, semáforos en tecnología LED para indicar el estado de los accesos a los mismos, instalándose 1 a cada extremo en el tronco y uno en el lado derecho en los ramales en ubicación según proyecto, si bien la referencia para su instalación será en la primera zona de la rampa de acceso, para evitar que se detengan vehículos en la rampa en caso de cierre. La función de estos semáforos será la de avisar con antelación de una anomalía de acceso al túnel o de que la barrera está bajada y el túnel cerrado.

Se proyectan equipos de semáforos de cuatro focos, tecnología leds compuesto por un módulo de inyección de aluminio 4/300 doble rojo-ámbar-verde, de 300 mm de diámetro.

El cableado para los semáforos exteriores de comunicaciones que conecta el semáforo con la UCD más próxima será de 5x6 mm<sup>2</sup>, y debido al poco consumo que tienen las lámparas de led de los focos, no tendrá variaciones del mismo por la distancia.

El circuito de dichos semáforos de señalización, estará dotado de un sensor de luz que capte la luz ambiente y adapte la luminosidad de la óptica en función de la misma (día/noche). Además, estará protegido contra cortocircuitos mediante fusible y contra sobretensiones y ruidos eléctricos mediante tecnología VDR.

#### [5.1.5] Semáforos interiores:

Se proyectan equipos de semáforos de dos focos, con luz ámbar-ámbar en el interior del túnel con el fin de avisar con anterioridad de incidentes en el túnel. Además, los semáforos de interior servirán para el aviso de la utilización de un poste S.O.S.

Por tanto, la ubicación de los semáforos de interior será intercalada entre los postes S.O.S., con una interdistancia de 100 m. aproximadamente, puesto que la ubicación de los mismos será entre la distancia que exista entre los postes S.O.S.

### [5.2] Sistema de control y comunicaciones

Los requisitos básicos de diseño de la red de datos deben ser la fiabilidad y disponibilidad, ya que sobre ella se implementarán los diferentes servicios, que deben mantenerse operativos 24 horas al día, 365 días al año.

La Red de Comunicaciones IP conectará el túnel con el Centro de Control por medio de los cuartos técnicos ubicados desde donde es necesario contar con la posibilidad de conexión directa a la Red IP y los nodos de comunicaciones..

La solución proyectada para la implementación de la Red de Comunicaciones IP implementa una topología de anillos, existiendo dos anillos, uno en cada lado de la calzada, que se conectarán con el centro de control de manera independiente para su gestión luego de forma única en el centro de control.

Todas las conexiones entre los switch o nodos que forman la Red de Comunicaciones IP emplearán tecnología Gigabit Ethernet sobre Fibra Óptica Monomodo.

Todos los equipamientos se integrarán en el centro de control, previéndose una partida para su integración en el sistema de control correspondiente.

#### [5.2.1] Red troncal de comunicaciones :

La Red troncal de cada calzada estará formada por un anillo de fibra óptica monomodo con 64 fibras al cual debemos dar continuidad en el tramo del túnel proyectado

Uno de los equipos de cada anillo serán Nodos o Switch de Nivel 3 con las siguientes características:

- Interfaces Gigabit Ethernet configurables en alcance mediante módulos SFP
- Interfaces 10/100/1000 BaseT sobre par trenzado con interfaz RJ-45
- Software de gestión IOS Enhanced L-3 version, con soporte completo de gestión de tráfico a Nivel 2 y Nivel 3, incluyendo protocolos de routing dinámico (OSPF, EIGRP, IS-IS, etc).

Los enlaces Gigabit se emplearán para:

- Interconexión con el Centro de Control. En éste se ubicará otro switch de nivel 3 para enlace con el túnel, si el equipamiento existente no puede absorber el nuevo túnel proyectado.
- Conexión con 1 nodo de Nivel 3.
- El tercer y cuarto interfaz quedará disponible para futuras ampliaciones.

#### [5.2.2] Red local de túnel

Según se ha expuesto anteriormente, la Red de Comunicaciones Gigabit Ethernet que proveerá la integración de todas las comunicaciones del túnel. Los nodos de dicha red serán los switches de cuarto técnico de Nivel 2 y Nivel 3 descritos hasta ahora y estarán ubicados en el cuarto técnico.

#### [5.3] Elementos de gestión del tráfico

Se proyectan en el túnel unos sistemas de control de tráfico básicos y necesarios para el control de los vehículos que van a acceder al túnel, y del comportamiento de los que ya están en su interior.

#### [5.3.1] Control de aforos.

Se situarán en el interior del túnel, espiras y estaciones de toma de datos, con el fin de tener datos del tráfico y del comportamiento de los vehículos en el interior del túnel. Las espiras y estaciones de toma de datos del interior del túnel se ubicarán con una distancia de 500 m entre ellas aproximadamente con el fin de tener un control de todo el túnel. Las espiras y estación de toma de datos de ramal de acceso se ubicarán a unos 40 metros de la incorporación al túnel aproximadamente.

La obtención de datos del tráfico se basará en la utilización de Detectores Electromagnéticos interiores, conectados a lazos inductivos instalados en la calzada del túnel, que se encargarán de detectar el paso de vehículos mediante la variación de inductancia de las espiras.

Las espiras estarán situadas según el documento de planos, cada 500 metros en el tronco y en cada ramal de entrada y salida, y en general se usarán cables idóneos para el correcto funcionamiento de los equipos asegurando además que no se generen interferencias en los pares de otras comunicaciones.

El equipo ETD genérico ha de poder ser configurado o reconfigurado tanto de forma local vía Terminal de Mantenimiento como desde el PLC al que esté asociado dicho equipo.

La configuración se ha de mantener en soporte permanente de manera que esta no se pierda ni aún ante un apagado del equipo; tan solo se admitirá que esto ocurra ante circunstancias de degradación y no como una forma de operación habitual.

#### [5.3.2] Barreras para el corte del tráfico

La barrera degondable permitirá el paso de vehículos dispuesta verticalmente en situaciones normales y restringirá el paso en situaciones de emergencia.

En caso del choque de un vehículo con la barrera cuando esta se encuentre cerrada, se desplazará abriéndose en horizontal sin romperse gracias a su especial diseño.

La barrera presentará una carcasa preparada para intemperie, con chapa de acero inoxidable de al menos 1,5mm de espesor, pintado en color RAL1006.

Dispondrá de unas tiras de iluminación de leds destellantes de alta luminancia para su visibilidad en caso de bajada de esta por la noche.

Irán asociadas a un semáforos rojo-ámbar-verde.

### [6] Edificios técnicos

#### [6.1] Centros de transformación

Como se ha explicado en la sección 4.1 de este anejo, como primera aproximación se va a tomar que una de las líneas de 15 kV procedentes de una de subestaciones independientes llega a un extremo del túnel, y la otra línea de 15 kV procedente de la otra subestación independiente llega a uno de los centros de transformación del extremo opuesto del túnel.

Los centros de transformación restantes en cada boca se alimentan a través de una línea de media tensión a través del túnel desde el centro de transformación opuesto alimentado por la compañía. Esto hace que tengamos dos tipos de centro de transformación, uno para los que se alimentan desde las compañías eléctricas y otro para los que se alimentan desde el centro de transformación opuesto. En esta fase del proyecto se dispone un centro de transformación de cada tipo en cada boca, en la siguiente fase se comprobará si se corresponde con las líneas existentes en la zona.

Los transformadores se sitúan dentro del centro de transformación, pasarán la tensión de 15 kV a 400 V siendo 50 Hz la frecuencia de la red y tendrán potencia suficiente para alimentar todas las cargas que cuelgan del Cuadro General de Baja Tensión de la boca correspondiente y una reserva correspondiente al 10 %.

Las celdas que se incluyen en los centros de transformación alimentados por las compañías (CT1) son las siguientes (el número de celdas puede depender del fabricante):

- Celda de entrada
- Celda de entrega
- Celda de salida
- Celda de remonte
- Celda de protección
- Celda de medida
- Celda de protección del centro de transformación 1
- Celda de protección del centro de transformación 2

Los centros de transformación tipo 1 estarán divididos en dos zonas, cada una con sus accesos correspondientes: la zona de la compañía eléctrica y la zona propiedad del túnel. Las tres primeras celdas pertenecen a la compañía, mientras que el resto se situarán en la zona de propiedad. Una primera distribución de los centros de transformación puede verse en la siguiente imagen:



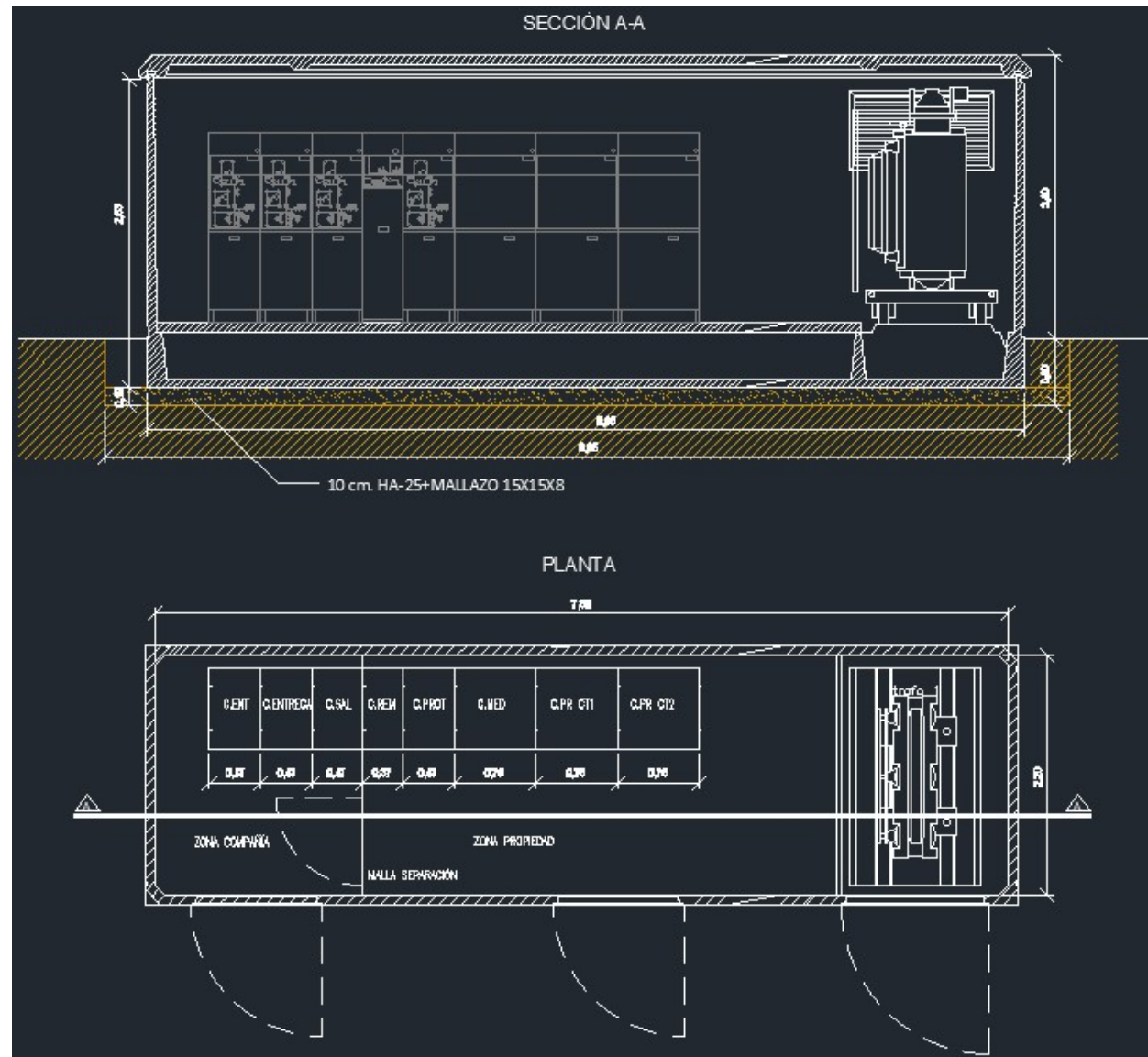


Imagen 4. Distribución de equipos dentro del centro de transformación tipo 1.

Los centros de transformación restantes (CT2) reciben la alimentación en media tensión del CT1. Al ser alimentado de este modo, este centro de transformación no requiere de división en dos zonas, ya que no hay ningún elemento que pertenezca a la compañía eléctrica. El centro de transformación norte solo requiere las siguientes celdas:

- Celda de entrada
- Celda de protección
- Celda de remonte
- Celda de protección del transformador 2

Una primera distribución del centro de transformación puede verse en la siguiente imagen:

Todos los centros de transformación contarán con una conexión de puesta a tierra adecuada según la normativa enumerada en la sección 2 de este anejo.

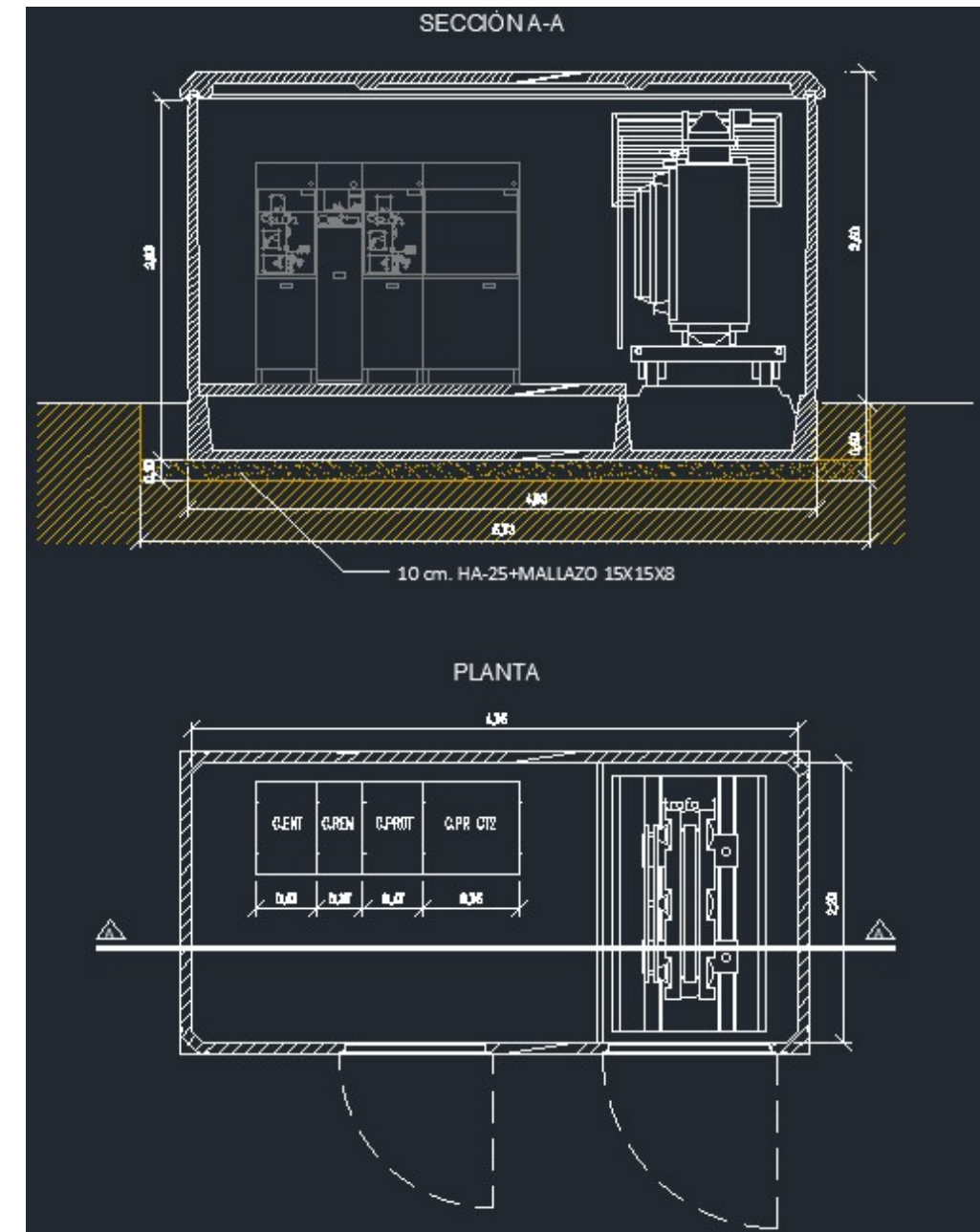


Imagen 5. Distribución de equipos dentro del centro de transformación tipo 2.

### [6.2] Caseta técnica baja tensión

Las casetas técnicas de baja tensión estarán situadas junto a los centros de transformación en cada extremo del túnel, es decir, uno en cada boca. Estos edificios serán alimentados a 400 V por los centros de transformación adyacentes, existiendo un enclavamiento entre las dos acometidas. Albergará el Cuadro General de Baja Tensión, el cuál distribuirá la corriente eléctrica a los siguientes cargos y cuadros secundarios:

- Cuadro Secundario de Alumbrado de Red
- Sistema de Alimentación Ininterrumpida
- Cuadro Secundario del Edificio CT
- Cuadro Secundario del Protección Contra Incendios (PCI)
- Cuadro Secundario del Ventilación

El SAI alimenta a las cargas críticas que se mencionan en la sección 4.1 de este anejo, incluyendo las cargas del edificio de PCI en la boca sur y los cuadros de las galerías en la boca norte.

Las casetas técnicas de baja tensión también albergan una batería de condensadores en su interior que se conecta al CGBT para corregir el factor de potencia. La tentativa de distribución para estos edificios se puede observar en la siguiente imagen:

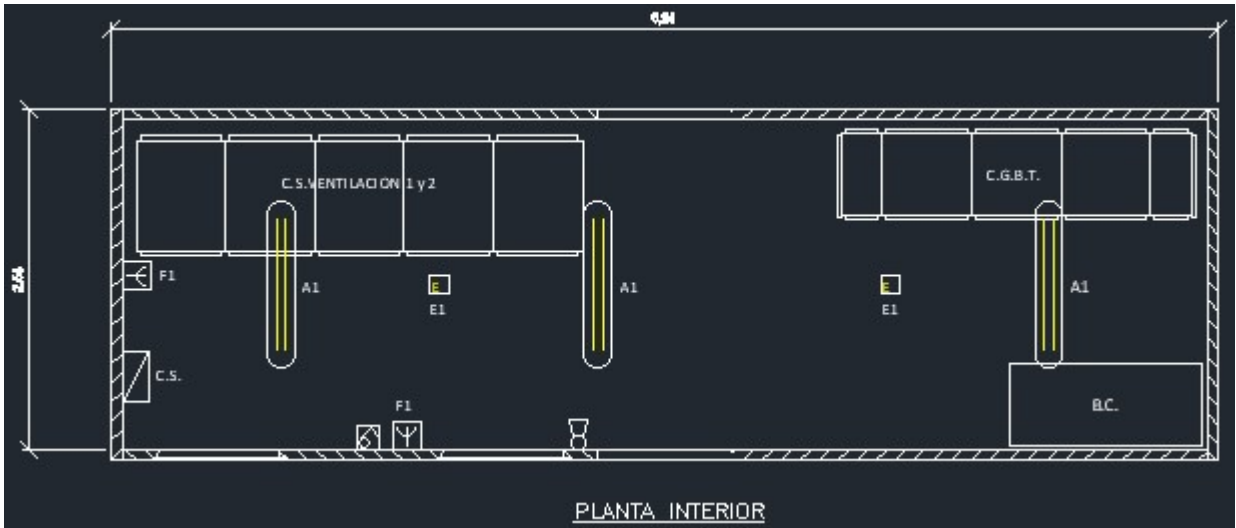


Imagen 6. Distribución de equipos dentro de las casetas técnicas de baja tensión.

[6.3] Caseta técnica comunicaciones e ITS

Las casetas técnicas de comunicaciones e ITS tienen el propósito de albergar los equipos necesarios para las comunicaciones, el control y gestión del tráfico del túnel. Los equipos que deba haber en su interior son:

- Rack de comunicaciones para alojar los equipos de switch de comunicación con el resto de casetas técnicas.
- Rack de comunicaciones para alojar PLC.
- Rack de CCTV para alojar los equipos de grabación y envío de imágenes.
- Rack de CCTV para alojar los equipos de detección automática de incidentes.

- Rack de megafonía para alojar amplificadores y conmutador del sistema de megafonía.
- Rack de detección lineal de incendios para alojar la unidad controladora de detección lineal.
- Rack de radiocomunicaciones para alojar los servicios de seguridad.
- Rack de radiocomunicaciones para alojar el resto de servicios.

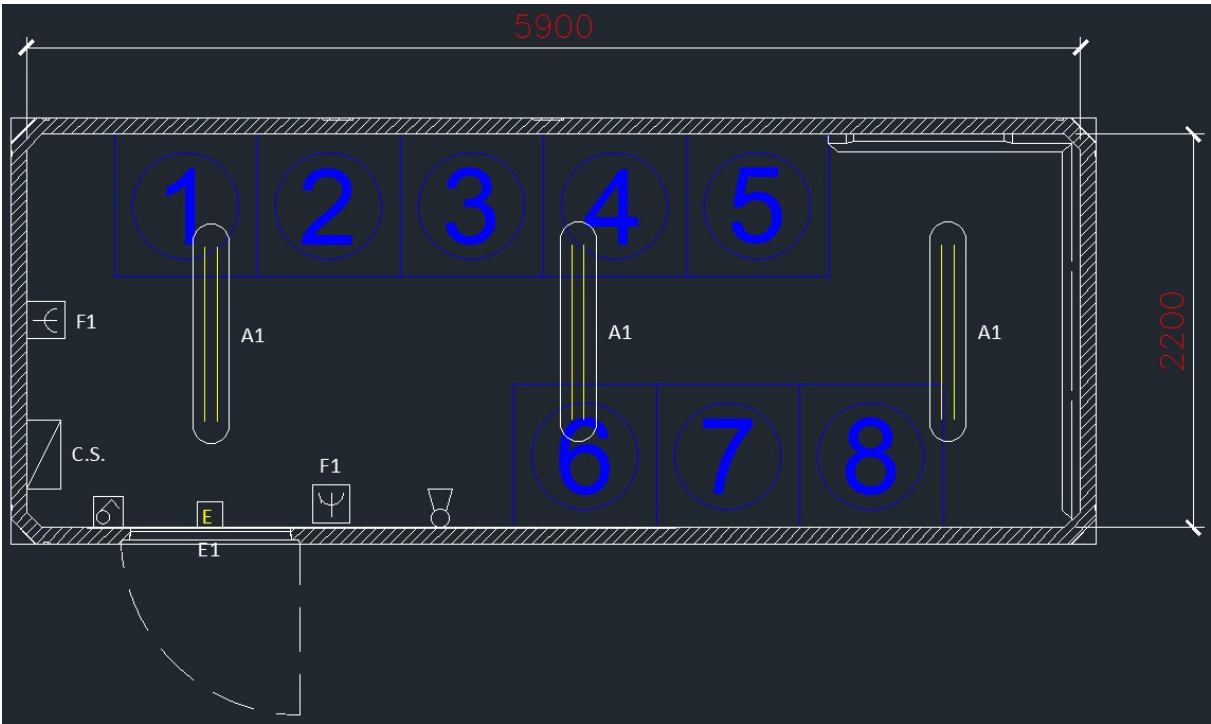


Imagen 7. Distribución de equipos dentro de las casetas técnicas de comunicaciones e ITS.

[6.4] Edificio técnico protección contra incendios

Como se ha mencionado anteriormente, el Edificio Técnico de Protección Contra Incendios se sitúa, incluido el aljibe que almacena el agua destinada a PCI, en la boca con una cota mayor, con el objetivo que la diferencia de cota negativa favorezca el bombeo de agua por efecto de la gravedad a través del túnel.

En el ETPCI se incluyen los elementos de bombeo descritos en la sección 4.3 para el bombeo de PCI, como son la bomba principal eléctrica, la bomba diésel y su depósito de combustible de alimentación y las bombas jockey (en servicio + stand-by).

Se muestra en la siguiente imagen una posible distribución del ETPCI:



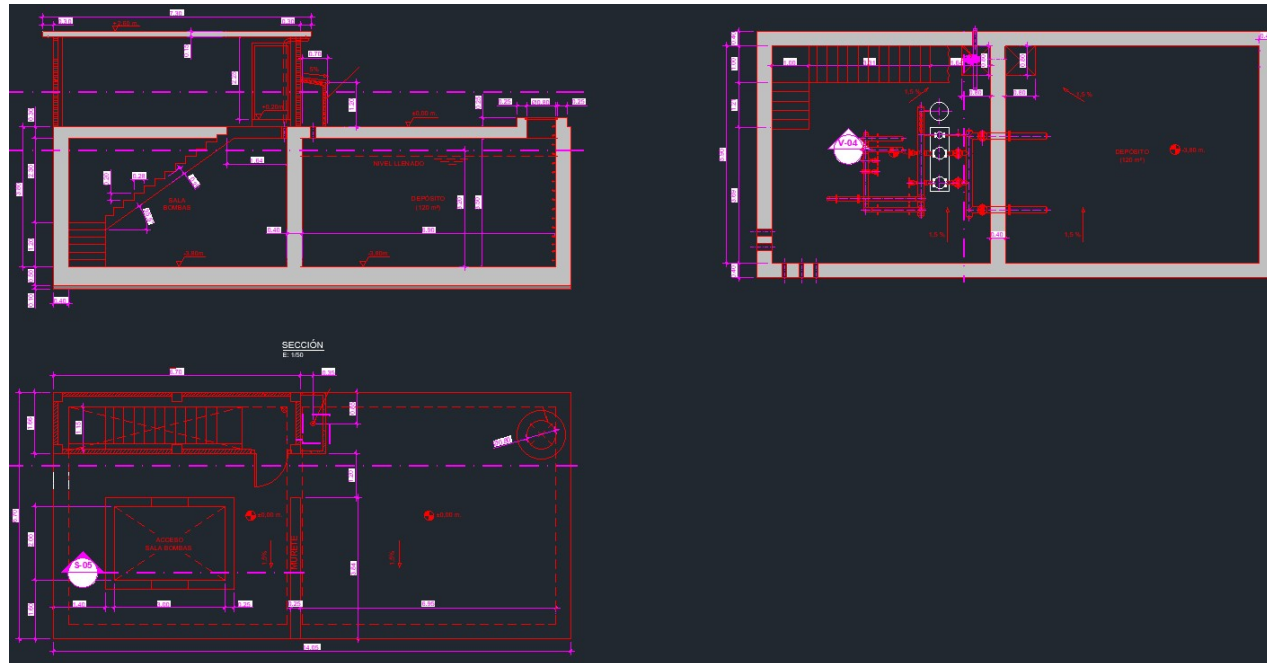


Imagen 8. Distribución de equipos dentro del edificio técnico de protección contra incendios.

## [7] Semaforización de la intersección entre las calles Monasterio de Arianza y C/ del Reino de Candaya

En este apartado se puede encontrar las bases y el diseño de la semaforización de la intersección entre las calles Monasterio de Arianza y C/ del Reino de Candaya.

### [7.1] Ordenación y regulación del tráfico

La ordenación del tráfico es un conjunto de medidas y actuaciones destinadas a mejorar la explotación de una infraestructura viaria existente. Tiene como objetivos básicos el aumento de la seguridad en la circulación y la mejora del nivel de servicio.

En las zonas urbanas o periurbanas las medidas de ordenación deben contribuir al mantenimiento de la fluidez de la circulación. Para ello se deben adoptar una serie de medidas:

- Establecimiento de sentidos únicos de circulación, consiguiendo así un aumento de la velocidad y una disminución de las demoras.
- La prohibición de giros a la izquierda en determinados puntos o el establecimiento de una fase semafórica especial para que se puedan efectuar estos giros.
- La limitación y el control de la velocidad en zonas concretas.
- La distribución de los carriles, reservando algunos para los vehículos de transporte público o los ciclistas.

- La señalización y el acondicionamiento de los puntos de cruce para los peatones.
- El establecimiento de prioridades en las intersecciones en las vías con tráficos importantes.
- La regulación de la carga y descarga de mercancías, esta acción debe realizarse en las horas de menos tráfico. Se deben reservar espacios variando la ubicación y dimensiones.
- Disposición del estacionamiento según sea la forma de estacionar y la duración del mismo.

La regulación de la circulación es el resultado de la decisión y ejecución en cada momento de unas medidas y actuaciones encaminadas al mejor funcionamiento de la ordenación del tráfico. En España, los documentos de referencia que recogen las disposiciones legales son el Reglamento General de Circulación, el Reglamento General de Conductores y el Reglamento General de Vehículos.

Los dispositivos que se emplean en la regulación de la circulación, además de los agentes de la circulación, son:

- Señales fijas y variables
- Semáforos
- Sistemas avanzados de control de tráfico (detectores)

### [7.2] Regulación semafórica

El principal campo de aplicación son las zonas urbanas, aunque también tiene su uso en carreteras convencionales. La instalación de semáforos en aquellos cruces cuya intensidad es mayor a la gestionable y que constan de dos o más vías urbanas, tienen una preferencia de paso fija suponiendo un medio seguro, económico y eficaz para la regulación del tráfico, a pesar de generar detenciones y demoras.

#### [7.2.1] Conceptos básicos

Un semáforo es un dispositivo de regulación del tráfico que asigna de forma secuencial el derecho de paso a cada movimiento o grupo de movimientos que concurren en una intersección. Hay una serie de conceptos fundamentales relativos a la regulación semafórica que precisan ser definidos para su posterior diferenciación:

- Grupo semafórico: conjunto de movimientos posibles en una intersección de manera simultánea y paralela. El semáforo que los regula se pone al mismo tiempo en verde, ámbar o rojo.
- Ciclo: tiempo necesario para que se cumpla una secuencia completa de indicaciones en los semáforos conectados a un mismo regulador.



- Fase: cada una de las combinaciones de indicaciones del ciclo que permiten uno o varios movimientos simultáneos a través de la intersección.
- Tiempo de despeje: períodos intermedios en los que se encienden las luces ámbar o en que todos los semáforos se encuentran en rojo para permitir que los vehículos que se encuentran en la intersección al final de una fase en la que tienen permitido el paso, salgan de ella y se pueda dar paso a los flujos procedentes de otros accesos.
- Reparto del ciclo: distribución del tiempo asignado al ciclo entre las distintas calles que confluyen en la intersección.
- Desfase: intervalo de tiempo transcurrido entre los cambios de fase de semáforos situados en intersecciones sucesivas.

#### [7.2.2] Funcionamiento del cruce semafórico

El funcionamiento de los semáforos de una intersección regulada por estos se clasifica en función del grado de adaptación a la circulación en:

- Semáforos de tiempos fijos: cuando el tiempo de fase asignado a cada acceso permanece invariable en todas las repeticiones.
- Semáforos actuados por el tráfico: cuando el tiempo de fase de cada acceso varía atendiendo a la demanda de tráfico recogida por detectores instalados en la infraestructura o a pulsadores accionados por los peatones.

##### [7.2.2.1] Semáforos de tiempos fijos:

Los reguladores de tiempos fijos no hacen sino cumplir lo que previamente se les ha ordenado, sin depender para nada de las variaciones en intensidad, velocidad o composición que, a lo largo del tiempo se producen en el tráfico. Se puede intervenir en el funcionamiento de un regulador de tiempos fijos modificando de una manera u otra la duración de alguna de las funciones. Es más efectivo juntar en uno solo varios reguladores que entraran en funcionamiento tras su selección manual o por medio de un reloj.

##### [7.2.2.2] Semáforos semiaccionados:

Este tipo de regulación suele instalarse cuando se trata de un cruce de una calle de relativa importancia con otra, que se considera menos importante. Los detectores se colocan en la vía secundaria y el regulador da paso libre a dicha vía siempre que, además de producirse detección, haya finalizado el tiempo mínimo de verde asignado a la vía principal.

##### [7.2.2.3] Semáforos accionados

Todo el tráfico que llega a la intersección es detectado y los tiempos se reparten de acuerdo con unos determinados criterios. Es posible fijar entre ciertos límites algunas de las partes que componen el ciclo total. Aunque los detectores empleados en la mayoría de los casos analizan únicamente la intensidad del tráfico, hay otros aparatos que además tienen en cuenta el número

de vehículos que están parados y el tiempo que lo están; también pueden considerar los intervalos entre unos vehículos y otros, lo que se conoce como densidad del tráfico.

#### [7.3] Solución escogida

Se ha optado por la solución semafórica que se indica en el siguiente esquema.



Imagen 9. Solución semafórica adoptada