



**O**rden circular 36/2015  
sobre criterios a aplicar en la iluminación  
de carreteras a cielo abierto y túneles

---

TOMO II  
Recomendaciones para la iluminación de túneles



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE FOMENTO

SECRETARÍA DE ESTADO  
DE INFRAESTRUCTURAS  
TRANSPORTE Y VIVIENDA

SECRETARÍA GENERAL  
DE INFRAESTRUCTURAS

DIRECCIÓN GENERAL  
DE CARRETERAS

**O**rden circular 36/2015  
sobre criterios a aplicar en la iluminación  
de carreteras a cielo abierto y túneles

TOMO II  
Recomendaciones para la iluminación de túneles





## ORDEN CIRCULAR 36/2015 SOBRE CRITERIOS A APLICAR EN LA ILUMINACIÓN DE CARRETERAS A CIELO ABIERTO Y TÚNELES.

Las primeras recomendaciones de este Ministerio para la iluminación de carreteras y túneles fueron redactadas en 1999, siendo entonces un documento pionero en la materia; en el mismo se establecían criterios claros y completos para diseñar y proyectar la iluminación de las carreteras y túneles de una red que se estaba en esos momentos adecuando y ampliando de manera importante.

Desde entonces, se han producido una serie de cambios en la sociedad que exigían la actualización de las Recomendaciones, entre los que cabe destacar los siguientes:

-En primer lugar, la Red de Carreteras del Estado se ha modificado de forma sustancial y con ello el número de túneles se ha visto aumentado hasta los valores siguientes:

	TÚNELES	TUBOS
UNIDIRECCIONALES	179	347
BIDIRECCIONALES	166	166
TOTAL	345	513

-En segundo lugar, en los últimos años ha aparecido una nueva tecnología de fuente de luz, los LEDS, que tiene grandes ventajas con respecto a las tecnologías convencionales que se venían empleando, por lo que es aconsejable regular su aplicación.

-En tercer lugar, la modificación de la estructura tarifaria y el incremento del coste de la energía que se ha producido en los últimos años, que han obligado a replantearse los métodos de explotación de las instalaciones, y que han promovido que el Gobierno de España haya aprobado una serie de normas encaminadas al ahorro y la eficiencia energética.

Por todo ello desde 1999 han aparecido nuevas normativas y recomendaciones de diferentes organismos a las que es necesario adaptarse, y entre las que cabe destacar:



## 1. Iluminación a cielo abierto:

- a. CIE 140: 2000 Cálculos para la iluminación de vías públicas.
- b. CIE 154: 2003 Informe técnico. El mantenimiento de sistemas de iluminación exterior.
- c. UNE-EN 13201-2:2004 Iluminación de carreteras. Parte 2: Requisitos de prestaciones. Vigente. Fecha de edición 2004-12-17.
- b. UNE-EN 13201-3:2004 Iluminación de carreteras. Parte 3: Cálculo de prestaciones. Vigente. Fecha de edición 2004-12-17.
- c. UNE-EN 13201-3:2004/AC: 2007 Iluminación de carreteras. Parte 3: Cálculo de prestaciones. Vigente. Fecha de edición 2007-05-30.
- d. UNE-EN 13201-4:2005 Iluminación de carreteras. Parte 4: Métodos de medida de las prestaciones de iluminación. Vigente. Fecha de edición 2005-11-23.
- e. 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.
- f. CIE 115:2010 Alumbrado de carreteras para tráfico de vehículos y peatones.

## 2. Iluminación de túneles:

- a. CIE 88:2004 Guía para el alumbrado de túneles de carretera y pasos inferiores.
- b. Real Decreto 635/2006, de 26 de mayo, Sobre requisitos mínimos de seguridad en los túneles de Carreteras del Estado.
- c. UNE-CR 14380:2007 IN Aplicaciones de iluminación. Alumbrado de túneles. Vigente. Fecha de edición 2007-09-26.
- d. 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.
- e. CIE 189: 2010 Criterios de calidad de los cálculos de iluminación de túneles.

Dada la cantidad de normativa y los diferentes organismos autores de la misma, no siempre existe concordancia de criterios entre los documentos arriba mencionados, debido probablemente a las diferentes épocas en las que han sido elaborados y al cambio surgido como consecuencia de la imposición en





los últimos años de diversas medidas de eficiencia energética para reducir los consumos de energía de las instalaciones.

Con objeto de intentar armonizar la aplicación de las citadas normas en la Red de Carreteras del Estado, la Dirección General de Carreteras elaboró las siguientes instrucciones:

- a. Nota de Servicio 3/2010 sobre actuaciones a realizar por las Demarcaciones de Carreteras para reducir el consumo de energía en las instalaciones de alumbrado de 16 de junio de 2010 e instrucciones para su aplicación de 2 de septiembre de 2010
- b. Instrucciones complementarias sobre actuaciones a realizar por las Demarcaciones de Carretera para reducir el consumo de energía eléctrica en las instalaciones de alumbrado público de 14 de abril de 2011
- c. Instrucciones sobre medidas a adoptar por las Demarcaciones de Carreteras para reducir el consumo de energía eléctrica en las instalaciones de alumbrado de 12 de junio de 2012

Estas tres instrucciones han sido un primer paso en el desarrollo normativo de la Dirección General de Carreteras, y en la adaptación a los avances tecnológicos y a las exigencias normativas de cada momento. La diversidad de sistemas de iluminación existentes en la actualidad y su tecnología aconsejan incluir adicionalmente en esta Orden Circular criterios técnicos y económicos fundamentales para el ingeniero que proyecta, construye o mantiene las instalaciones de iluminación de la red vial, con la finalidad de conseguir la mayor eficiencia energética posible en cada instalación.

También persiguen estas recomendaciones complementar los conocimientos técnicos y las buenas prácticas de todos los agentes que intervienen en los procesos de proyecto, construcción, mantenimiento y explotación de las instalaciones de iluminación en unos aspectos que no les suelen ser familiares debido a su formación específica inicial.

La Comisión para la redacción de unas nuevas Recomendaciones para la iluminación de carreteras y túneles, constituida el 26 de abril de 2011, ha revisado toda la normativa vigente al respecto con el fin de mejorarla y adaptarla a las características de la Red de Carreteras del Estado y a las nuevas exigencias tecnológicas y normativas.

Por otro lado, y aunque ambas comparten la misma tecnología, existen diferencias sustanciales en el diseño, construcción y mantenimiento entre las instalaciones de iluminación de túneles y las de iluminación de carreteras a cielo abierto, por lo que se ha decidido dividir las recomendaciones para la iluminación en dos bloques diferenciados que aparecen como anexos 1 y 2 a esta orden circular bajo los siguientes títulos:



- Anexo 1: Recomendaciones para la iluminación de carreteras a cielo abierto.
- Anexo 2: Recomendaciones para la iluminación de túneles

Las recomendaciones que se aprueban como anexos de esta orden circular constituyen una guía que se pone a disposición de los técnicos de carreteras en sustitución de toda normativa anterior, para el proyecto, construcción y mantenimiento de las instalaciones de iluminación en la Red de Carreteras del Estado.

No son objeto de estas recomendaciones las instalaciones de iluminación de zonas peatonales ni travesías, para las cuales rigen otro tipo de consideraciones como la seguridad, la ornamentación etc., aunque pueden ser de aplicación y ayuda los criterios técnicos en ellas contenidas.

Las recomendaciones serán de aplicación en los proyectos de construcción de nuevas carreteras y túneles, de acondicionamiento de los existentes y de actuaciones específicas de iluminación (tal como se definen en el apartado 2.3 de la Norma 3.1.-1.C., Trazado). Dichos proyectos deberán incluir en un anejo de su memoria el análisis económico de las posibles soluciones a aplicar, determinando la más eficiente tanto desde el punto de vista técnico como económico. El proyecto constructivo contemplará con el detalle que se exige en las recomendaciones todos los elementos de la instalación, desde la acometida general hasta las luminarias.

Como consecuencia de todo lo anterior, y a propuesta de la Comisión formada para la revisión de las Recomendaciones de iluminación de carreteras a cielo abierto y túneles, la Dirección General de Carreteras ha dispuesto lo siguiente:

**Primero.-** Aprobar las siguientes recomendaciones, que acompañan como anexos 1 y 2 a esta Orden Circular:

1. Recomendaciones para la iluminación de carreteras a cielo abierto
2. Recomendaciones para la iluminación de túneles

**Segundo.-** Definir como ámbito de aplicación de esta Orden Circular los siguientes tipos de proyectos, obras y actuaciones en la Red de Carreteras del Estado:

- Proyectos de carreteras y túneles de nueva construcción, de acondicionamiento de las existentes y de actuaciones específicas de iluminación (tal como se definen en el apartado 2.3 de la Norma 3.1.-1.C., Trazado), cuya orden de estudio se autorice o que se encuentren en fase de redacción con posterioridad a la entrada en vigor de esta orden circular.



- En el caso de obras en fase de licitación o adjudicadas, o de proyectos aprobados cuyas obras está previsto licitar, se elevará consulta a la Subdirección General de Construcción o a la Subdirección General de Conservación de esta Dirección General según corresponda, acerca de la conveniencia de proceder a modificar el contrato para adecuarlo técnicamente a lo previsto en esta orden circular.

- En las instalaciones actualmente en servicio se analizarán las posibles actuaciones que mejoren la eficiencia energética, de acuerdo con lo establecido en estas recomendaciones, y se elevará consulta razonada a la Subdirección General de Conservación sobre la procedencia de solicitar una orden de estudio para llevar a cabo dichas actuaciones.

**Tercero.-** El mantenimiento y la sustitución parcial de las instalaciones existentes en la actualidad podrán seguir realizándose mediante elementos o sistemas iguales o similares a los existentes, sin perjuicio de adaptarlos, de acuerdo con lo que la buena práctica aconseje, a las indicaciones de estas recomendaciones.

**Cuarto.-** La aprobación de estas Recomendaciones, implica la anulación de todos los documentos normativos de igual o menor rango en materia de instalaciones de iluminación (notas de servicio, notas técnicas, etc.), previas a esta orden circular, incluidas las Recomendaciones para la iluminación de carreteras y túneles de 1999, que hayan sido redactadas por las diferentes Subdirecciones Generales de la Dirección General de Carreteras.

**Quinto.-** Esta orden circular entrará en vigor a partir del día 24 de febrero de 2015.

Madrid, 24 de febrero de 2015

EL DIRECTOR GENERAL DE CARRETERAS

Fdo.: Jorge Urrecho Corrales



**ANEXO 2.  
RECOMENDACIONES PARA LA ILUMINACIÓN  
DE TÚNELES.**

Este documento ha sido elaborado por una Comisión de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, formada por los funcionarios de la Dirección General de Carreteras:

- Luis Azcue Rodríguez
- Carlos Azparren Calvo
- M<sup>a</sup>. del Rosario Cornejo Arribas
- María Carmen Corral Escribano
- Ignacio García-Arango Cienfuegos-Jovellanos
- Angel Luis García Garay
- Fernando Hernández Alastuey
- M<sup>a</sup>. Carmen Sánchez Sanz
- Vicente Vilanova Martínez-Falero

Con la colaboración de:

- LCA consultoría de infraestructuras
- Fernando Vila Arroyo, Ingeniero Industrial
- Tomás Ferré Pérez, Ingeniero Industrial
- Lorenzo Cercadillo, Ingeniero Técnico Industrial

Han aportado ideas y sugerencias al texto:

- Dirección General de Trafico
- Asociación Española de Fabricantes de Iluminación

## ÍNDICE

### CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes .....	1
1.2 Objeto .....	3
1.3 Campo de aplicación.....	3

### CAPITULO 2

CRITERIOS PARA LA ILUMINACIÓN DE TÚNELES .....	4
2.1 Generalidades .....	4
2.1.1 Distancia de parada .....	4
2.1.2 Requisitos para el alumbrado de túneles.....	5
2.1.3 Composición del tráfico .....	5
2.1.4 Condiciones del túnel .....	5
2.1.5 Distinción entre túneles largos y cortos .....	7
2.1.6 Sistemas de alumbrado y métodos de rendimiento de contrastes .....	8
2.1.7 Problemática de visión en los túneles durante el día.....	10
2.1.8 Guiado visual.....	12
2.2 Situaciones de proyecto .....	12
2.2.1 Túneles de más de 200 metros.....	12
2.2.1.1 Clasificación de túneles .....	13
2.2.1.2 Iluminación de la zona umbral .....	13
2.2.1.2.1 Determinación de la luminancia de umbral $L_{th}$ .....	14
2.2.1.2.2 Definición de la luminancia de acceso $L_{20}$ .....	14
2.2.1.2.3 Longitud de la zona de umbral .....	17
2.2.1.3 Iluminación de la zona de transición.....	17
2.2.1.3.1 Determinación de la luminancia de la zona de transición.....	20
2.2.1.3.2 Longitud de la zona de transición .....	21
2.2.1.4 Iluminación zona interior.....	21
2.2.1.5 Alumbrado nocturno.....	21
2.2.1.6 Iluminación de la zona de salida .....	22
2.2.1.7 Control del nivel de luminancia en túneles .....	22
2.2.1.8 Uniformidad de la luminancia.....	23
2.2.1.9 Limitación del deslumbramiento .....	23
2.2.1.10 Limitación del efecto flicker .....	24
2.2.1.11 Alumbrado de seguridad en túneles .....	24
2.2.1.11.1 Alumbrado de emergencia por interrupción del suministro eléctrico .....	24
2.2.1.11.2 Alumbrado de evacuación en caso de incidente .....	26
2.2.2 Túneles cortos (menores de 200 metros) .....	26

### CAPITULO 3

ELEMENTOS COMPONENTES DE UNA INSTALACIÓN DE ILUMINACIÓN .....	32
3.1 Fuentes de luz.....	32
3.1.1 Lámparas fluorescentes .....	33
3.1.2 Lámparas de vapor de sodio de alta presión .....	35
3.1.3 Diodos fotoemisores (LED) .....	36
3.1.4 Análisis de la visibilidad de las diferentes fuentes de luz .....	39
3.1.4.1 Relación entre la visibilidad y la cromaticidad .....	39

3.1.4.2 Características cromáticas de las fuentes de luz y su importancia a bajos niveles de iluminación.....	40
3.2 Equipos eléctricos auxiliares .....	43
3.2.1 Equipos para lámparas de fluorescencia .....	43
3.2.2 Equipos para lámparas de vapor de sodio de alta presión.....	44
3.2.2.1 Balasto inductivo.....	44
3.2.2.2 Balasto de doble nivel.....	45
3.2.2.3 Balasto electrónico.....	46
3.2.3 Sistemas de alimentación para LED .....	46
3.3 Luminarias .....	47
3.3.1 Fotometría .....	47
3.3.2 Construcción .....	49
3.3.3 Instalación .....	50
3.4 Soportes de montaje de las luminarias .....	52
3.5 Dispositivos de regulación del flujo luminoso y consumo de los puntos de luz .....	53
3.5.1 Normativa específica.....	54
3.5.2 Requisitos cualitativos.....	54
3.5.3 Sistemas de regulación contemplados en el REEIAE .....	54
3.5.3.1 Balastos de serie de tipo inductivo para doble nivel de potencia .....	55
3.5.3.2 Equipos estabilizadores-reductores en cabecera de línea.....	57
3.5.3.3 Balastos electrónicos de potencia regulable .....	58
3.5.3.4 Dispositivos de alimentación regulable para LED.....	59
3.6 Distribución eléctrica .....	60
3.6.1 Distribución de alimentación principal.....	60
3.6.1.1 Cuadros de mando y medida.....	60
3.6.1.2 Circuitos eléctricos .....	68
3.6.2 Alimentación de alumbrado sin corte .....	69
3.6.2.1 Sistema de alimentación ininterrumpida (S.A.I) .....	69
3.6.2.2 Grupo Electrónico .....	70
3.6.2.3 Cuadro de conmutación red-grupo .....	72
3.6.3 Alumbrado de emergencia de evacuación en caso de incendio.....	76
3.7 Control y gestión de la instalación .....	77
3.7.1 Requisitos cualitativos.....	77
3.7.2 Tipos más importantes de sistemas de control y gestión .....	78
3.7.2.1 Sistema de gestión centralizada.....	78
3.7.2.2 Sistema de gestión punto a punto.....	81
3.7.3 Normativa aplicable.....	82
<b>CAPITULO 4</b>	
PROYECTOS DE ILUMINACIÓN .....	83
4.1 Introducción.....	83
4.2 Justificación de la solución adoptada.....	83
4.2.1 Implantación y disposición de luminarias.....	84
4.2.2 Regulación de niveles lumínicos.....	85
4.3 Cálculos luminotécnicos.....	85
4.4 Cálculos eléctricos .....	86
4.5 Distribución eléctrica .....	89
4.5.1. Canalización eléctrica .....	89
4.5.2 Bandeja de distribución .....	89



4.5.3 Conductores .....	91
4.6 Calificación energética de la instalación (REEIAE) .....	94
4.6.1 Eficiencia energética de una instalación .....	94
4.6.2 Valoración de los ratios de eficiencia energética ( $\epsilon$ ) .....	95
4.7 Análisis económico.....	97
4.8 Cuadro de características de la instalación de iluminación .....	99
4.9 Documentación a incluir .....	100
4.10 Normativa a tener en cuenta en la redacción de proyectos.....	101
<b>CAPITULO 5</b>	
<b>EJECUCIÓN DE OBRAS .....</b>	<b>102</b>
5.1 Replanteo .....	102
5.2 Realización de las obras .....	102
5.3 Control de calidad .....	103
5.3.1 Control de los materiales y equipos .....	103
5.3.1.1 Documentación general de la empresa suministradora.....	103
5.3.1.2 Fuentes de luz.....	104
5.3.1.3 Equipos eléctricos auxiliares no regulables .....	104
5.3.1.4 Luminarias .....	104
5.3.1.5 Equipos auxiliares para regular flujo y consumo.....	104
5.3.1.6 Elementos de control de los distintos regímenes.....	105
5.3.1.7 Soportes.....	106
5.3.1.8 Elementos de distribución eléctrica.....	106
5.3.2 Control de ejecución.....	106
5.3.2.1 Fuentes de luz. Luminarias .....	106
5.3.2.2 Sistema de control y regulación.....	106
5.3.2.3 Soportes.....	106
5.3.2.4 Distribución eléctrica .....	107
5.4 Recepción de las obras.....	107
5.4.1 Comprobaciones a realizar para la recepción.....	107
5.4.2 Verificaciones e inspecciones legales.....	108
5.4.2.1 Verificaciones.....	108
5.4.2.2 Inspecciones.....	108
5.4.3 Documentación final.....	109
<b>CAPITULO 6</b>	
<b>MANTENIMIENTO Y EXPLOTACIÓN DE LAS INSTALACIONES .....</b>	<b>111</b>
6.1 Introducción .....	111
6.2 Normativa de aplicación .....	111
6.2.1 Obligatoriedad de un plan de mantenimiento en las instalaciones de alumbrado.....	111
6.2.2 Necesidad de un registro de los elementos componentes y su histórico .....	112
6.2.3 Necesidad de un mantenimiento correcto de la instalación.....	112
6.2.4 Responsabilidad de la ejecución del plan de mantenimiento .....	112
6.2.5 Control y registro de las operaciones de mantenimiento.....	112
6.3 Inventario de instalaciones. Elementos y características .....	113
6.3.1 Estructura del inventario.....	113
6.3.1.1 Identificación de la instalación .....	113
6.3.1.2 Elementos de la instalación.....	114
6.3.2 Módulos de medida o punto de suministro .....	115
6.3.3 Centros de mando o cuadros de control .....	116
6.3.4 Conductores .....	117
6.3.5 Puntos de luz.....	117

6.3.6 Sistemas de Control .....	118
6.4 Mantenimiento programado o preventivo.....	119
6.4.1 Operaciones de mantenimiento programado.....	119
6.4.1.1 Operaciones de carácter general.....	119
6.4.1.2 Operaciones en los componentes de la instalación .....	119
6.4.2 Descripción y frecuencia de las operaciones de mantenimiento programado .....	121
6.4.2.1 De carácter general.....	121
6.4.2.2 De carácter particular.....	121
6.4.3 Verificaciones e inspecciones obligatorias periódicas .....	123
6.5 Mantenimiento casual o correctivo.....	124
6.6 Agenda de estado de la instalación .....	125
6.7 Reposición o sustitución masiva de luminarias.....	125
6.8 Explotación de la instalación .....	125
6.8.1 Niveles luminosos .....	125
6.8.2 Horarios .....	126
6.8.3 Eventos ocasionales .....	126
6.8.4 Análisis de costes de explotación .....	126
<b>CAPITULO 7</b>	
<b>MEJORA Y REHABILITACIÓN DE LAS INSTALACIONES .....</b>	<b>128</b>
7.1 Introducción.....	128
7.2 Evaluación del estado de la instalación .....	128
7.2.1 Revisiones periódicas. Incumplimiento de parámetros.....	128
7.2.2 Análisis de los costes de explotación.....	129
7.3 Actuaciones de rehabilitación y mejora.....	129
7.3.1 Actuaciones para el cumplimiento de los parámetros recomendados .....	129
7.3.1.1 Eficiencia energética.....	129
7.3.2 Actuaciones para mejora de los costes de explotación .....	130
7.4 Análisis económico de las actuaciones de rehabilitación y mejora .....	131
<b>CAPITULO 8</b>	
<b>ILUMINACIÓN Y MEDIOAMBIENTE .....</b>	<b>132</b>
8.1 Introducción.....	132
8.2 Contaminación medioambiental.....	132
8.2.1 Diseño ecológico aplicable a los productos que utilizan energía.....	133
8.2.2 Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE).....	134
8.3 Eficiencia del uso final de la energía.....	135
8.4 Normativa sobre protección del medio ambiente.....	136
<b>ANEJOS:</b>	
ANEJO 1. Términos y definiciones	
ANEJO 2. Inventario	
ANEJO 3. Cálculos luminotécnicos	
ANEJO 4. Cálculos eléctricos	
ANEJO 5. Cuadros eléctricos	
ANEJO 6. Ejemplos basados en instalaciones realizadas	
ANEJO 7. Análisis económico	

## **CAPÍTULO 1**

### **INTRODUCCIÓN**

#### **1.1 Antecedentes**

La falta de visibilidad de los conductores de los vehículos es una de las razones por la que se originan los accidentes, y su efecto es más significativo en los túneles si éstos no disponen de la iluminación adecuada, ya que con el alumbrado proporcionado por los faros de los vehículos no suele ser suficiente para circular por ellos con seguridad y comodidad, debido a las especiales características de los mismos. Hay que tener en cuenta que las consecuencias de un accidente de circulación suelen ser más graves en un túnel que a cielo abierto.

Para mitigar estas dificultades de visión, se emplean las instalaciones de alumbrado de túneles, que mejoran la comodidad y la seguridad del conductor al aumentar su capacidad para ver detalles y objetos y situarlos adecuadamente con antelación, permitiendo reaccionar de modo efectivo y en tiempo adecuado sin producir maniobras bruscas e imprevisibles; también reducen el deslumbramiento originado por los faros de otros vehículos al aumentar la luminancia de fondo del campo visual.

La circunstancia principal que hace que el alumbrado de túneles de carretera sea diferente al de carreteras a cielo abierto es la necesidad de disponer de mayor iluminación durante las horas de luz natural que durante las horas nocturnas. En efecto, como puede comprobarse en la mayor parte de este tipo de obras de infraestructura, a partir de una determinada longitud, durante el día, la luz natural no penetra en una cantidad suficiente para asegurar la visión adecuada de obstáculos que eventualmente se encuentren en el recorrido de un vehículo, pues como mucho, según la situación geográfica, la posición del sol a determinada hora del día y el estado nublado o soleado del cielo, la luz natural penetra como máximo tres veces la anchura o la altura (la de mayor magnitud) del túnel.

En consecuencia, es recomendable instalar en los túneles que así lo requieran alumbrado artificial, tanto diurno como nocturno, que asegure las condiciones adecuadas de visibilidad y confort de los conductores de los vehículos. Además de lo anteriormente expuesto, se debe tener en cuenta que la iluminación tiene un efecto de guiado para el vehículo que circula por el túnel.

La instalación del alumbrado artificial en los túneles de carretera es el objeto de estas Recomendaciones, que tienen como objetivo fijar los criterios para llevarlas a cabo de forma adecuada desde el punto de vista técnico, consiguiendo que sea energéticamente eficiente y a un coste razonable tanto en construcción como en cuanto a explotación y mantenimiento.

La instalación de alumbrado artificial de un túnel es una de las instalaciones más caras de cuantas se realizan en alumbrado exterior, exceptuando las empleadas para la retransmisión de eventos por televisión. La razón la constituyen los elevados niveles de iluminación exteriores que aporta la luz natural, que pueden llegar hasta 100.000 lux, y a los cuales hay que adaptar las entradas de los túneles para evitar el efecto agujero negro en la visión de los conductores.

Competir con estos elevados niveles en esas circunstancias da como resultado instalaciones que suponen una importante inversión en número de puntos de luz y en potencia eléctrica instalada, pero sobre todo un elevado coste de explotación y de mantenimiento, debido este último a la sustitución de las fuentes de luz por agotamiento y

pérdida de flujo luminoso con el paso del tiempo. No se debe olvidar que una parte del alumbrado de un túnel está encendido las 8.760 horas del año, o lo que es lo mismo, casi el 50% de la vida útil de las lámparas de sodio de alta presión y casi el 33% de la vida media de las mismas.

En el año 1.999, la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento elaboró las hasta ahora vigentes “Recomendaciones para la iluminación de carreteras y túneles”. Desde entonces han sido el marco de referencia para el proyecto y ejecución de las instalaciones de iluminación en la Red de Carreteras del Estado.

Como ocurre con todas las normas, debido a los avances técnicos que van apareciendo a lo largo del tiempo es necesario actualizarlas; y estas Recomendaciones no son ajenas a ese requerimiento. Pero es que además en este caso se han producido recientemente dos hechos transcendentales que exigen que sea necesario llevar a cabo la actualización de la norma.

Por una parte, ha aparecido una nueva tecnología de fuente de luz, la de los diodos electroluminiscentes o fotoemisores (LED), con una serie de ventajas muy importantes con respecto a otras fuentes de luz que se estaban utilizando actualmente, lo que requiere su consideración y regulación.

Por otra parte, el incremento del precio de la energía que se ha producido en los últimos años y la situación económica actual, han dado lugar a que el Gobierno de España haya promovido una serie de normas encaminadas al ahorro y la eficiencia energética, entre las que cabe resaltar:

- Reglamento de Eficiencia Energética en instalaciones de Alumbrado Exterior e Instrucciones Técnicas Complementarias (Real Decreto 1890/2008, de 14 de noviembre de 2008).
- Ley 2/2011, de 4 de marzo, de Economía Sostenible

Además, en el periodo transcurrido se ha elaborado nueva normativa a la que es necesario adaptarse:

- Reglamento electrotécnico para baja tensión (Real Decreto 84/2002)
- Requisitos mínimos de seguridad en los túneles de carreteras del Estado (Real Decreto 635/2006)

Asimismo, en el año 2004 la Comisión Internacional de Iluminación (CIE) elaboró la “CIE 88:2004. Guía para el alumbrado de túneles de carretera y pasos inferiores”, que define los nuevos criterios que se deben tener en cuenta en el alumbrado de túneles, con el objetivo de conseguir la máxima eficiencia energética y ahorrar consumo en la medida de lo posible. Y posteriormente, en el año 2007, se elaboró IUNE-CR 14380 IN: Aplicaciones de iluminación. Alumbrado de túneles.

Por todo ello, la Dirección General de Carreteras ha estimado que había llegado el momento oportuno para proceder a la actualización de las Recomendaciones citadas anteriormente, si bien en este caso se ha considerado conveniente llevarla a cabo en dos documentos diferentes, uno para carreteras a cielo abierto y otro para túneles, ya que de esta forma se facilita su aplicación y además se sigue la tendencia que existe mayoritariamente en los países de nuestro entorno.

## **1.2 Objeto**

El objeto de las “Recomendaciones para la iluminación de túneles” es ser el documento de referencia en las actuaciones de iluminación de los túneles de la Red de Carreteras del Estado. Los objetivos que se persiguen con las mismas son:

- Establecer los criterios (energéticos, técnicos, económicos, etc) a aplicar en la iluminación de túneles
- Describir los elementos que componen una instalación, sus posibles alternativas y servir de ayuda en la elección de la solución a emplear, con la finalidad de conseguir la optimización de la misma, tanto desde el punto de vista de la inversión como de su posterior explotación.
- Establecer con qué criterios deben redactarse los proyectos de las instalaciones de iluminación y su contenido.
- Fijar las buenas prácticas sobre cómo deben ejecutarse las obras
- Establecer el método y los procedimientos para llevar a cabo el mantenimiento y explotación de las instalaciones, de forma que su gestión se realice de forma eficiente.
- Fijar los criterios de evaluación sobre lo que se debe hacer con las instalaciones existentes.

## **1.3 Campo de aplicación**

El campo de aplicación de estas Recomendaciones son las instalaciones de iluminación de los túneles de la Red de Carreteras del Estado, tanto las de nueva ejecución como las existentes, si bien en este caso su utilización se llevará a cabo según se vayan adaptando las instalaciones y en lo que en cada caso corresponda, según lo expuesto en el presente documento. Deben tenerse en consideración en la redacción de proyectos, en la ejecución de obras y durante la fase de explotación.

## CAPÍTULO 2

### CRITERIOS PARA LA ILUMINACIÓN DE TÚNELES

#### 2.1 Generalidades

Antes de exponer los criterios que se recomiendan aplicar en la iluminación de túneles, se ha creído conveniente definir algunos conceptos básicos del alumbrado de túneles, para facilitar la comprensión de cómo aplicar aquellos.

##### 2.1.1 Distancia de parada

La distancia de parada ( $D_p$ ), según la Norma 3.1-IC "Trazado", se define como la distancia total recorrida por un vehículo obligado a detenerse tan rápidamente como le sea posible, medida desde su situación en el momento de aparecer el objeto que motiva la detención. Comprende la distancia recorrida durante los tiempos de percepción, reacción y frenado.

El cálculo de la distancia de parada debe realizarse según el método que se adjunta en el Anejo 1. En la tabla 2.1 se muestra la distancia de parada calculada por este método en los casos más habituales, en función de la inclinación de la rasante, la velocidad y el coeficiente de fricción neumático-pavimento según se encuentre la superficie de rodadura seca o húmeda.

DISTANCIA DE PARADA $D_p$ (m) con $t=2$ s						
Inclinación de la rasante (%)	Velocidad (Km/h)					
	80		90		100	
	f seco	f húmedo	f seco	f húmedo	f seco	f húmedo
	0,62	0,33	0,59	0,31	0,57	0,30
6	81	109	99	136	118	165
4	83	113	101	141	120	171
2	84	116	102	147	122	179
0	85	121	104	153	125	187
-2	86	126	106	160	127	196
-4	88	131	108	168	130	207
-6	89	138	110	178	133	220

**Tabla 2.1. Distancia de parada.**

En condiciones normales, en las zonas de umbral del túnel se aplicará la distancia de parada en pavimento húmedo, y en el resto de zonas la distancia de parada será considerada en pavimento seco, salvo en casos justificados en los que exista humedad.

En las zonas con menos de 120 días de lluvia al año se podrá calcular la distancia de parada para una velocidad inferior a la establecida, siempre y cuando se asegure que en caso de pavimento húmedo existirá una limitación de velocidad en los accesos al túnel mediante señalización de velocidad variable o fija. Así por ejemplo, un túnel con pendiente 0%, en condiciones de pavimento seco podrá tener la velocidad limitada a 100 km/h y con pavimento húmedo a 80 km/h.

Los parámetros que hay que tener en cuenta en el diseño de las instalaciones de iluminación de los túneles son la velocidad de proyecto y la intensidad del tráfico y su composición.

Hay una relación importante entre la intensidad de tráfico y el riesgo de accidente: a intensidades mayores existe un mayor riesgo de accidente (constituyendo las excepciones los volúmenes de tráfico muy bajos o muy altos). El riesgo adicional puede ser contrarrestado, al menos en parte, aumentando el nivel de iluminación. Esta relación se establece para muchos tipos de carreteras a cielo abierto, y se ha supuesto que también se conserva para los túneles.

Los factores más importantes a la hora de diseñar una instalación de alumbrado son la velocidad y la intensidad; es decir, cuanto mayor es la velocidad y/o la intensidad, más alto debe ser el nivel de luminancia.

### 2.1.2 Requisitos para el alumbrado de túneles

El alumbrado de la entrada de un túnel debe ser adecuado:

- Para evitar el "efecto de agujero negro" cuando un conductor es incapaz de ver en el túnel.
- Para reducir la probabilidad de una colisión con otro vehículo (o bicicleta o peatón).
- Para permitir a un conductor reaccionar y parar dentro de la distancia de parada  $D_p$  si aparece un peligro inesperado.

### 2.1.3 Composición del tráfico

La composición del tráfico es importante para el alumbrado de túneles en varios aspectos:

- El porcentaje de vehículos pesados.
- La presencia/ausencia de bicicletas y/o ciclomotores.
- La presencia/ausencia de peatones (en condiciones que no son de emergencia).
- La autorización/prohibición para permitir el tránsito de mercancías peligrosas.

El alumbrado ha de adaptarse a estas circunstancias. Son necesarios mayores niveles o un alumbrado de mayor calidad para llevar a cabo la tarea visual cuando las condiciones son más difíciles o más peligrosas.

### 2.1.4 Condiciones del túnel

La comodidad y seguridad en la conducción depende, en parte, de la calidad del alumbrado de los túneles de carretera. El diseño de la instalación de alumbrado debería ser de tal modo que el tráfico a la entrada y a través del túnel sea tan fluido como en una carretera a cielo abierto; como resultado de la sensación de ansiedad provocada por la incertidumbre, los conductores reducen su velocidad en las proximidades de la entrada del túnel, y descensos súbitos de la misma reducen la capacidad de tráfico pudiendo producir dificultades en la circulación e incluso accidentes. Así, una buena iluminación que ayude a superar cualquier sensación de ansiedad no solo es un aspecto de confort de la conducción, sino que también tiene influencia en la capacidad de la carretera y en la seguridad de la circulación.

No hay que olvidar que conducir un vehículo de modo seguro es una cuestión de atención, y en los túneles esta tiene que ser mayor para evitar los factores de riesgo adicionales que existen en los mismos, ya que su reducida altura y estrechez pueden causar incertidumbre o incluso miedo en los conductores, lo que puede producir un incremento de la excitación.

El segundo aspecto importante a tener en cuenta al instalar iluminación en un túnel de carretera es permitir que el tráfico circule a su través con el mismo grado de seguridad y confort que en la carretera a cielo abierto, y con una velocidad aceptable. La dificultad de la tarea de conducción al aproximarse y atravesar un túnel está influida fundamentalmente por la velocidad, el volumen (densidad) y la composición del tráfico y por el trazado del túnel y de la carretera en sus alrededores inmediatos. Para permitir al usuario de la carretera conducir de modo seguro cuando un túnel está en su ruta, es pertinente darle una información adecuada e importante para él, que permita al conductor situarse en el espacio y en el tiempo, para prever un "patrón" de su posición futura y para adaptar su comportamiento a este "patrón" anticipadamente.

Cuando se lleva a cabo el diseño de una iluminación de túnel, deberían tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

– Percepción alterada

La percepción espacial es limitada y carente de cualesquiera marcas de referencia familiares. Las paredes pueden generar un "efecto muro" que tiende a hacer que los conductores se alejen de ella. Las prestaciones visuales del conductor pueden ser considerablemente menores, especialmente en lo que se refiere a la agudeza visual, la percepción de contrastes y distancias, visión periférica y discriminación de colores. La percepción temporal puede cambiar: la duración de la permanencia percibida dentro de un túnel parece ser aproximadamente el doble de tiempo real transcurrido. A estas circunstancias se añade el hecho de que algunos conductores pueden verse afectados por efectos psicológicos tales como la claustrofobia.

– Percepción completa

- Antes de entrar a un túnel
  - El trazado debería mostrar claramente al conductor que se está aproximando a un túnel. Esto debería apoyarse en señales pertinentes.
  - Los portales de entrada deberían construirse con materiales oscuros a fin de reducir la luminancia de la zona de acceso.
  - La carretera debería presentar una superficie asfáltica muy oscura hasta la boca
- Al entrar al túnel
  - Las orientaciones este-oeste pueden causar más problemas que las orientaciones norte-sur.
  - Deben evitarse superficies de color claro en los alrededores inmediatos del portal como edificios, muros, etc.
  - Se deben adoptar árboles u otras pantallas para evitar el deslumbramiento directo producido por el sol.
- Dentro del túnel
  - Si existen discontinuidades, rampas e intersecciones en el diseño geométrico, es aconsejable tratarlos específicamente por un sistema de alumbrado adecuado.
  - Adoptar una superficie de calzada de color claro que debería ser casi difusa para el alumbrado simétrico y más especular para el alumbrado a contraflujo.
  - Adoptar y mantener un buen guiado (marcas en la carretera, delimitadores, balizamiento en hastial, etc.) a lo largo de la carretera.
  - Adoptar señalización luminosa cuando el túnel está iluminado por fuentes de luz monocromáticas.
- A la salida
  - Adoptar, cuando pueda esperarse una situación de deslumbramiento fuera de la salida, obras de ingeniería civil o plantaciones que apantallen la luz solar directa.



### 2.1.5 Distinción entre túneles largos y cortos

Los requisitos o exigencias de alumbrado para túneles largos y cortos difieren de acuerdo con el grado en el que el conductor de un vehículo que se aproxima puede ver a través de los mismos. Se aplica el criterio: como se ve desde un punto situado antes de entrar a la boca del túnel, a una distancia igual a la distancia de parada (calculada para pavimento húmedo, según el criterio expuesto en el apartado 2.1.1). La capacidad de ver a través del túnel depende fundamentalmente de la longitud del túnel, pero también de otros parámetros de diseño (anchura, altura, curvaturas horizontal y/o vertical, etc.).

Los túneles cortos normalmente existen cuando una carretera pasa por debajo de otra carretera o vía de ferrocarril o está cubierta en una corta distancia en situaciones urbanas. Los túneles menores de 25 m. no necesitan alumbrado durante el día (diurno). Los túneles mayores de 200 m. siempre necesitan algún tipo de alumbrado artificial diurno para evitar problemas de adaptación para los usuarios de la carretera. Para túneles de longitud comprendida entre 25 m. y 200 m. hay que estudiar su necesidad de iluminación.

La necesidad de alumbrado artificial durante el día se determina por el grado en que otros usuarios de la carretera u objetos son visibles para un conductor situado enfrente de la boca de entrada a la distancia de parada (calculada para pavimento húmedo, según apartado 2.1.1) contra la escena situada detrás de la boca de salida que es iluminada por la luz natural.

No se necesita iluminación artificial cuando la boca de salida es una gran parte de la escena visible a través de la entrada, y por tanto otros usuarios de la carretera y objetos se pueden ver fácilmente como oscuros contra la escena más clara situada detrás de la boca de salida. Por el contrario, se necesita alumbrado artificial cuando la salida está en un marco oscuro relativamente grande, en el cual no pueden diferenciarse los objetos; esto puede suceder cuando el túnel corto se comporta como un túnel "largo", en cuanto a la falta de visibilidad a su través, cuando el túnel corto está en curva de forma que solo se puede ver una parte de la salida, o cuando no se puede ver nada a la salida.

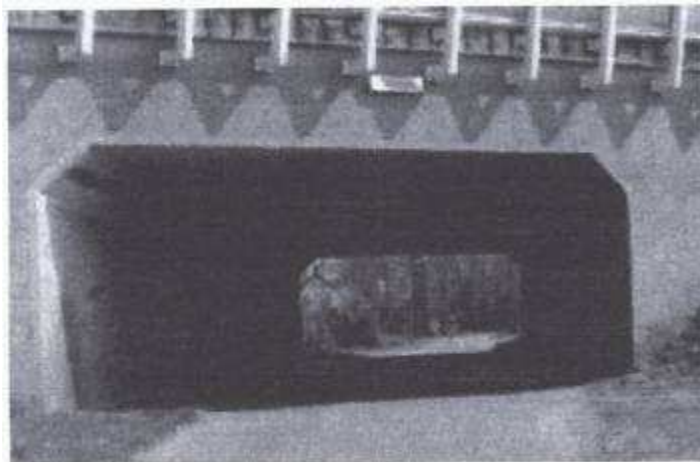


Figura 2.1. Vista de un túnel corto

Por tanto, el factor crítico para iluminar un túnel corto es que cuando un conductor se encuentra a una distancia de la boca de entrada igual a la distancia de parada (calculada para pavimento húmedo, según apartado 2.1.1), pueda ver otros vehículos, usuarios de la carretera y obstáculos que se encuentren en el interior del túnel o en la boca de salida.

Para determinar la necesidad de alumbrado artificial diurno se puede emplear el concepto de "Visión a Través" (descrito en el informe UNE-CR 14380: 2007), que se define como la relación entre la salida visible y la entrada visible, expresada como un porcentaje. Esto conduce al "porcentaje de visión a través" (LTP).

La relación depende de:

- Medidas geométricas del túnel, tales como anchura, altura y longitud (la longitud tiene mucha más influencia que la anchura y la altura).
- Curvaturas horizontal y vertical del túnel.
- La distancia de parada (calculada para pavimento húmedo, según apartado 2.1.1).
- La influencia de luz natural tanto en el portal de entrada como en el de salida.

#### 2.1.6 Sistemas de alumbrado y métodos de rendimiento de contrastes

- Sistemas de alumbrado artificial

Los contrastes de objetos pueden ser negativos o positivos, dependiendo de las características de reflexión de la superficie del objeto, del fondo contra el que se percibe dicho objeto y del sistema de alumbrado utilizado.

Existen dos sistemas de alumbrado artificial de uso común: el sistema de alumbrado simétrico y el sistema de alumbrado a contraflujo o de flujo contrario al sentido de circulación. El alumbrado a favor de flujo es raramente utilizado y no se contempla en estas Recomendaciones.

Los sistemas simétrico y a contraflujo se refieren a la distribución de la intensidad luminosa de las luminarias que son utilizadas para los dos sistemas. El sistema simétrico es un sistema en el que las luminarias poseen una distribución de intensidad luminosa que es simétrica en relación al plano de  $90^{\circ}/270^{\circ}$  (el plano usualmente normal a la dirección del tráfico). En un sistema de alumbrado a contraflujo se aplican luminarias cuya la intensidad luminosa máxima está dirigida contra el sentido del tráfico y poseen una baja intensidad luminosa en el mismo sentido que el tráfico de modo que la distribución de intensidad luminosa es fuertemente asimétrica. Los sistemas se refieren solamente al sentido del tráfico normal.

La distribución de la intensidad luminosa no es suficiente para cuantificar el efecto de la instalación, debido a que el efecto de la iluminación es determinado por los contrastes de luminancias. La calidad del sistema de iluminación está caracterizada por el valor del coeficiente de revelado de contrastes  $q_c$ . Los sistemas de contraflujo deben tener un valor del coeficiente de revelado de contrastes superior a 0,6.

El sistema de alumbrado a contraflujo comprende luminarias con una distribución de intensidad luminosa dirigida principalmente contra el sentido de circulación del tráfico. Normalmente produce un contraste negativo más elevado para objetos sobre la carretera, debido a que la iluminancia en los planos que están enfrente de los conductores que se aproximan es baja. Cuando se utilizan superficies especulares de calzada, R3, R4 ó C2 (véase la publicación nº 66 de la CIE), usualmente el rendimiento de luminancia es significativamente mayor que con el alumbrado simétrico. El sistema de contraflujo normalmente creará un mayor contraste entre los objetos y el fondo (por ejemplo superficies de carreteras y paredes).

Sin embargo el sistema a contraflujo:

- Puede producir un cierto incremento en el efecto de "agujero negro", debido a que en algunos métodos de diseño la luminancia de umbral puede ser reducida, de manera que puede reducirse el guiado de los conductores.
- Puede no ser apropiado para una entrada de túnel con penetración de luz natural elevada.
- Puede ser menos efectivo para túneles con densidades de tráfico muy elevadas o para túneles con un elevado porcentaje de vehículos pesados.

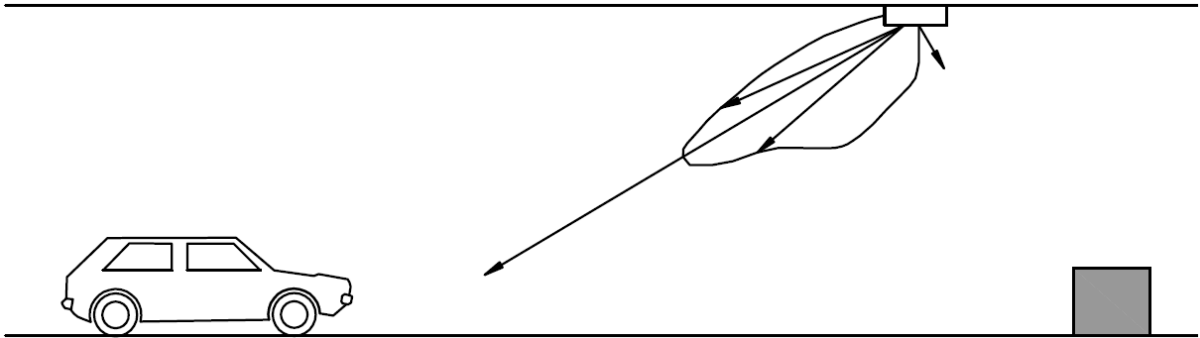


Figura 2.2. Sistema de alumbrado a contraflujo

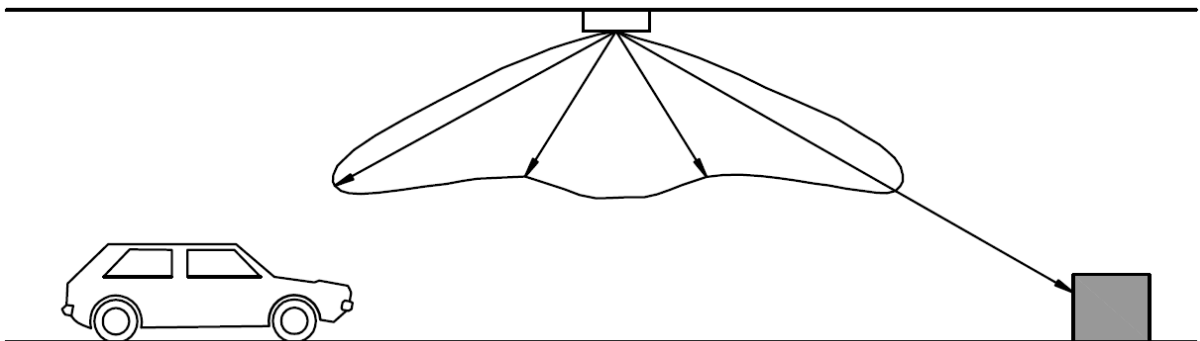


Figura 2.3. Sistema de alumbrado simétrico

– Sistemas de apantallamiento de luz natural

La luz natural controlada por pantallas puede ser usada como una fuente de luz alternativa para entradas de túneles. En lo que se refiere a los niveles de luminancia e iluminancia, la luz natural tiene que cumplir con los mismos requisitos mínimos que la luz artificial. Sin embargo, se aconseja que la luminancia de la superficie de la carretera o calzada bajo las pantallas sea mayor de la que correspondería a dichos requisitos mínimos en todos los métodos de diseño de alumbrado de túneles descritos en estas Recomendaciones. El coeficiente de revelado de contrastes  $q_c$  debe ser determinado del mismo modo que para el alumbrado artificial. Las pantallas de luz natural pueden ser opacas al sol o no. Las pantallas opacas al sol sobre la calzada sirven para conseguir la luminancia de la zona de umbral y como mucho parte de la luminancia de la zona de transición en algunas ocasiones, del mismo modo que el alumbrado artificial. Las pantallas que no son opacas al sol sobre la calzada sirven fundamentalmente para apantallar el cielo brillante de la visión directa directamente sobre la entrada del túnel. Las pantallas no opacas al sol pueden

causar efectos de flicker o parpadeo indeseados. Cuando las pantallas abiertas de luz natural son usadas en zonas en las que es corriente que haya nevadas copiosas, debe preverse una solución para evitar que grandes bloques de nieve caigan sobre la carretera por debajo de la pantalla.

#### 2.1.7 Problemática de visión en los túneles durante el día

Como se ha explicado anteriormente, la problemática de la visión de un túnel durante el día puede analizarse en base a los fenómenos propios del funcionamiento del ojo humano siguientes:

- Adaptación temporal.
- Inducción.
- Visión perturbada por la luminancia de velo.

El primero de ellos se corresponde con el ajuste de la sensibilidad de una parte de la retina ante un cambio de nivel de iluminación a otro diferente, ya sea menor o mayor; el tiempo que tarda el ojo en acostumbrarse de un nivel a otro es el denominado tiempo de adaptación. Al no ser instantáneo puede producir serios problemas en algunos casos, pues los ojos del conductor del vehículo no llegan a distinguir los eventuales obstáculos situados en el interior del túnel, debido principalmente a que los niveles de iluminación dentro del túnel son muy bajos (no penetra suficiente luz natural), en comparación con la luz natural.



Figura 2.4. Efecto agujero negro.

El fenómeno de inducción es el efecto de la influencia de las partes contiguas a aquella de la retina en la que se forma la imagen de un objeto en cuestión. Como consecuencia de la adaptación del ojo del conductor a las altas iluminancias exteriores, al mirar la entrada del túnel la parte de la retina que recibe la imagen del exterior ejerce sobre la otra parte que recibe la imagen de la boca de entrada un efecto de inducción, por lo que la entrada parece un agujero negro sin detalles.



Figura 2.5. Efecto de inducción.

El tercer fenómeno se corresponde con la perturbación debida a las luminancias de velo, que contribuyen a dificultar la visión del conductor de un vehículo y que son principalmente de tres tipos:

- La luminancia de velo debida a la luz dispersada en la atmósfera en la línea de visión.
- La luminancia de velo debida a la dispersión de la luz en el parabrisas de los vehículos (incluida la luz procedente del salpicadero del propio vehículo).
- La luminancia de velo debida a la dispersión de la luz en el ojo (procedente de fuentes de luz situadas fuera de la línea de visión y que se dispersa en la fovea), también llamada foveal o de Fry.

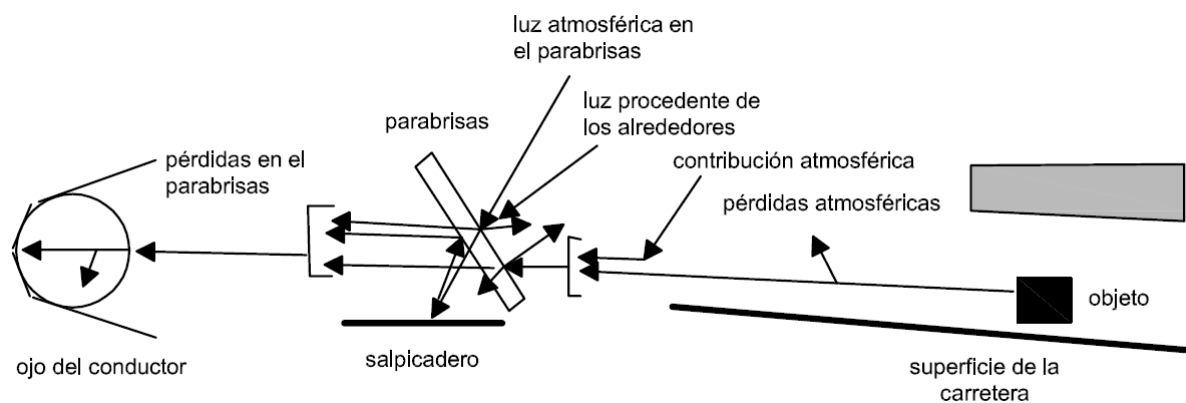


Figura 2.6. Perturbación de la visión debida a las luminancias de velo.

Como ha quedado establecido, el nivel de iluminación necesario en la zona de umbral viene determinado por el criterio de visibilidad  $\sigma$ , en otras palabras, por un contraste suficiente. Un conductor puede identificar a otros usuarios de la carretera u objetos en la zona de umbral desde la distancia de parada si el contraste percibido es igual o mayor que el contraste mínimo requerido.

Pero el contraste mínimo requerido percibido a la distancia de parada no es solamente el contraste mínimo requerido en condiciones de laboratorio, sino que depende sobre todo del nivel de atención del conductor. Aproximarse a un túnel requiere que el conductor preste no solo atención a la entrada, sino también a la conducción del vehículo, a la propia carretera, a otros usuarios situados a corta distancia, al cambio de carril, etc.



Figura 2.7. Imagen luminancias de velo.

Estas luminancias de velo citadas lo que producen es una dificultad añadida a la propia tarea visual del conductor al entrar en un túnel, con el riesgo que ello conlleva y que generalmente consiste en una alteración del contraste percibido, entre cualquier obstáculo que se encuentre en el trazado de la carretera y el fondo contra el que se percibe, que como se ha dicho puede a veces resultar menor que el mínimo requerido.

Para una mayor ampliación sobre la forma de evaluar estas luminancias de velo, puede recurrirse en el informe UNE CR 14380:2007 o a la publicación CIE-88:2004.

### 2.1.8 Guiado visual

Otro sistema que facilita la conducción en los túneles es el guiado visual, ya que el mismo permite incrementar la visibilidad de la calzada y de la señalización vertical y sobre todo horizontal.

Se entiende como sistema de guiado visual al conjunto de referencias que le permiten al conductor determinar en qué posición se encuentra y cuál es la trayectoria que debe seguir.

El guiado visual es importante cuando el usuario se aproxima al túnel y cuando la altura de la entrada al túnel es baja o el nivel luminoso de la misma es reducido.

Un buen guiado visual puede conseguirse:

- Dividiendo la superficie longitudinal del túnel en varias superficies de contraste, como por ejemplo dejando las paredes del túnel claras y el techo oscuro.
- Instalando otros dispositivos, como marcas reflectantes en la calzada, sistemas de balizamiento retrorreflectante en la calzada (captafaros, hitos, etc.), marcas y balizamiento retrorreflectante en las losastias o diodos emisores de luz (LED).

En pasos inferiores bajo carreteras o ferrocarriles de longitud menor de 25 m se puede conseguir un buen guiado visual durante el facilitando la entrada de luz solar mediante:

- Instalación de claraboyas en el techo del túnel.
- Revestimiento de color blanco de las paredes del túnel (revestimiento especular).
- Construcción de la boca del túnel más alta.
- Implantación de la iluminación exterior de la carretera (si estuviera previsto), de forma que se asegure una entrada en el túnel adecuada.

## 2.2 Situaciones de proyecto

El Real Decreto 635/2006, de 26 de Mayo, “**Sobre Requisitos mínimos de Seguridad en los túneles de Carreteras del Estado**”, actualmente en revisión, establece que los túneles de longitud mayor de 200 metros deben disponer de iluminación, dejando la conveniencia o no de iluminar los túneles cortos al análisis de cada caso en particular.

En consecuencia, el estudio del alumbrado de túneles que se expone a continuación se ha dividido también en túneles de más de 200 m y túneles de menos de 200 m.

### 2.2.1 Túneles de más de 200 metros

Los túneles de longitud mayor de 200 m deben tener siempre alumbrado artificial durante el día, a fin de facilitar los problemas de adaptación.

### 2.2.1.1 Clasificación de túneles

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 tabla 2.2. 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 2.2. Intensidad de tráfico de la 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 tabla 2.3.

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 2.3. Clases de alumbrado de túneles.**

### 2.2.1.2 Iluminación de la zona umbral

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  $L_{20}$ .

De manera general, la luminancia de la zona de umbral, denominada  $L_{th}$ , será directamente proporcional a la luminancia de acceso  $L_{20}$ , 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.

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  $0,5 \cdot D_p$  (distancia de parada calculada para pavimento húmedo, según apartado 2.1.1). 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.

#### 2.2.1.2.1 Determinación de la luminancia de umbral $L_{TH}$

En la tabla 2.4 figuran los distintos valores asignados a la relación entre  $L_{th}$  y  $L_{20}$  ( $k = L_{th}/L_{20}$ ). Dicho coeficiente  $k$  recibe el nombre de coeficiente de poder revelador y depende de la distancia de parada ( $D_p$ ) y de la clase de túnel.

Clase de túnel	Distancia de parada $D_p^*$ (m)		
	$\leq 60$	100	$\geq 160$
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)		

\* Calculada para pavimento húmedo (según apartado 2.1.1)

Nota: Para valores intermedios se interpolará.

**Tabla 2.4. Valores recomendados de  $k = L_{th}/L_{20}$  para diferentes valores de  $D_p$  y clases de túnel**

#### 2.2.1.2.2 Definición de la luminancia de acceso $L_{20}$

La determinación de  $L_{20}$  se realiza de acuerdo con el método descrito en la publicación n°88 de la CIE (2004).

La luminancia  $L_{20}$  en la zona de acceso es definida como la media de los valores de luminancia medidos en un campo de visión cónico, que subtiende un ángulo de  $20^\circ$  ( $2 \times 10^\circ$ ) 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 base para calcular la luminancia en la zona de entrada. Preferiblemente, puede calcularse o puede medirse mediante un luminancímetro con un ángulo de abertura de  $20^\circ$ .

A fin de estimar los porcentajes de los componentes de  $L_{20}$ , es apropiado hacer una fotografía de la entrada del túnel desde el punto de referencia, con el eje de la línea de visión orientado hacia un punto situado en el centro de la entrada a una altura igual a una cuarta parte de la altura de la boca del túnel.



El círculo de intersección del cono de observación con el plano vertical del portal es marcado posteriormente en la fotografía y las zonas de los componentes son delineadas, calculándose su luminancia como un porcentaje del área del círculo. El radio del círculo puede ser calculado, a la escala de la fotografía, a partir de una dimensión conocida de la imagen, por ejemplo la altura de la boca del túnel.

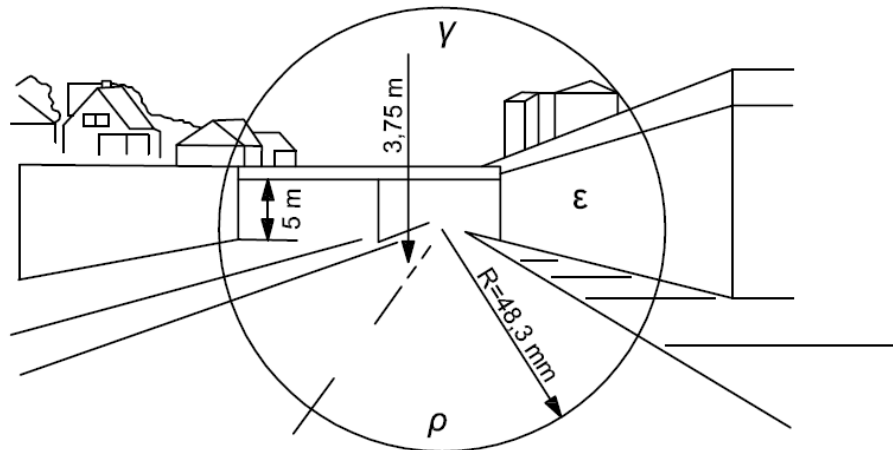


Figura 2.8. Vista en perspectiva de la entrada de un túnel con el círculo correspondiente al ángulo de visión de 20°.

Las prestaciones visuales dependen del estado de adaptación. Las investigaciones realizadas han indicado que puede usarse  $L_{20}$  para la mayor parte de las situaciones prácticas como una buena aproximación del estado de adaptación del sistema visual de los conductores que se aproximan al túnel.

El valor de la luminancia de la zona de acceso que se utiliza para el diseño de alumbrado y/o el control del alumbrado debería representar la situación más desfavorable que puede encontrarse en la práctica.

#### MÉTODOS PARA DETERMINAR LA LUMINANCIA EN LA ZONA DE ACCESO $L_{20}$

Existen dos métodos para determinar la luminancia  $L_{20}$  en la fase proyecto:

- Método Aproximado

Este método da valores aproximados de la  $L_{20}$  (en  $\text{cd}/\text{m}^2$ ), de acuerdo con lo expuesto en la tabla 2.5. Debe usarse solo si no existe suficiente información detallada de los alrededores inmediatos de la boca del túnel. Los valores están basados en estudios empíricos y representan con una frecuencia suficiente el tiempo para la mayor parte de las condiciones de los túneles comunes, según la publicación nº 88 de la CIE.

- Método Exacto

Debe usarse siempre que exista una vista tridimensional de la boca. En este método, la evaluación de  $L_{20}$  se obtiene a partir de un croquis de los alrededores de la entrada del túnel y se calcula mediante la fórmula:

$$L_{20} = \gamma \cdot L_C + \rho \cdot L_R + \epsilon \cdot L_E + \tau \cdot L_{th}$$

Donde

- $L_C$  es la luminancia de cielo;  $\gamma$  = % de cielo.
- $L_R$  es la luminancia de calzada;  $\rho$  = % de calzada.
- $L_E$  es la luminancia del entorno;  $\varepsilon$  = % de entorno.
- $L_{th}$  es la luminancia de zona de umbral;  $\tau$  = % de portal.

Cumpléndose:

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

En esta fórmula, el valor de  $L_{th}$  es la incógnita a determinar. Para distancias de parada superiores a 100 m, el valor de  $\tau$  es bajo (menor del 10%) y como  $L_{th}$  es ya bajo con respecto a los otros valores de luminancia, puede despreciarse la contribución de  $L_{th}$ .

Para una distancia de parada de 60 m (calculada para pavimento húmedo, según apartado 2.1.1), sería:

$$L_{20} = \frac{\gamma \cdot L_C + \rho \cdot L_R + \varepsilon \cdot L_E}{1 - \tau \cdot k}$$

Como  $k$  nunca excede de 0,1, se obtiene:

$$L_{20} = \gamma \cdot L_C + \rho \cdot L_R + \varepsilon \cdot L_E$$

Con:

$$\gamma + \rho + \varepsilon < 1$$

Cuando la determinación exacta de  $\gamma$ ,  $\rho$ ,  $\varepsilon$ , y  $\tau$ , no es posible, sus valores pueden también evaluarse por medio de fotografías o dibujos a escala.

Para estimar los valores de porcentaje de las áreas que contribuyen al valor de  $L_{20}$  en cualquier entrada de túnel, debería hacerse una fotografía desde la distancia de parada  $y$ , a partir de una dimensión conocida en la imagen, como por ejemplo la altura del túnel, puede determinarse el diámetro del cono  $L_{20}$  en la imagen.

Si el túnel no está aún construido entonces puede usarse una fotografía, siempre y cuando la línea del cielo no resulte alterada durante la construcción; en caso contrario debería usarse un dibujo a escala. La fotografía o el dibujo pueden ser escalados a continuación para las áreas relativas (rocas, cielo, edificios, etc.) como un porcentaje del área de  $L_{20}$  total.

Si los datos para el cálculo anterior no están disponibles, entonces puede tomarse una aproximación de  $L_{20}$  a partir de los croquis dados en la figura 2.9, comparando la fotografía o dibujo con el croquis que más se le parezca.

Si los valores de luminancia de los alrededores locales no están disponibles, los datos para  $L_C$ ,  $L_R$ ,  $L_E$  (expresados en  $\text{kcd/m}^2$ ) pueden tomarse de la tabla 2.6.

El valor  $L_{20}$  obtenido por este método es un valor máximo y puede estar sobreestimado debido a que en las bocas de los túneles los valores máximos para los tres componentes de calzada, cielo y alrededores no suelen ocurrir simultáneamente en el mismo momento del día. Además no hay disponible ninguna

información sobre la frecuencia de estos valores durante el año y la seguridad correspondiente de la instalación a partir de este único valor de  $L_{20}$ .

Para superar esta falta de información, los valores de  $L_{20}$  pueden calcularse de acuerdo con la ecuación anterior a lo largo de todo el año, utilizando las luminancias e iluminancias producidas por la luz natural y el sol según las fórmulas dadas en la CIE 016-1970 (apartado 2.22) e ISO 15469:2004(E)/CIE S 011/E:2003. Usando tablas de duración de la luz solar relativa para ponderar, puede calcularse la distribución de frecuencias de  $L_{20}$ . Con la distribución de suma de frecuencias, puede evaluarse un valor máximo de seguridad de  $L_{20}$  con un grado definido de seguridad como un valor de referencia para el diseño del alumbrado.

#### 2.2.1.2.3 Longitud de la zona de umbral

La longitud total de la zona de umbral debe ser al menos igual a la distancia de parada (calculada para pavimento húmedo, según apartado 2.1.1). 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 (calculada para pavimento húmedo, según apartado 2.1.1) 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.

#### 2.2.1.3 Iluminación de la zona de transición

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 del mismo.

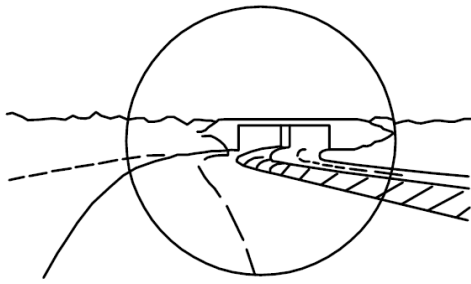
**Tabla 2.5. Valores habituales de luminancia media  $L_{20}$  en la zona de acceso.**

Luminancia media $L_{20}$ en el campo de visión cónico de 20°, en $cd/m^2$ .																
	Porcentaje de cielo en el campo de visión cónico de 20°															
	35%				25%				10%				0%			
	Normal		Nieve		Normal		Nieve		Normal		Nieve		Normal		Nieve	
	Bajo	Alto	Bajo	Alto	Bajo	Alto	Bajo	Alto	Bajo	Alto	Bajo	Alto	Bajo	Alto	Bajo	Alto
Situación de claridad en campo de visión	1)		1)		1)		1)		2)		3)		2)		3)	
Distancia de parada*60 m	4)		4)		4.000	5.000	4.000	5.000	2.500	3.500	3.000	3.500	1.500	3.000	1.500	4.000
Distancia de parada* 100-160 m	4.000	6.000	4.000	6.000	4.000	6.000	4.000	6.000	3.000	5.000	3.000	5.000	2.500	4.500	2.500	5.000

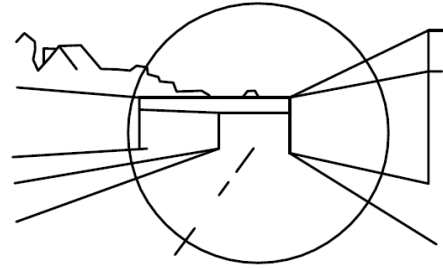
**NOTAS**

- 1) Efecto fundamentalmente dependiente de la orientación del túnel.
  - Bajo: En el hemisferio norte-entrada sur.
  - Alto: En el hemisferio norte-entrada norte.
  - Para entradas por el este y el oeste, debería elegirse un valor medio entre "bajo" y "alto".
- 2) Efecto fundamentalmente dependiente de la claridad de los alrededores:
  - Bajo: Reflectancias de alrededores bajas.
  - Alto: Reflectancias de alrededores altas.
- 3) Efecto fundamentalmente dependiente de la orientación del túnel.
  - Bajo: Entrada norte.
  - Alto: Entrada sur.
  - Deberían interpolarse valores medios entre valores altos y bajos.
- 4) Para una distancia de parada de 60 m., no se han encontrado en la práctica porcentajes de cielo del 35%.
- 5) "Boca norte" significa desplazándose hacia el sur (en el hemisferio norte).

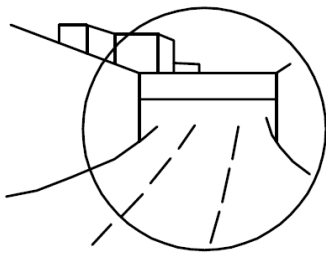
\*Calculada para pavimento húmedo (según apartado 2.1.1)



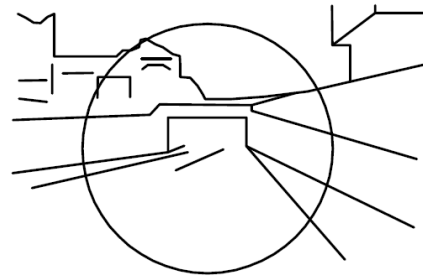
Distancia de parada 160 m. - Cielo 35%



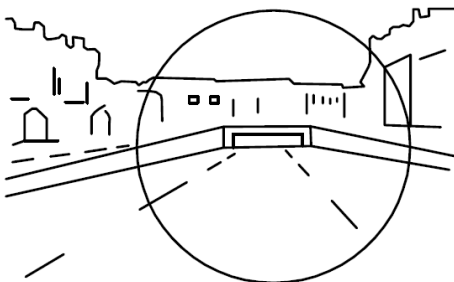
Distancia de parada 100 m. - Cielo 27%



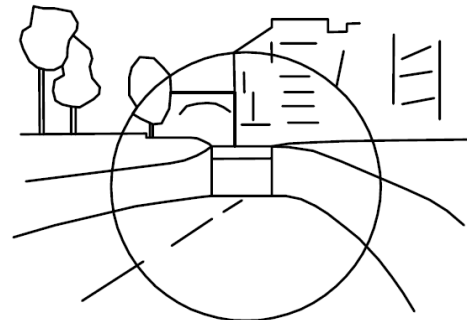
Distancia de parada 60 m. - Cielo 14%



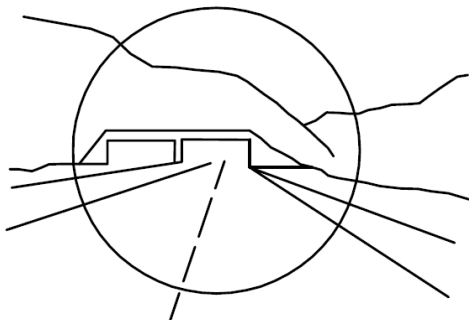
Distancia de parada 100 m. - Cielo 18%



Distancia de parada 160 m. - Cielo 14%



Distancia de parada 100 m. - Cielo 3%



Distancia de parada 100 m. - Cielo 18%



Distancia de parada 100 m. - Cielo 4%

Figura 2.9. Luminancia de la zona de acceso ( $L_{20}$ ) para situaciones típicas de túneles.

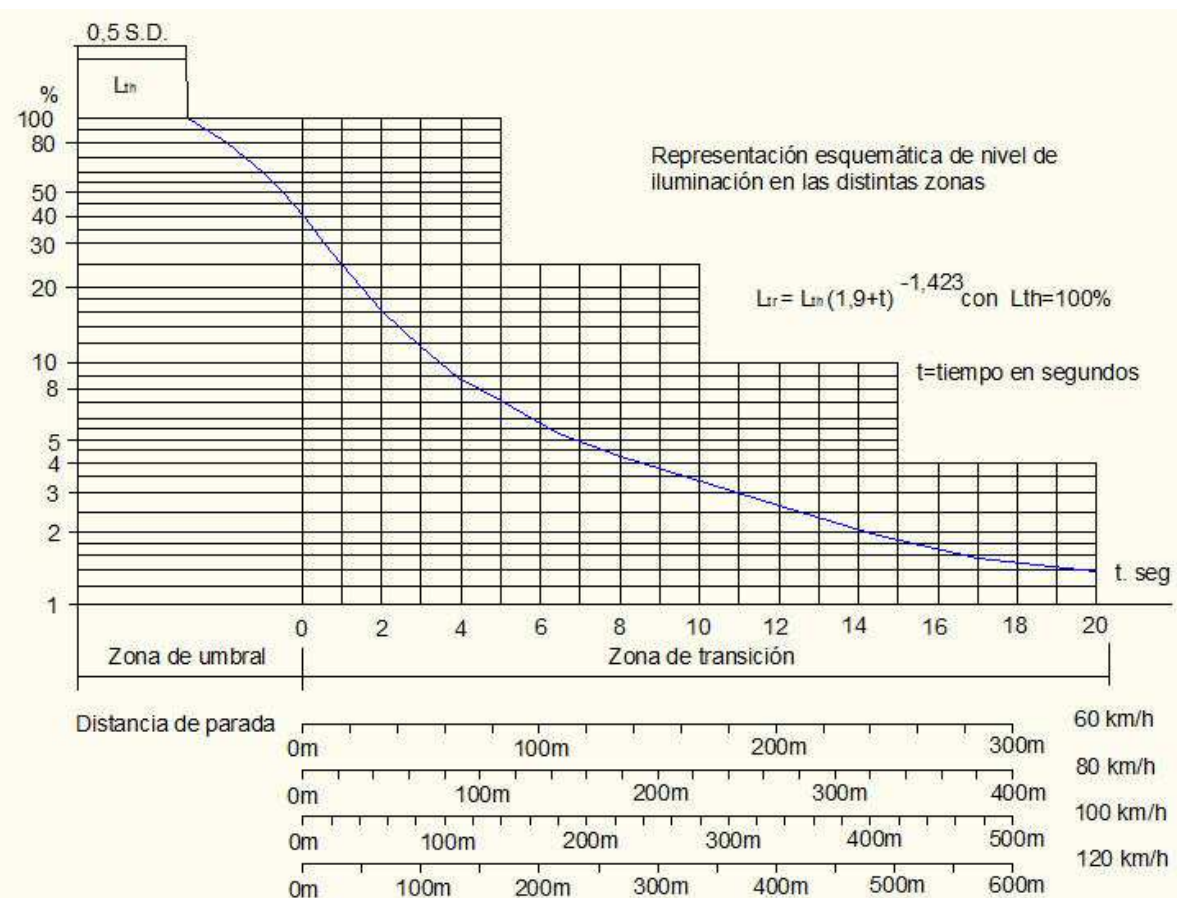
Situación de la boca	L <sub>C</sub> (cielo) kcd/m <sup>2</sup>	L <sub>R</sub> (calzada) kcd/m <sup>2</sup>	L <sub>E</sub> (cielo) kcd/m <sup>2</sup>			
			Rocas	Edificios	Nieve	Vegetación
S	8	3	3	8	15 (V,H)	2
E-O	12	4	2	6	10 (V)	2
					15 (H)	
N	16	5	1	4	5 (V)	2
					15 (H)	

Nota: V se refiere a superficie vertical y H a superficie horizontal.  
 "Boca norte" significa desplazándose hacia el sur (en el hemisferio norte).

**Tabla 2.6. Valores de luminancia para distintas superficies.**

2.2.1.3.1 Determinación de la luminancia de la zona de transición

En principio, la reducción de la luminancia de la calzada en la zona de transición debe seguir la curva mostrada en la figura 2.10. La zona de transición comienza al final de la zona de umbral (t=0); dentro de la zona de transición, la relación máxima permitida para pasar de un nivel a otro es de 3:1. La relación máxima permitida al pasar de la zona de transición a la zona interior es de 1,5:1.



\*SD calculada para pavimento húmedo, salvo lo especificado en el apartado 2.1.1.

**Figura 2.10. Zona de transición decreciente.**

### 2.2.1.3.2 Longitud de la zona de transición

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 en la figura 2.10 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.

### 2.2.1.4 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 2.7 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

\*Calculada para pavimento seco

\*\*No hay requisitos

Nota: Para valores intermedios se interpolará linealmente

**Tabla 2.7. Luminancia media de la superficie de la calzada de la zona interior en  $cd/m^2$**

4.1

En algunos casos la luminancia media de la superficie de la calzada en los carriles de emergencia puede ser menor que la del carril o carriles de circulación. Cuando el túnel tiene carriles de emergencia, en los de clase 4 la luminancia media de la superficie de la calzada en los carriles de emergencia debe ser igual a la del carril o carriles de circulación; en los de clases 1 y 2, la luminancia media de la superficie de la calzada en los carriles de emergencia tiene que ser al menos igual al 50% de la luminancia media de la superficie de la calzada del carril o carriles de circulación.

### 2.2.1.5 Alumbrado nocturno

Durante la noche la longitud total del túnel es tratada de manera uniforme:

- Si el túnel se encuentra en un tramo de carretera iluminado, la calidad del alumbrado dentro del túnel debería ser al menos igual al nivel (uniformidades y deslumbramiento) de la carretera de acceso; la luminancia durante la noche no debería ser mayor que la luminancia de la zona interior durante el día; la uniformidad

por la noche en los túneles debe satisfacer los mismos requisitos que el alumbrado durante el día. Por lo tanto, la luminancia durante la noche debería encontrarse entre 1 y 2  $\text{cd/m}^2$ , de acuerdo con el nivel exterior.

- Si el túnel es parte de una carretera que no está iluminada, la luminancia media de la superficie de la calzada debe ser del orden de 1  $\text{cd/m}^2$ , la uniformidad global al menos del 40% y la uniformidad longitudinal al menos del 60%.

Otras consideraciones a tener en cuenta independientemente de la existencia de alumbrado exterior:

- El alumbrado en la zona interior en túneles de clase 1 se podrá asimilar al alumbrado nocturno.
- El alumbrado nocturno en túneles clase 1 podrá estar constituido por balizamiento en hastiales exclusivamente.
- En el resto de túneles, en régimen nocturno reducido en horas de baja intensidad de tráfico, se puede rebajar la luminancia media de la superficie de la calzada hasta 0,5  $\text{cd/m}^2$ . En estos casos se instalará un balizamiento luminoso en hastiales.

#### 2.2.1.6 Iluminación de la zona de salida

Con el fin de asegurar una iluminación directa adecuada para los vehículos pequeños precedidos por vehículos grandes y una visión suficiente por el retrovisor, la zona de salida tiene que ser iluminada del mismo modo que la zona interior del túnel. En situaciones en las que puedan existir peligros adicionales cerca de la salida del túnel, se aconseja que para túneles de clase de alumbrado 4 la luminancia durante el día en la zona de salida aumente linealmente a lo largo de una longitud igual a la distancia de parada  $D_p$  (calculada para pavimento seco), a partir del nivel de la zona interior, a un nivel cinco veces el de la zona interior a una distancia de 20 m desde la boca de salida.

#### 2.2.1.7 Control del nivel de luminancia en túneles

La luminancia en la zona de acceso varía en función de las condiciones climatológicas diurnas. Durante el día, los niveles de luminancia que deben ser proporcionados por la instalación de alumbrado en las zonas de umbral y transición deben ser porcentajes constantes de la luminancia en la zona de acceso, por lo que es necesario prever un control automático del alumbrado artificial en estas zonas.

En la práctica, para el control del nivel de luminancia requerido en la zona de umbral, que debe ser realizado de forma continua, la solución preferida es la de utilizar: o bien un luminancímetro con un campo de medición de 20 grados en la boca de entrada si el túnel es unidireccional, o bien dos luminancímetros, uno en cada boca (si el túnel es bidireccional), orientados en dirección a ellas y posicionados a una distancia de la boca del túnel igual a la distancia de parada (calculada para pavimento húmedo, según apartado 2.1.1).

El sistema establecido para conseguir la adaptación de la luminancia de umbral ( $L_{th}$ ) a la luminancia de acceso ( $L_{20}$ ) variable se denomina en términos generales “sistema de control de los regímenes de alumbrado”.

Los distintos regímenes de alumbrado consisten en diferentes niveles de iluminación aplicados a los distintos tramos del túnel, diseñados para adaptarse a las variaciones de la luminancia exterior al túnel como consecuencia de las variaciones de la luz natural. Se puede conseguir mediante uno de los dos procedimientos siguientes, aunque hasta ahora se ha empleado mayoritariamente el primero:



- Mediante el empleo de escalones de adaptación de luminancias, conseguidos por conmutación de diferentes circuitos de alimentación a distintos grupos de luminarias que proporcionan en cada tramo el nivel diseñado para el régimen concreto.
- Mediante la regulación progresiva del flujo luminoso de cada luminaria, de forma individual o en grupos de las diferentes luminarias instaladas en cada tramo del túnel.

#### 2.2.1.8 Uniformidad de la luminancia

Durante el día, la uniformidad de la luminancia de la calzada tiene que cumplir con los valores dados en la tabla 2.8 para diferentes clases de alumbrado de túneles y para toda la anchura de calzada completa, es decir, para el carril o carriles de circulación y para los carriles de emergencia, si están previstos en el túnel. Los valores son válidos para la zona de umbral, transición y para las zonas de interior y de salida. Debido a que las definiciones de  $U_0$  y  $U_1$  no tienen significado en un campo de luminancia que no es homogéneo longitudinalmente y debido a que la CIE no ha definido ninguna otra medida de falta de uniformidad aplicable, no es posible dar requisitos para la zona de transición en su conjunto.

Clase de túnel	$U_0$	$U_1$
4	0,4	0,7
3	0,4	0,6
2	0,3	0,5
1	-	-

**Tabla 2.8. Valores mínimos de la uniformidad de la superficie de calzada en la zona de umbral, la zona interior y la zona de salida.**

#### 2.2.1.9 Limitación del deslumbramiento

Para túneles de las clases 4, 3 y 2, el incremento de umbral, TI (que es el porcentaje de aumento necesario en el contraste entre un objeto y su fondo para que el objeto pueda ser visto cuando hay una fuente de deslumbramiento presente), debe ser menor del 15%, para la zona de umbral y la zona interior del túnel durante el día y para todas las zonas del túnel durante la noche. Para túneles de clase 1 no se establecen requisitos. Para la zona de salida durante el día no hay limitación.

$$TI = \frac{65}{L_{med}} \cdot L_v \quad (\text{en } \%)$$

$$L_v = 10 \cdot \sum_{k=1}^n \frac{E_k}{\phi_k^2} = \frac{E_1}{\phi_1^2} + \frac{E_2}{\phi_2^2} + \dots + \frac{E_k}{\phi_k^2} + \dots + \frac{E_n}{\phi_n^2}$$

Donde:

- $L_{med}$  = Luminancia media de calzada calculada para las luminarias en estado nuevo y para lámparas que emiten el flujo luminoso inicial, en lúmenes ( $cd/m^2$ ).
- $L_v$  = Luminancia de velo equivalente, en  $cd/m^2$ .
- $E_k$  = Iluminancia producida por la k-ésima luminaria en estado nuevo en un plano normal a la línea de visión y a la altura del ojo del observador, en lux (basada en el flujo inicial de la lámpara, en lúmenes).

- $\phi_k$  = Ángulo de arco entre la línea de visión y la línea desde el observador y al centro de la k-ésima luminaria, en grados.

#### 2.2.1.10 Limitación del efecto flicker

Al circular por un túnel se experimentan sensaciones de parpadeo o “flicker” cuando se conduce a través de cambios periódicos espaciales en luminancia, tales como los producidos por las pantallas o paralúmenes en las paredes o techo de los túneles, o por el espaciamiento inadecuado de las luminarias (con una elevada velocidad de cambio en su distribución de intensidad luminosa). La incomodidad visual experimentada debido al efecto flicker depende de:

- El número de cambios de luminancia por segundo (frecuencia de flicker).
- La duración total de la experiencia del flicker.
- La velocidad de cambio de claro a oscuro, en un solo ciclo.
- La relación de luminancia de pico (luz) a valle (oscuridad) dentro de cada período (profundidad de modulación de luminancia).

Las influencias de los tres primeros puntos dependen de la velocidad del vehículo y del espaciamiento entre luminarias; los puntos tres y cuatro dependen también de las características ópticas y del espaciamiento entre luminarias.

Cuando la distancia entre los extremos de las luminarias adyacentes es menor que la longitud de una sola luminaria, el cuarto punto es típicamente minimizado y el flicker percibido resulta despreciable, al menos con respecto al alumbrado artificial. Tampoco existe efecto flicker cuando la iluminación se realiza de forma continua.

#### 2.2.1.11 Alumbrado de seguridad en túneles

En un túnel se deben resolver dos situaciones diferentes mediante sus correspondientes alumbrados de seguridad. Dichos alumbrados para estas dos situaciones son:

- Alumbrado de emergencia para resolver un fallo del suministro normal de energía eléctrica a las luminarias del túnel.
- Alumbrado de evacuación en caso de incidente para facilitar la salida inmediata de los ocupantes de los vehículos en el interior del túnel.

##### 2.2.1.11.1 Alumbrado de emergencia por interrupción del suministro eléctrico

Cuando exista un fallo en la alimentación de corriente eléctrica, se requiere un sistema de alumbrado de emergencia que, al menos, asegure que una parte del alumbrado permanezca en funcionamiento al objeto de:

- Minimizar, en el momento del corte del fluido eléctrico, la reacción instintiva de los conductores de los vehículos de frenar rápidamente, lo que podría ocasionar múltiples colisiones.
- Ayudar y proteger el trabajo de los servicios de emergencia que se requieran en caso de un accidente o una avería dentro del túnel.

El alumbrado de emergencia estará previsto a lo largo de todo el túnel, desde la entrada hasta la salida, con un nivel de luminancia como mínimo del 10% de la luminancia de la zona interior del túnel ( $0,1 \cdot L_{in}$ ) o de  $0.2 \text{ cd/m}^2$ , debiéndose adoptar el valor mayor de los dos. Como máximo la separación entre las luminarias será de 50 m.

El alumbrado de emergencia no es necesario en los túneles sin iluminar, o en túneles cortos si desde cualquier posición dentro del túnel es visible al menos una de las salidas del túnel.

Alternativas en el suministro de energía eléctrica:

El momento de corte en la alimentación eléctrica de la instalación de iluminación de un túnel es la situación más crítica, siendo necesario en dicho instante que el alumbrado de emergencia entre en servicio en el lapso de tiempo más breve posible, es decir, en la práctica menos de medio segundo desde el fallo en dicho suministro.

Para lograr que se garantice el correcto funcionamiento del alumbrado de emergencia, las posibles medidas a adoptar pueden ser las siguientes:

- Realizar una alimentación eléctrica de la instalación de alumbrado del túnel mediante dos suministros independientes con aparellajes (interruptores) automáticos y prácticamente instantáneos, estando interconectadas ambas acometidas. Al objeto de evitar problemas de conmutación o conexión, resulta siempre deseable alimentar parte de la instalación de iluminación desde una fuente de energía y el resto desde otra. La dificultad en este caso es poder tener en la práctica dos suministros de energía eléctrica totalmente independientes, a lo que hay que añadir su elevado coste.
- Establecer suministros para el alumbrado de emergencia desde una serie de baterías eléctricas (SAI) y desde un generador o grupo electrógeno, de forma que dichas baterías aseguren la alimentación eléctrica durante el tiempo que necesite el generador para arrancar y vencer la carga para entrar en servicio.

La elección entre las distintas alternativas expuestas dependerá de las condiciones locales en las que se encuentra el túnel y de los costes. Resulta también necesario tener en cuenta las condiciones de encendido y reencendido de las lámparas de descarga instaladas en los distintos circuitos, cuando se proyecta el alumbrado de emergencia.

Además de al alumbrado de emergencia, los SAIS pueden suministrar energía eléctrica a los circuitos de equipamiento de control y seguridad, de alumbrado de zonas de seguridad y de los paneles de mensajería variable, entre otros. Esto debe tenerse en cuenta a la hora de determinar la potencia y el tiempo de autonomía del equipo, por la posible generación de armónicos por parte de las lámparas de descarga en gas (SAP) y la utilización de grupos electrógenos u otros suministros alternativos.

Como criterio genérico se recomienda que la autonomía del alumbrado de emergencia sea de 15 minutos en túneles cuya longitud sea inferior a 2.000 m, y de 30 minutos en los que su longitud sea mayor de 2.000 m. Para el cálculo de la potencia a considerar se estudiarán las potencias máximas coincidentes dentro de los considerados circuitos prioritarios, aplicándose un coeficiente de 1,15 en caso de que el alumbrado interior esté constituido por lámparas de descarga en gas. Ir a tiempos superiores implica sobredimensionamientos de las instalaciones y de los correspondientes SAIS que no son necesarios debido a la existencia de grupos electrógenos que entrarán en funcionamiento antes de que finalice este tiempo.

Se recomienda que los SAIS utilicen circuitos existentes del alumbrado permanente en vez de realizar nuevos circuitos específicos, procurando que quede cubierto todo el alumbrado permanente, ya que el actual coste de los SAIS permite instalar tantos como sea necesario. Se deberá estudiar cada caso de forma pormenorizada para determinar qué alternativa es más ventajosa desde el punto de vista económico.

Asimismo, hay que considerar la necesidad de prever suministros de emergencia para otras instalaciones tales como ventilación y extracción de aire, señalización de tráfico etc., a la hora de decidir la elección del sistema de alumbrado de emergencia más conveniente.

#### 2.2.1.11.2 Alumbrado de evacuación en caso de incidente

La iluminación de evacuación en caso de incidente se dispondrá a una altura no superior a 1,5 m en el hastial o hastiales en los que se sitúen las salidas de emergencia o, en su defecto, en el hastial derecho en el sentido de la circulación. La iluminación deberá proyectarse de modo que permita guiar a los usuarios del túnel para evacuarlo a pie, garantizando un nivel de iluminancia mínimo de 2 lx en un eje longitudinal paralelo al hastial y separado 0,5 m del mismo.

La autonomía de dichos equipos no será inferior a los 60 minutos, considerando que durante dicho tiempo el flujo luminoso del equipo permanece constante.

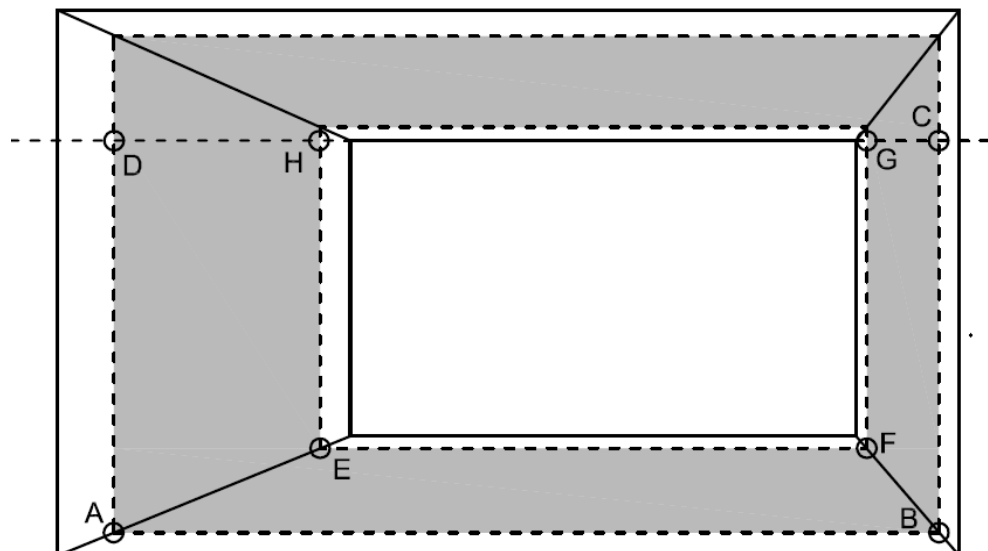
#### 2.2.2 Túneles cortos (menores de 200 metros)

Para determinar la necesidad de iluminar durante el día los túneles cortos, se debe proceder como se expone a continuación:

- Determinación del porcentaje de visión a través

El porcentaje de visión a través, LTP, es definido por la fórmula:

$$LTP = 100 \cdot \frac{\text{superficie EFGH}}{\text{superficie ABCD}}$$



**Figura 2.11. Porcentaje de visión a través**

El centro para el dibujo en perspectiva es:

- Un punto en una línea horizontal 1,2 m por encima de la superficie de la calzada

- En el centro del carril de circulación (si hay más de un carril, se ha de determinar para cada carril, aunque los más próximos a las paredes son los que tendrán la situación más crítica).
- A la distancia de parada (calculada para pavimento húmedo, según apartado 2.1.1) para el portal de entrada aparente influido por la luz natural.

Notas:

- El techo no es tenido en cuenta debido a que normalmente no es un fondo contra el que puedan ocultarse otros usuarios de la carretera u obstáculos.
- La penetración de luz natural acorta la longitud visual aparente del túnel. Por ello se usan unas bocas de entrada y salida aparentes cuando se determina LTP. La boca de entrada aparente normalmente está insertada aproximadamente 5 m y la boca de salida aparente está insertada aproximadamente 10 m dentro del túnel. La diferencia entre bocas reales y aparentes puede comprobarse viendo la superficie de la calzada en el túnel desde una larga distancia por delante del túnel, cuando se verá que la claridad de la superficie de la calzada en las bocas es mayor que dentro del túnel. Sin embargo, en la práctica es difícil estimar o medir las distancias de inserción, y las figuras a 5 m y 10 m representan la buena práctica y deberían usarse normalmente.

La situación en perspectiva puede estar basada en dibujos del túnel o en una fotografía de un túnel existente. En algunos casos, un dibujo en perspectiva del túnel no se puede realizar fácilmente, especialmente cuando el túnel presenta curvatura, tanto en vertical como en horizontal. En tales casos se da una exactitud suficiente cuando el marco oscuro está basado en dibujos en sección transversal en el plano horizontal y vertical.

El LTP se puede calcular mediante:

$$LTP = 100 \cdot \frac{\text{superficie EFGH}}{\text{superficie ABCD}}$$

$$LTP = 100 \cdot \frac{(EF \cdot FG)}{(AB \cdot BC)}$$

$$LTP = 100 \cdot \frac{EF}{AB} \cdot \frac{FG}{BC}$$

Debido a que los ángulos son pequeños:

$$LTP = 100 \cdot \frac{\beta_u}{\beta_i} \cdot \frac{\alpha_u}{\alpha_i}$$

Siendo  $\alpha_u$  y  $\beta_u$  los ángulos visuales para la parte visual de la boca de salida aparente y  $\alpha_i$  y  $\beta_i$  los ángulos visuales para la boca de entrada aparente (figura 2.8).

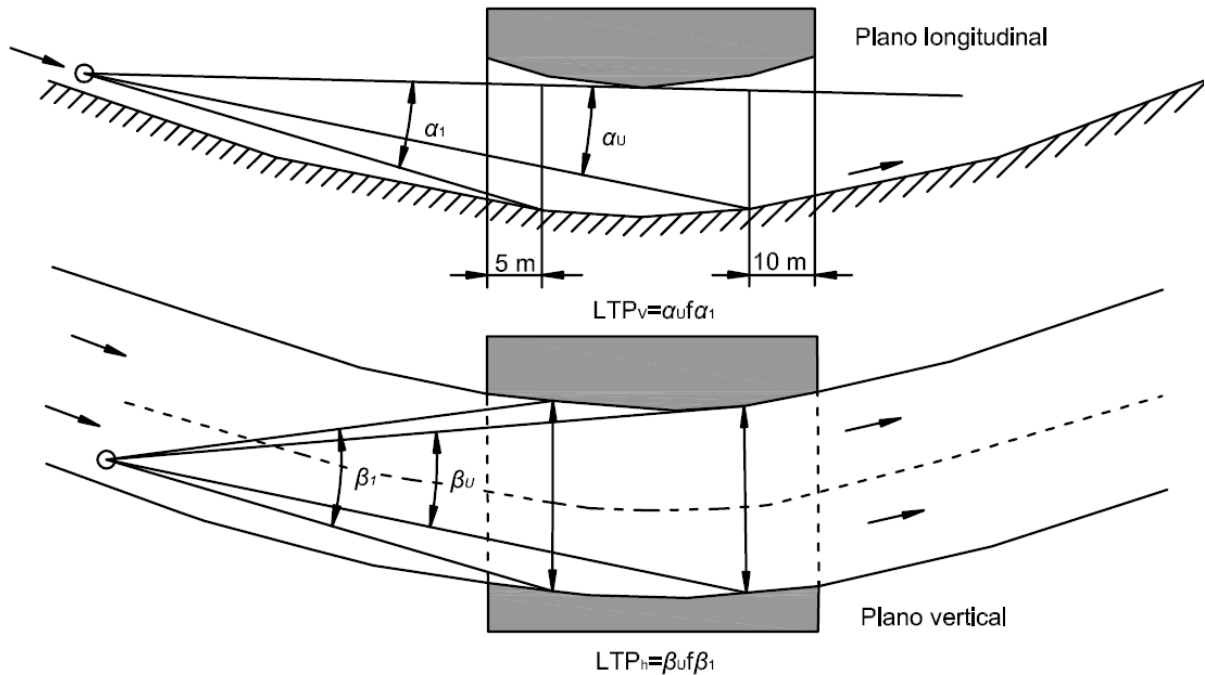
- Aplicación del porcentaje de visión a través.

De acuerdo con las investigaciones realizadas, pueden establecerse las siguientes conclusiones:

- Para  $LTP < 20\%$ , siempre se necesita alumbrado artificial durante el día.

- Para  $LTP > 50\%$ , nunca se necesita alumbrado artificial durante el día.
- Para  $20\% < LTP < 50\%$  puede ser necesario alumbrado artificial durante el día.

Para la situación de  $20\% < LTP < 50\%$ , debe seguirse el método que se expone a continuación para determinar si es necesario alumbrado diurno. Debe analizarse la visibilidad de un objeto crítico importante; este objeto debe representar un vehículo si solamente se permite que circulen por el túnel vehículos motorizados y peatones y ciclistas además, cuando se permite tráfico mixto:



**Figura 2.12. Ángulos visuales.**

- Para vehículos, el objeto crítico es definido como un rectángulo de 1,6 m de anchura x 1,4 m de altura. Para peatones/ciclistas el objeto crítico es definido como un rectángulo de 0,5 m de anchura x 1,8 m de altura.
- El objetivo principal es evitar una colisión y por ello el objeto crítico debe situarse en el centro del carril de circulación.

Se necesita alumbrado artificial durante el día cuando:

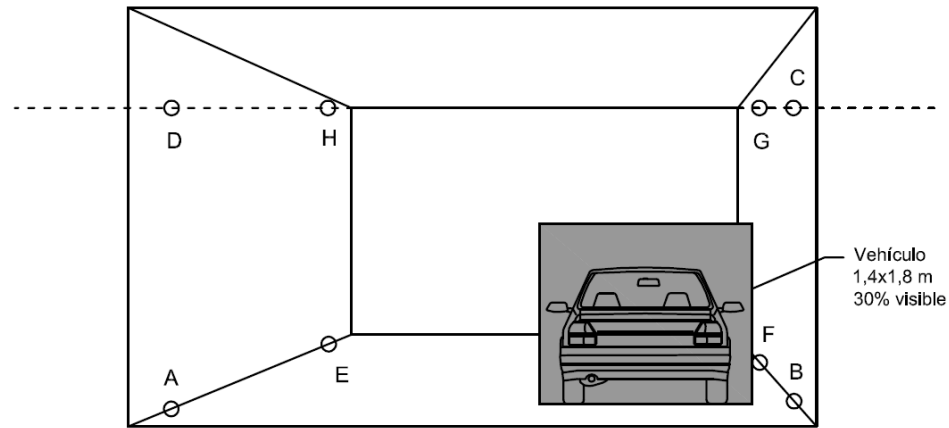
- No puede verse más de un 30% del objeto crítico que representa un vehículo contra la boca de salida aparente.
- No puede verse más de un 30% del objeto crítico que representa un peatón/ciclista contra la boca de salida aparente.

La situación se ilustra en las figuras 2.13 y 2.14.

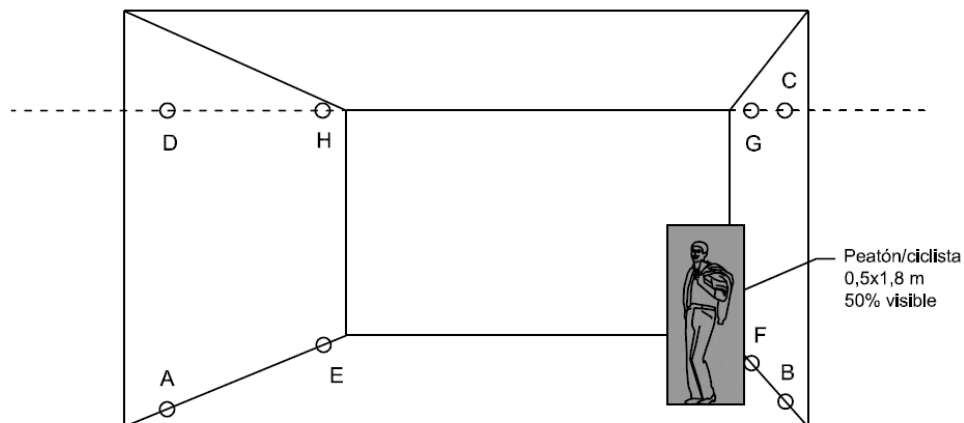
- Influencia sobre el Porcentaje de Visión a Través

Promover una buena penetración de luz natural a la entrada y salida acortarán la longitud aparente del túnel. Esto puede hacerse:

- Aumentando la altura o anchura de la entrada/salida.
- Aplicando cubiertas especulares (azulejos) en las paredes del túnel.
- Rompiendo el túnel en partes más cortas dejando abierto el techo cuando sea posible.



**Figura 2.13. Visibilidad de un vehículo**



**Figura 2.14. Visibilidad de un peatón o ciclista**

Tanto a partir de la práctica como del método de cálculo puede deducirse que los principales factores de influencia son la distancia de parada (calculada para pavimento húmedo, según apartado 2.1.1) y la longitud del túnel, y no la altura ni la anchura, incluso teniendo en cuenta la penetración de luz natural. Cabe destacar que la distancia de parada está basada en la velocidad considerada.

- Alumbrado de túneles cortos durante el día.

El método apropiado para proporcionar alumbrado artificial para un túnel corto durante el día depende de cada situación específica. Algunas posibilidades son:

- Usar alumbrado total de la zona de entrada como para túneles largos.
- Crear "volúmenes luminosos" longitudinales en algunos lugares, permitiendo que la luz natural pase a través del techo o mediante alumbrado artificial. Así,

los vehículos y otros usuarios de la carretera pueden verse como objetos oscuros contra dichos "volúmenes luminosos".

- En túneles con curvatura horizontal, la pared exterior curvada debe iluminarse de tal modo que los vehículos y otros usuarios de la carretera puedan verse como objetos oscuros contra la pared iluminada (si el túnel tiene también una gran curvatura vertical, este método puede no proporcionar una solución satisfactoria).
- Método alternativo o simplificado para determinar la necesidad de alumbrado artificial durante el día

En algunas situaciones comunes, la aplicación del método LTP puede evitarse usando las tablas 2.9 y 2.10, que contienen el resultado de los cálculos de LTP para situaciones reales.

En estas tablas se dan dos situaciones:

- Túneles rectos (la carretera que se aproxima no tiene curvatura en el plano horizontal, pero puede tener pendiente).
- Túneles con curvatura horizontal con una carretera que se aproxima con curvas en el plano horizontal.

Distancia* de parada	Alumbrado artificial durante el día	Carretera de aproximación pendiente de 0°	Carretera de aproximación pendiente de 2°	Carretera de aproximación pendiente de 4°
50m	Si	$L > 120$ m	$L > 100$ m	$L > 80$ m
	Posible	$50 \text{ m} < L < 120$ m	$50 \text{ m} < L < 100$ m	$40 \text{ m} < L < 80$ m
	No	$L < 50$ m	$L < 50$ m	$L < 40$ m
100m	Si	$L < 200$ m	$L > 150$ m	$L > 80$ m
	Posible	$90 \text{ m} < L < 200$ m	$60 \text{ m} < L < 150$ m	$50 \text{ m} < L < 80$ m
	No	$L < 90$ m	$L < 60$ m	$L < 50$ m
150m	Si	$L > 200$ m	$L > 150$ m	$L > 80$ m
	Posible	$120 \text{ m} < L < 200$ m	$70 \text{ m} < L < 150$ m	$50 \text{ m} < L < 80$ m
	No	$L < 120$ m	$L < 70$ m	$L < 50$ m
200m	Si	$L > 200$ m	$L > 150$ m	$L > 70$ m
	Posible	$150 \text{ m} < L < 200$ m	$70 \text{ m} < L < 150$ m	$50 \text{ m} < L < 70$ m
	No	$L < 150$ m	$L < 70$ m	$L < 50$ m

\* Calculada para pavimento húmedo (según apartado 2.1.1)

**Tabla 2.9. Túneles rectos.**

No se ha dado ningún valor, en las tablas para túneles con curvatura horizontal y vertical, ya que estas soluciones deberían ser calculadas utilizando el procedimiento completo de LTP.

La tabla es importante cuando se aplican las siguientes dimensiones principales y condiciones:



- Un túnel de anchura comprendida entre 9 y 12 m y una altura de túnel entre 4, 5 y 6 m.
- La escena detrás del portal de salida está bien iluminada por la luz natural.

Distancia* de parada	Alumbrado artificial durante el día	Radio de la curva		Radio de la curva	
80 m	Si	85 m	L > 20 m	170 m	L > 50 m
	Posible				20 m < L < 50 m
	No		L < 20 m		L < 20 m
100 m	Si	250 m	L > 50 m	800 m	L > 70 m
	Posible		30 m < L < 50 m		50 m < L < 70 m
	No		L < 30 m		L < 50 m
150 m	Si	450 m	L > 55 m	900 m	L > 90 m
	Posible		40 m < L < 55 m		60 m < L < 90 m
	No		L < 40 m		L < 60 m
200 m	Si	750 m	L > 60 m	1500 m	L > 100 m
	Posible		50 m < L < 60 m		65 m < L < 100 m
	No		L < 50 m		L < 65 m

\* Calculada para pavimento húmedo (según apartado 2.1.1)

**Tabla 2.10. Túneles con curvatura horizontal.**

## CAPÍTULO 3

### ELEMENTOS COMPONENTES DE UNA INSTALACIÓN DE ILUMINACIÓN

Los elementos integrantes de una instalación de alumbrado de túneles son:

- Fuentes de luz.
- Equipos eléctricos auxiliares.
- Luminarias.
- Soportes de montaje.
- Dispositivos de reducción de flujo luminoso y consumo.
- Cuadros de distribución y de medida, conductores de distribución y alimentación y bandejas de cables.
- Sistemas de control y gestión de la instalación.

A continuación se describen las características de estos elementos y las diferentes soluciones que existen para cada uno de ellos, con el objeto de que se pueda realizar una adecuada selección de los mismos para conseguir una mayor eficiencia energética y un resultado luminotécnico óptimo.

#### 3.1 Fuentes de luz

Con la denominación genérica de fuentes de luz se pretenden recoger los diferentes tipos de dispositivos que generan luz. Este término viene a sustituir al más conocido de “lámparas”, pues aunque hasta hace una década las únicas fuentes de luz que se empleaban en instalaciones de alumbrado de túneles eran las lámparas de descarga (de ahí el uso del término de forma genérica), hace justo una década han aparecido comercialmente otros tipos de emisores de luz de estado sólido, los LED (diodos fotoemisores), con unas excelentes prestaciones.

La misión de estos componentes es la de generar la suficiente cantidad de luz como para que en ausencia de la luz natural, los usuarios de la carretera que atraviesan un túnel puedan llevar a cabo correctamente la tarea visual.

En la iluminación de túneles, las fuentes de luz deben satisfacer las exigencias siguientes:

- Cumplir los criterios de calidad de iluminación (luminancia, uniformidad, etc.) requeridos a una instalación de alumbrado.
- Permitir economizar la energía eléctrica consumida mediante una buena eficacia luminosa (lm/W.) y una buena eficiencia fotométrica.
- Aportar un flujo luminoso individual importante para poder conseguir los elevados niveles de iluminación que se precisan en las bocas de entrada de un túnel en el régimen de días soleados con el menor número de luminarias.
- Cubrir, mediante su duración de vida, el mayor número posible de horas de funcionamiento de la instalación, que en el caso de alumbrado de túneles puede llegar (para el alumbrado permanente o del régimen noche) hasta 8.760 horas/año, es decir, las 24 horas del día los 365 días del año.
- Responder de la manera más instantánea posible a los fallos súbitos de alimentación eléctrica.
- Permitir la regulación de su flujo y consumo para hacer posible que las instalaciones se puedan adaptar a las necesidades del tráfico y su control.

- Responder adecuadamente a las condiciones climatológicas de las instalaciones en túneles (temperaturas extremas, humedad, etc.).

Como se ha expuesto en los apartados anteriores, dadas las particularidades del alumbrado de túneles, las fuentes de luz que se consideran más adecuadas para este tipo de instalaciones son las siguientes:

- Lámparas fluorescentes de vapor de mercurio.
- Lámparas de descarga de vapor de sodio de alta presión.
- LED.

Aunque existen otros tipos diferentes de fuentes de luz, tales como las lámparas de inducción, las de vapor de sodio de baja presión, las de vapor de mercurio y las de halogenuros metálicos (las dos primeras han sido empleadas en alumbrado de túneles en el pasado), actualmente quedan descartadas por las razones siguientes:

- Por su escasa eficacia luminosa (<65 lm/W) y baja eficiencia fotométrica debido a su gran tamaño físico, como es el caso de las lámparas de vapor de mercurio.
- Por su corta vida útil (inferior a 12.000 h), como sucede con las lámparas de halogenuros metálicos.
- Por su mala eficiencia fotométrica (debida a su gran tamaño), su pésima cromaticidad y la práctica imposibilidad de regular su flujo luminoso y por tanto su adaptación a regímenes variables de alumbrado, como sucede con las lámparas de sodio de baja presión, a pesar de su elevada eficacia luminosa.
- Por su escasa variedad de potencias y en consecuencia el bajo flujo luminoso generado, además de su gran tamaño físico, que las hace muy poco eficientes fotométricamente, como sucede con las lámparas de inducción, a pesar de su posibilidad de regulación y gran duración de vida útil.

De las tres familias consideradas como las más adecuadas, conviene aclarar que con carácter general:

- Las lámparas fluorescentes son adecuadas para el denominado alumbrado de base o alumbrado permanente en toda la longitud del túnel.
- Del mismo modo, los LED se adaptan perfectamente al alumbrado de base o permanente, pues poseen una gama de agrupaciones modulares que les permiten adaptarse perfectamente a los niveles de estos tipos de alumbrados.
- En cuanto a las lámparas de vapor de sodio de alta presión, la muy amplia gama de potencias que presentan permite que sean empleadas en potencias de 100 y 150 W en alumbrado de base o permanente, mediante regulación de su flujo y consumo si fuera necesario, para adaptarse a los bajos niveles del interior del túnel.
- Sin embargo, para los alumbrados de refuerzo, gracias a sus potencias de 400 W fundamentalmente que aportan un gran flujo luminoso, las lámparas de vapor de sodio de alta presión son las únicas y más adecuadas para conseguir los elevados niveles de iluminación que son precisos en las bocas de entrada de los túneles.

A continuación se recogen las características más importantes de estas tres familias de lámparas.

### 3.1.1 Lámparas fluorescentes

La utilidad principal de estas fuentes de luz es su empleo en el alumbrado de la zona interior del túnel así como en el alumbrado nocturno, que sirve para proporcionar a lo largo de toda

la longitud del túnel el nivel básico de iluminación que deberá estar encendido todas las horas del día (hasta las 8.760 horas/año).

Tipo de lámpara	Potencia (W)	Flujo a 100h (lm)	Eficacia (lm/W)	Pérdidas en equipo (W)	Eficacia conjunto lámpara+equipo (lm/W)	Vida útil (h)	Índice rendimiento color (Ra)
16 mm Ø	21	2.100	100	4	84	30.000	85
	28	2.900	104	4	90	30.000	85
	35	3.650	104	4	93	30.000	85
16 mm Ø	54	4.450	82	4	77	45.000	85
Larga vida	80	6.150	77	6	72	45.000	85
26 mm Ø Alta frecuencia	18	1.300	72	3	62	20.000	85
	36	3.250	90	4	80	20.000	85
	58	5.150	89	6	80	20.000	85
26 mm Ø Alta frecuencia, Larga vida	18	1.300	72	3	62	65.000	85
	36	3.250	90	4	80	65.000	85
	58	5.150	89	6	80	65.000	85
Fluoresc. compacta con balasto electrónico	32	2.900	91	4	80	20.000	82
	40	3.500	88	5	78	20.000	82
	52	4.800	92	6	82	20.000	82
Fluoresc. compacta con balasto electrónico Larga vida	32	2.900	91	4	80	35.000	82
	40	3.500	88	5	78	35.000	82
	52	4.800	92	6	82	35.000	82

**Tabla 3.1. Características de las lámparas fluorescentes.**

Aunque existen muchos tipos y familias de lámparas fluorescentes compactas, por ejemplo las que llevan el equipo electrónico incorporado, aquí se hace referencia tan solo a aquellas que no lo llevan, es decir, las denominadas “no integradas”, y también solo a aquellas que están provistas de casquillos de cuatro patillas, por ser regulables.

Este tipo de lámparas, además de disponer de una gama de potencias bajas muy adecuadas para el régimen de alumbrado nocturno o de la zona interior, tienen las características siguientes:

- Una eficacia luminosa de buena a muy buena, oscilando, según las potencias y el tipo de lámpara, entre 78 y 90 lm/W, con la excepción de la lámpara de 18 W., que es algo menos eficaz. En cuanto al rendimiento fotométrico, son ideales para conseguir líneas continuas que representan un guiado visual excelente y la ausencia de efecto “flicker”.
- En relación a fallos de alimentación en la red principal, estas lámparas responden inmediatamente al reencendido incluso en caliente, no tardando más allá de 3 s.
- Presentan una duración de vida muy larga, existiendo familias de lámparas (las denominadas de larga vida) que llegan hasta las 65.000 h en condiciones normales de funcionamiento.
- Pueden regularse en flujo y potencia como ninguna otra lámpara de descarga, con una tensión de mando de 0 a 10 V, y admiten su control mediante sistemas tales

- como DALI o DMX, de manera que se adaptan a las órdenes enviadas desde el puesto de mando central o a través de los dispositivos automáticos de regulación previstos, pudiendo regularse desde el 10% hasta el 100% de los valores nominales.
- Tienen una muy buena reproducción cromática, superior a 80, y el color de su luz es blanco, pudiendo ser más o menos frío en función de la temperatura de color, como se aprecia en la figura 3.1.



**Figura 3.1. Túnel iluminado con lámparas fluorescentes.**

### 3.1.2 Lámparas de vapor de sodio de alta presión

Todas las lámparas de vapor de sodio tienen una eficacia luminosa excelente. Las lámparas de potencias pequeñas, que son las más adecuadas para el alumbrado de base, son menos eficaces que las de potencias elevadas, que se emplean en los alumbrados de refuerzo de los tramos de umbral y de transición de un túnel.

Potencia (W)	Flujo a 100h (lm)	Eficacia (lm/W)	Pérdidas en equipo (W)	Eficacia conjunto lámpara+equipo (lm/W)	Vida útil (h)	Índice rendimiento. color (Ra)
70	6.600	94	11	81	14.000	23-25
100	10.500	105	13	93	16.000	23-25
150	16.500	110	20	97	18.000	23-25
250	32.500	130	29	116	18.000	23-25
400	55.500	139	33	128	18.000	23-25
600	90.000	150	50	138	18.000	23-25
1000	120.000	120	66	113	14.000	23-25

**Tabla 3.2. Características de las lámparas de vapor de sodio de alta presión.**

Los valores de esta tabla son similares a la mayoría de los fabricantes de lámparas más conocidos.

Las características de este tipo de lámparas son:

- Teniendo en cuenta las pérdidas en el equipo eléctrico auxiliar, poseen una gran eficacia luminosa (80 lm/W para potencias pequeñas y hasta 140 lm/W para

potencias mayores); tienen una muy buena eficiencia energética por su tamaño, lo que permite a las luminarias que la utilizan alcanzar factores de utilización del orden del 85%.

- Su envejecimiento, que se manifiesta por el valor de la tensión de arco o de descarga, es fácilmente mensurable a través de esta característica eléctrica ( $V_{\text{arco}}$ ). Con una aproximación bastante precisa, un incremento de hasta un 30-40% del valor nominal de la tensión de arco de estas lámparas supone el agotamiento de las mismas, con lo que se puede predecir, mediante el control de esta característica eléctrica, el número de horas de vida transcurridas y restantes hasta su agotamiento.
- En cuanto a su característica de respuesta a fallos temporales en la alimentación de la red, este tipo de lámparas reenciende en caliente en un período inferior a los 3 min., lo que la convierte en una lámpara flexible en este sentido.
- Merece la pena destacar que puede regularse en flujo luminoso y consumo energético. Una reducción del flujo luminoso de un 50% permite ahorrar como término medio un 40% de la potencia consumida.
- El rendimiento cromático de estas fuentes de luz es bajo (25 en una escala de 0 a 100) y su temperatura de color (2.100 K) le confiere un típico color amarillo dorado.



**Figura 3.2. Túnel iluminado con lámparas de vapor de sodio alta presión.**

### 3.1.3 Diodos fotoemisores (LED)

Los LED son sin ningún lugar a dudas una fuente de luz adecuada para el alumbrado de base o de régimen permanente en la iluminación de túneles por las características de flujo luminoso que pueden obtenerse con agrupaciones de módulos adecuadas.

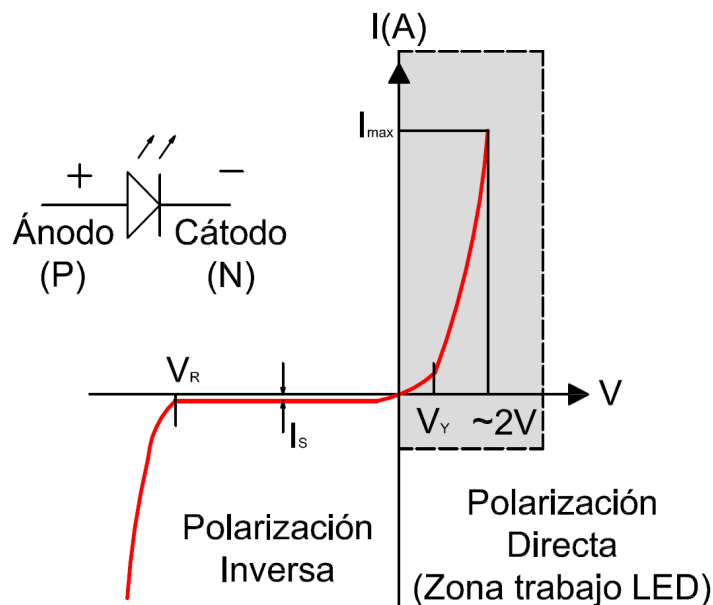
Los valores que figuran en la tabla 3.3 corresponden a características de LED que representan un promedio de la situación actual, pero que variará posiblemente en un futuro inmediato, ya que la tecnología existente permite emplear módulos de mayor potencia en el alumbrado de túneles.

Las variaciones observadas para las diferentes temperaturas de color se deben a que para obtener el color blanco, se parte de un LED que emite en color azul y para modificar esa longitud de onda desde el azul al blanco, se le suele superponer una capa de fósforo (de modo similar al modo de obtenerlo con las lámparas fluorescentes). Cuanto más gruesa es la capa de fósforo más cálido será el color, pero menor será su transmitancia y por tanto el flujo luminoso emitido.

Tipo de LED	Flujo luminoso (lm)	Temperatura de color (K)	Apariencia de color
R2 – R5	114 – 139	5.000 – 8.000	Blanco
R2 – R4	114 – 130	4.000 – 5.300	Blanco
Q5 – R3	107 – 122	3.700 – 5.000	Blanco
Q3 – Q5	94 – 107	2.600 – 4.300	Blanco
Q3 – Q5	94 – 107	2.600 – 3.700	Blanco
P4 – Q3	80,6 – 94	2.600 – 3.200	Blanco

**Tabla 3.3. Características de los LED.**

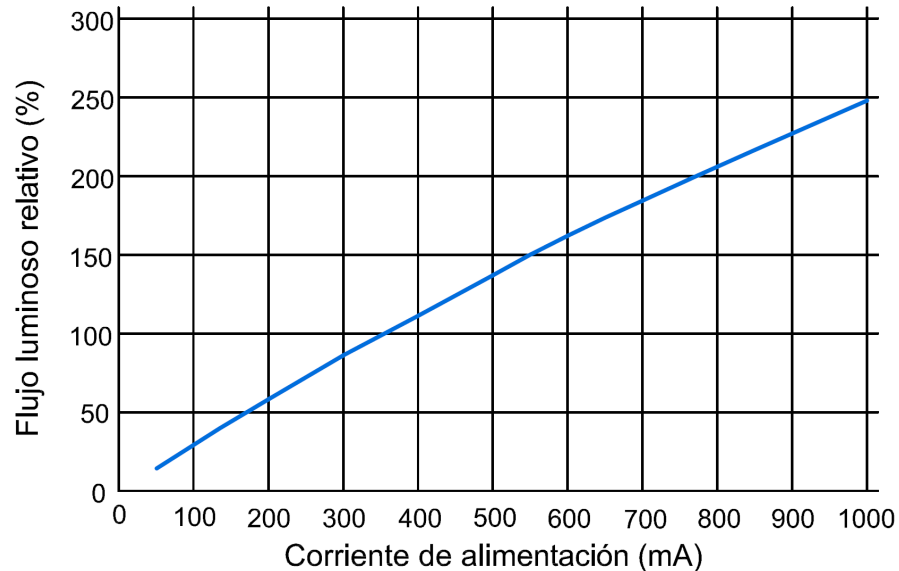
- La eficacia luminosa de estas fuentes de luz es igual al valor de su flujo luminoso, pues esta tabla está confeccionada para LED de 1 W de potencia nominal. No obstante si se tiene en cuenta la agrupación de varios LED en un módulo, alimentados con una misma fuente de alimentación, la eficacia luminosa disminuye al tener en cuenta las pérdidas del equipo eléctrico y por tanto se puede ver reducida en un 10%. En consecuencia, en función de las diferentes temperaturas de color, el margen de variación de la eficacia estará comprendido entre 75 y 125 lm/W, siendo menor cuanto más cálida es la temperatura de color y cuanto mayor es su índice de reproducción cromática. Habitualmente en el alumbrado de túneles se suelen emplear LED de 85 – 95 lm/W de eficacia global aproximadamente.



**Figura 3.3. Funcionamiento de LED.**

- En cuanto a su eficiencia energética, basada en sus capacidades fotométricas, debe indicarse que los LED emiten en general en un ámbito de 180°, pudiendo controlarse perfectamente la direccionalidad de su emisión mediante ópticas secundarias. Esto hace que sean mucho más eficientes que las lámparas de descarga, que emiten en un ámbito de 360°.

- El funcionamiento de este dispositivo emisor de luz es bastante simple ya que es un componente semiconductor por el que solo circula corriente en una dirección, como se indica en la figura 3.3.

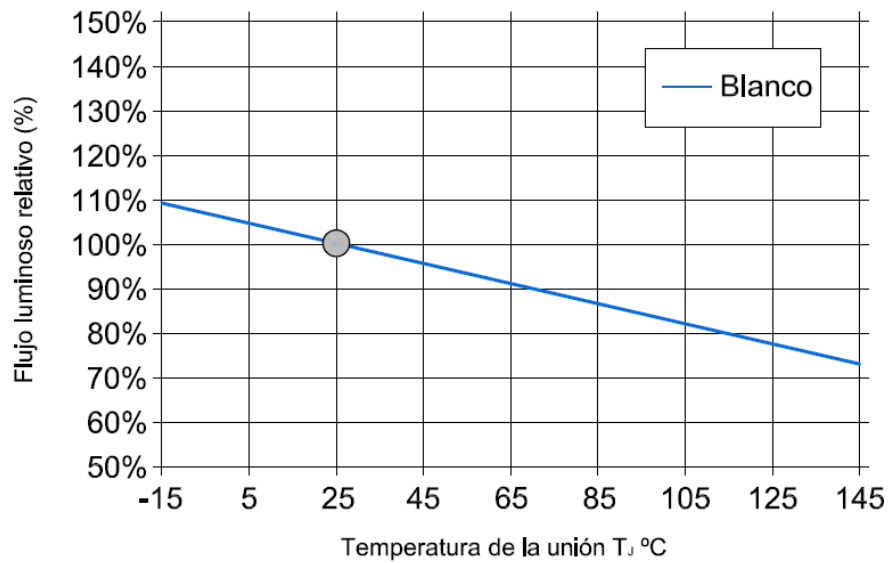


**Figura 3.4. Influencia de la corriente de alimentación.**

El LED es un elemento estable en su funcionamiento eléctrico y además posee una vida útil muy elevada (superior a 50.000 h siempre que las condiciones térmicas de funcionamiento sean las adecuadas, lo que equivale a 5 / 6 años de funcionamiento en una instalación de alumbrado de túneles). Su envejecimiento, que se debe en general a una depreciación luminosa en función de la temperatura de lo que se denomina “unión” (junction en inglés), varía mucho con el valor de esta temperatura. Así por ejemplo, en la figura 3.5 se puede apreciar cómo varía el flujo luminoso emitido en función de la  $T_{unión}$  ( $T_J$ ). Lógicamente la característica de intensidad de cada diodo puede controlarse perfectamente.

- En cuanto a su característica de respuesta a fallos temporales en la alimentación de la red, este tipo de fuentes de luz reacciona en caliente instantáneamente, lo que las convierte en la fuente de luz más idónea en este sentido.
- Los LED, como ya se ha descrito, permiten su alimentación a distintas intensidades, por lo que puede regularse su flujo luminoso y su consumo energético. Esta variación de la intensidad se logra a través de la fuente de alimentación, pudiendo adaptar la instalación a las necesidades de regulación, cumpliendo así con lo dispuesto en el REEIAE.
- El rendimiento cromático ( $R_a$ ) de estas fuentes de luz puede ser desde 65 a 90.
- La potencia normalmente empleada en las luminarias de túneles es del orden de 100 W, si bien es previsible que en un futuro estas potencias se incrementen para poder cubrir la zona de transición.
- La regulación de la potencia cubre desde el 10% al 100% del valor nominal.





**Figura 3.5. Flujo luminoso emitido en función de la temperatura de la unión.**

### 3.1.4 Análisis de la visibilidad de las diferentes fuentes de luz

#### 3.1.4.1 Relación entre la visibilidad y la cromaticidad

Lo que aquí se expone es el resumen de las investigaciones que se están llevando a cabo en varias universidades y centros de investigación sobre la mejora de las condiciones de visibilidad, el comportamiento del ojo humano a los niveles de visión denominados mesópicos y la evolución de la capacidad visual con la edad de las personas.

El tema es de una gran importancia, por cuanto si los resultados definitivos de los estudios coinciden con las conclusiones que ya se tienen, se podrán disminuir los niveles de iluminación para unas condiciones de seguridad de circulación similares a las que existen actualmente (con niveles más elevados de iluminación).

Los resultados de estas investigaciones están recogidos, entre otros, en los documentos redactados por el Comité TC 4-36 de la CIE en su documento titulado "Visibility design for roadway lighting" (Diseño de visibilidad para alumbrado de carreteras), que expone el estado actual de la técnica sobre cómo predecir la visibilidad. En él se describen tres métodos:

- Nivel de visibilidad (VL) sobre objetivos planos y esféricos.
- Visibilidad de pequeños objetivos (STV) sobre objetivos planos.
- El concepto de poder revelador (RP), como un porcentaje del área superficial de la carretera en que la visibilidad puede ocurrir para objetivos planos.

La visibilidad de los objetos en el campo de visión periférico del ojo (visión periférica) es mejorada cuando se usan fuentes de luz blanca a los niveles típicos del alumbrado de carretera, lo cual puede ser muy importante dado que la seguridad en la carretera durante la noche está relacionada de modo muy estrecho con la visión periférica.

El único problema hasta ahora es que aún no se ha podido cuantificar exactamente la magnitud del beneficio de la visión periférica mejorada, pero a pesar de ello, gracias a las investigaciones llevadas a cabo, se ha podido comprobar que hay sustanciales diferencias en el dimensionamiento de la iluminación de una carretera dependiendo de si se usa la

fotometría fotópica o mesópica (cuestiones que se están discutiendo en el marco del Comité TC 1-58 de la CIE denominado “Visual Performance in the Mesopic Range”).

No obstante para que los responsables de instalaciones se puedan hacer una idea de las ventajas del empleo de fuentes de luz blanca con buen rendimiento cromático, en los apartados siguientes se exponen sus características.

#### 3.1.4.2 Características cromáticas de las fuentes de luz y su importancia a bajos niveles de iluminación.

Hace mucho tiempo que se viene discutiendo sobre las ventajas que presentan algunos espectros de emisión de las fuentes de luz en cuanto a la visión a bajos niveles de iluminación. Este hecho tiene un precedente ya recogido en las normas nacionales del Reino Unido (BS) y de Italia (UNI), en las que para unos niveles de iluminación relativamente bajos, se permite reducir aún más el nivel a conseguir si se emplean lámparas de luz blanca y con un buen rendimiento cromático ( $R_a > 80$ ).

Este precedente vuelve a tener un importante significado en la actualidad con la aparición de los LED, y su interés en aplicaciones tales como el alumbrado viario y de túneles.

Como fundamentos básicos para la comprensión de lo que aquí se va a exponer conviene analizar los siguientes aspectos:

- Visión fotópica, escotópica y mesópica.
- Visión central y visión periférica.
- Visión del color en el rango mesópico.
- Efecto de la edad en la visión mesópica.

Una vez expuestos brevemente estos aspectos, se terminará con una breve y resumida exposición de cómo debe ser la luminancia de adaptación en el alumbrado de túneles.

### VISIÓN FOTÓPICA, ESCOTÓPICA Y MESÓPICA

Los conos y los bastones son las células sensibles a la luz que se encuentran en el ojo humano.

- **Visión fotópica:** Los conos que están concentrados en la fovea de la retina del ojo son los responsables de que se formen imágenes nítidas, al tiempo que coloreadas, dado que existen conos sensibles al rojo, al verde y al azul. Ocupan principalmente el centro de la retina, por lo que son los responsables de la denominada visión “central”. Los conos presentan la máxima actividad con luminancias de adaptación mayores de  $3\text{-}10\text{ cd/m}^2$ , lo que se denomina visión fotópica.

La sensibilidad espectral con la visión fotópica está caracterizada por la curva  $V(\lambda)$  y alcanza su máxima sensibilidad a una longitud de onda de aproximadamente  $555\text{ nm.}$ , correspondiente a un color verde-amarillento. Debido a esto las fuentes de luz con un elevado contenido en amarillo pueden tener eficacias elevadas. En la actualidad todas las mediciones de luz se hacen usando la función de eficiencia luminosa espectral fotópica.

- **Visión escotópica:** Los bastones son células que presentan una gran sensibilidad a la luz. Su distribución en la retina aumenta en el área periférica de la misma, registrándose su máxima concentración aproximadamente a  $15^\circ$  de la dirección de visión. En el área central de la fovea no existen bastones. Los bastones son por ello importantes en la visión periférica. Como hay muchos bastones interconectados, la

imagen formada no es nítida. A niveles de luminancia de adaptación inferiores a  $0,01 \text{ cd/m}^2$ , solo los bastones son activos, y en ese caso se habla de visión escotópica.

La sensibilidad espectral con la visión escotópica está caracterizada por la curva  $V'(\lambda)$ , que es máxima a una longitud de onda de 505 nm, correspondiente al azul-verdoso, por lo que si se compara con la curva  $V(\lambda)$  se observa un claro desplazamiento hacia el extremo azul del espectro.

Como una característica de lo efectivo que es el espectro de una fuente luminosa en visión escotópica, se usa la relación S/P. Es la relación entre la luminancia escotópica (según  $V'(\lambda)$ ) y la luminancia fotópica (según  $V(\lambda)$ ) para ese espectro.

Como ejemplo, si se toma una fuente de luz monocromática con una longitud de onda de 500 nm, el valor escotópico de  $V'(\lambda)$  es 0,99 y el valor fotópico relativo de  $V(\lambda)$  es 0,30. Para convertir estos valores relativos en absolutos tienen que ser multiplicados por la máxima sensibilidad del ojo de visión escotópica (1.700) y fotópica (683) respectivamente. El valor S/P es en este ejemplo  $(0,99 \times 1.700) / (0,30 \times 683) = 8,2$ . Para las fuentes de luz que no son monocromáticas este procedimiento ha de ser seguido para todas las longitudes de onda contenidas en esa fuente de luz.

La tabla 3.4 da valores típicos para diferentes fuentes de luz usadas en alumbrado de carreteras.

Fuente de luz	Relación S/P
Sodio alta presión (amarillo-blanco)	0,65
Halogenuros metálicos (blanco cálido)	1,25
LED (blanco-cálido)	1,3
Halogenuros metálicos (blanco frío)	1,8
LED blanco rico en azul	2,15

**Tabla 3.4. Relación S/P.**

- **Visión mesópica:** A niveles de adaptación comprendidos entre  $0,003$  y  $10 \text{ cd/m}^2$ , tanto los conos como los bastones son activos. Cuanto menor es el nivel de adaptación más importantes son los bastones. La sensibilidad espectral total se desplaza gradualmente en la dirección de las pequeñas longitudes de onda, es decir, en la dirección del azul. Este efecto dependiente de la adaptación se denomina “efecto Purkinje”. Con el fin de determinar el efecto práctico del desplazamiento gradual de la sensibilidad espectral en el área mesópica hay que distinguir entre visión central (foveal) y visión periférica.

#### VISIÓN CENTRAL Y PERIFÉRICA

- **Visión central:** Debido a que en la fovea existen pocos bastones, las células que juegan el papel determinante son los conos. La curva  $V(\lambda)$  proporciona una aceptable predicción de las prestaciones de la pequeña tarea central para niveles de adaptación mayores de  $0,01 \text{ cd/m}^2$ . Por tanto, para la visión central deben usarse unidades de luz fotópicas. Debe tenerse en cuenta que incluso en alumbrado viario reducido los niveles de luminancia son mayores de  $0,1 \text{ cd/m}^2$ .

- **Visión mesópica periférica:** Determinar la sensibilidad espectral real del sistema visual en circunstancias de visión mesópica periférica a diferentes niveles de adaptación es difícil pero no imposible. Por ello el procedimiento es determinar el efecto de diferentes espectros sobre criterios de prestaciones. En Europa un consorcio denominado MOVE usa tres criterios: ¿puede ser visto un objeto por un conductor de un vehículo?, ¿con qué rapidez puede ser visto? y finalmente ¿puede ser reconocido?.

Debido a que los bastones no dan una imagen nítida de un objeto, debe asumirse que después de detectar una imagen periférica no nítida, los ojos vuelven a focalizarse en una visión central sobre el objeto con el fin de reconocerlo de modo preciso.

Como resultado del efecto del espectro de la fuente de luz en el rango mesópico de la visión periférica, la tabla 3.5 da resultados del modelo MOVE. En ella se expresa la diferencia en porcentaje entre la luminancia calculada usando el modelo MOVE y la luminancia fotópica para fuentes de luz con diferentes valores de S/P, para diferentes luminancias de adaptación.

	Luminancia de adaptación fotópica (cd/m <sup>2</sup> )		
S/P	0,03	0,3	3
0,65	-24%	-10%	-3%
1	0%	0%	0%
1,35	20%	9%	3%
2,15	61%	28%	9%

**Tabla 3.5. Luminancia de adaptación fotópica (cd/m<sup>2</sup>).**

Si se comparan las lámparas de sodio alta presión (S/P=0,65) con los LED blanco cálido (S/P=1,35) y con los LED blancos ricos en azul (S/P=2,15), se puede observar que efectivamente los niveles de iluminación con LED blanco cálido son un 19% (10+9) mayores que con el sodio alta presión para un nivel de adaptación de 0,3 cd/m<sup>2</sup>, y con LED blancos ricos en azul un 38% (10+28). Estos porcentajes se refieren solo a visión periférica.

## VISIÓN DE COLOR EN EL RANGO MESÓPICO

Debido a que los conos, que permiten la visión de colores, están aún parcialmente activos en el rango mesópico, puede esperarse que el reconocimiento del color a niveles de alumbrado de carreteras contribuya a las prestaciones visuales. Además, recientes ensayos han demostrado que el reconocimiento facial con un índice de rendimiento cromático Ra>50 es mucho más fácil que con lámparas de sodio alta presión que tienen un Ra de 25. Así, con luz blanca de Ra>50 es necesario tan solo la mitad del nivel de iluminación para obtener la misma posibilidad de identificación. Es importante resaltar que es el rendimiento cromático el que mejora esta situación y no la temperatura de color. Como ya se ha dicho la norma BS 5489 permite una reducción de luminancia media del orden de un 30% cuando se usa una fuente de luz con un rendimiento cromático Ra>60.

## EFFECTO DE LA EDAD EN LA VISIÓN MESÓPICA

Los estudios realizados por MOVE, como muchos otros, se han llevado a cabo con sujetos de edades comprendidas entre 20 y 35 años. La lente del cristalino del ojo humano amarillea

con la edad y una de las consecuencias es la pérdida de visión del azul y del verde (longitudes de onda cortas). Si se compara la absorción de componentes azules de la luz blanca rica en azules entre un grupo de personas de edades comprendidas entre 60 y 69 años con el grupo de edades entre 20 y 35 años, se verá que para las personas de mayor edad, al resultar filtradas esas longitudes de onda bajas por el amarilleamiento del cristalino, se pierde luz tanto para los conos como para los bastones. Por todo lo expuesto con anterioridad y por lo descrito aquí, posiblemente las ventajas de utilización de luz rica en azul no sean aplicables a las personas mayores.

A continuación, la tabla 3.6 muestra las características principales de las diferentes fuentes de luz.

	ÍNDICE DE REPRODUCCIÓN CROMÁTICA (Ra)	CALIDAD CROMÁTICA	REGULACIÓN DE REDUCCIÓN DE FLUJO (%)	UTILIZACIÓN		
				TRAMO UMBRAL	TRAMO DE TRANSICIÓN	INTERIOR
LÁMPARAS DE SODIO ALTA PRESIÓN (VSAP)	<25	NO	40%-100%	SÍ	SÍ	SÍ
LÁMPARAS FLUORESCENTES	>80	SÍ	10%-100%	NO	SÍ	SÍ
LED	>70	SÍ	10%-100%	NO	Depende del nivel NO / SÍ	SÍ

**Tabla 3.6. Resumen de características de cada tipo de lámpara.**

### 3.2 Equipos eléctricos auxiliares

Los equipos auxiliares son aquellos elementos que precisan las lámparas como complemento para su funcionamiento, estabilizando de forma puntual o continua la corriente de éstas. Se consideran equipos eléctricos auxiliares los balastos, los condensadores y los arrancadores.

#### 3.2.1 Equipos para lámparas de fluorescencia

Para estabilizar la corriente de las lámparas fluorescentes existe una amplia variedad de equipos, pero según se establece en la Directiva Europea 2000/55/CE solo están permitidos los siguientes:

- Balastos inductivos de bajas pérdidas.
- Balastos electrónicos de alta frecuencia.
- Balastos electrónicos regulables.

Las lámparas, cuando funcionan con balastos inductivos, llevan además un cebador para iniciar la descarga o están provistas de un conductor que une los dos electrodos de la lámpara para facilitar el arranque. Siguiendo la Directiva Europea 2000/55/CE, de 18 de septiembre de 2000, relativa a los requisitos de eficiencia energética de los balastos de lámparas fluorescentes, tan solo procede instalar balastos inductivos cuando estos son de bajas pérdidas; a partir del año 2.015 solo se instalarán balastos electrónicos.

En el caso de los balastos electrónicos no es necesario ningún dispositivo de arranque específico. Estos dispositivos además de tener la ventaja de hacer funcionar las lámparas a alta frecuencia, con lo que se obtiene un mayor flujo luminoso y una mayor duración de vida, corrigen el factor de potencia a la unidad y tienen la posibilidad de ser regulables.

Los balastos electrónicos regulables permiten, mediante una tensión de mando de 0 a 10 V, regular el flujo luminoso de las lámparas fluorescentes desde el 10% al 100% de su flujo nominal. Pueden ser controlados mediante los sistemas globales DALI o DMX, con lo que las instalaciones se hacen absolutamente regulables mediante programación o desde un puesto de mando centralizado.

### 3.2.2 Equipos para lámparas de vapor de sodio de alta presión

Las lámparas de descarga tienen necesidad, para su correcto funcionamiento en conexión con la red de alimentación, de un equipo limitador de la intensidad, que por sus características de estabilizador, recibe el nombre de balasto. Pueden ser:

- Balasto inductivo.
- Balasto con dos niveles de potencia o “de doble nivel”.
- Balasto electrónico.

#### 3.2.2.1 Balasto inductivo

El balasto inductivo se utiliza preferiblemente al balasto capacitivo porque las inductancias son elementos de circuito que provocan menos incidentes (la descarga de los condensadores puede ser peligrosa). No obstante, como la introducción de una inductancia en un circuito de alimentación a corriente alterna genera un desfase entre la tensión y la intensidad, el circuito se completa con uno o varios condensadores para corregir el factor de potencia.

Además de los balastos inductivos, casi todos los tipos de lámparas de sodio de alta presión necesitan un dispositivo que les proporcione una tensión superior a la de red para iniciar el arranque de la descarga. Dichos dispositivos se denominan genéricamente arrancadores.

Los balastos inductivos proporcionan una baja regulación de corriente y de potencia, siendo muy dependientes de la tensión de alimentación, hasta el punto de que su empleo está condicionado a que la tensión de alimentación no varíe en más de un  $\pm 5\%$ . Tienen además una característica a tener muy en cuenta, que son las pérdidas debido al efecto Joule (por calentamiento del bobinado), de tal manera que para que sean admisibles las pérdidas no deben superar los valores que figuran en la tabla 3.7.

Los condensadores, que como ya se ha indicado tienen como función corregir el factor de potencia y el desfase de la tensión e intensidad del circuito, se conectan en paralelo con la red. Deben cumplir lo exigido en las Normas UNE-EN 61049.

En cuanto a los arrancadores, que son los dispositivos que producen el pico de tensión necesario para iniciar la descarga en las lámparas de vapor de sodio de alta presión, pueden ser de los tipos siguientes:

- En serie con la lámpara (de generación de impulsos independiente).
- En semi-paralelo (de impulsos dependientes del balasto al que va asociado).
- En paralelo (independiente).

POTENCIA DE LÁMPARA (W)	PÉRDIDAS DEL EQUIPO
70	11
100	13
150	20
250	29
400	33
600	50
1000	66

**Tabla 3.7. Pérdidas de balastos inductivos admisibles para lámparas de vapor de sodio de alta presión.**

Es muy importante tener cuidado con la capacidad eléctrica de los cables que conectan el arrancador a la lámpara, de tal modo que si el arrancador se separa una cierta distancia de la lámpara, a veces puede no llegar a funcionar si no es capaz de vencer dicha capacidad eléctrica.

Las Normas que prescriben sus características son la UNE-EN 61347-2-1:202 y la UNE-EN 60927.

#### 3.2.2.2 Balasto de doble nivel

Los balastos de dos niveles de potencia o de doble nivel están constituidos por dos inductancias, una principal y otra auxiliar, de modo que en un momento determinado pueda aumentarse la caída de tensión en la inductancia conjunta y disminuir la tensión en lámpara, y por tanto la potencia eléctrica y el flujo luminoso.

La forma de añadir o quitar la inductancia auxiliar de la principal puede ser realizada a través de un relé cuya excitación se produce con una corriente denominada “de mando”, de muy baja intensidad, que mediante un reloj se alimenta en un momento de la noche determinado para que se produzca el aumento de la inductancia y por tanto la reducción de la potencia y flujo de la lámpara. Con este tipo de balastos se puede reducir hasta un 50% el flujo luminoso de la lámpara, disminuyendo entre un 35% y un 40% la potencia consumida por el conjunto del punto de luz.

Existen varios sistemas para realizar este proceso: unos tipos lo hacen por presencia de corriente en el hilo de mando y otros por ausencia de la misma.

La corrección del factor de potencia en los equipos de doble nivel es compleja, pues al cambiar el valor de la inductancia debería variar la capacidad del circuito. Se pueden prever relés de varios contactos para alternar también una capacidad auxiliar y una principal, pero la complejidad del sistema introduce un elemento más de fallo.

El control de calidad sobre los balastos inductivos puede ser llevado a cabo por procedimientos eléctricos muy simples, tales como el de medida de impedancia, de potencia perdida, de factor de cresta, etc.

La norma aplicable a los balastos inductivos para lámparas de vapor de sodio alta presión es la UNE-EN 61347-2-9:2003, aplicable a balastos para lámparas de descarga.

### 3.2.2.3 Balasto electrónico

El balasto electrónico difiere totalmente del balasto inductivo, ya que la estabilización y limitación de la corriente se logra mediante el control de la onda sinusoidal a través de componentes de un circuito electrónico, que además suele albergar también un variador de frecuencia, con lo que se hace funcionar a la lámpara a una frecuencia más apropiada para ella.

Este balasto no precisa ni de condensadores ni de arrancador, pues él mismo regula el factor de potencia y produce el pico de tensión necesario para poder arrancar la lámpara. Se simplifica por ello el circuito de lámpara en cuanto a componentes, pero se introducen otros posibles puntos de fallo para su correcto funcionamiento, como es el de la temperatura ambiente (los componentes electrónicos son muy sensibles a temperaturas superiores a 80° C).

A sus características añade la de estabilizar la tensión de alimentación en el margen admisible del  $\pm 7\%$  que marca el Reglamento de Verificación de suministro, con lo que se prolonga la vida útil de las lámparas.

Para regular el flujo luminoso y el consumo de potencia y hacer la instalación adaptable a las condiciones del tráfico, el balasto electrónico regula la corriente de la lámpara, pues mediante la aplicación de una tensión de mando corta una parte de la forma de onda sinusoidal de la misma. Reduciendo la intensidad de modo controlado se puede llegar a regular la lámpara hasta dar tan solo un porcentaje de su flujo nominal, con ahorros de energía de hasta el 50%. Es el modo de regulación más adecuado para asegurar la estabilidad de la lámpara puesto que el equipo electrónico mantendrá siempre la tensión de arco adecuada que necesite la lámpara para su buen funcionamiento.

### 3.2.3 Sistemas de alimentación para LED

Los LED precisan de unas exigencias relativas a la polarización de los mismos, lo que se debe llevar a cabo mediante lo que se denomina "drivers", que es el término inglés del sistema de alimentación.

De los diferentes sistemas de alimentación que existen, hay que destacar los siguientes:

- De resistencia limitadora
- Fuente de tensión lineal
- Fuente de tensión conmutada
- Fuente de corriente

Las características de los mismos son:

- Los sistemas de alimentación de resistencia limitadora emplean una resistencia en serie con los LED que limita la corriente a un valor seguro y regula la tensión aplicada. Son de bajo coste y elevada simplicidad, pero ofrecen una baja eficiencia y una pobre regulación de corriente.
- Los sistemas de fuente de tensión lineal están basados en una resistencia limitadora, en la que estabilizamos la tensión de alimentación con una fuente lineal. Son de bajo coste y elevada simplicidad y aseguran una buena regulación de corriente, pero tienen una baja eficiencia.
- Los de tensión conmutada transforman una tensión pulsatoria en una tensión de secundario continua de valor proporcional a la secuencia de los impulsos. Son sistemas de coste elevado y pueden plantear problemas de compatibilidad



electromagnética, pero garantizan una buena eficiencia y una buena regulación de corriente y permiten la reducción de flujo luminoso y consumo mediante una señal de control.

- La fuente de corriente se basa en circuitos conmutados complejos que garantizan una corriente de salida estable, con lo que no es necesaria la resistencia limitadora. Su coste es muy elevado y pueden plantear problemas de compatibilidad electromagnética, pero garantizan una óptima eficiencia y regulación de corriente y permiten la reducción de flujo luminoso y consumo mediante una señal de control.

La normativa aplicable a estos sistemas se encuentra en proceso de redacción, pero ya existen la UNE-EN 62031 aplicable a Módulos LED para alumbrado general. Requisitos de seguridad y la UNE-EN 61347-2-13. Requisitos particulares para dispositivos electrónicos alimentados con corriente continua o corriente alterna para módulos LED.

### **3.3 Luminarias**

Las luminarias son los componentes de la instalación de alumbrado que alojan las fuentes de luz y los equipos eléctricos auxiliares necesarios para su funcionamiento; también se encargan de filtrar o transformar la luz emitida por la fuente de luz.

Existen muchos tipos de luminarias en función de sus aplicaciones, pero lógicamente en estas Recomendaciones solo se tratarán las empleadas para alumbrado de túneles.

Las luminarias empleadas en los túneles deben poseer unas características fotométricas, mecánicas e incluso de resistencia a la corrosión, adecuadas a las duras condiciones ambientales que se dan en los mismos. Desde los túneles con elevada intensidad de tráfico, que presentan una elevada contaminación ambiental, hasta los túneles de montaña, que soportan unas duras condiciones climatológicas (temperatura sobre todo) y la acción de las sustancias químicas que se generan en su interior como consecuencia de la humedad y los gases de escape de los vehículos, las luminarias y el conjunto de la instalación se ven solicitadas por unas condiciones de funcionamiento muy agresivas, por lo que debe cuidarse mucho el diseño de las mismas para poder preservar sus características durante el mayor tiempo posible.

El mantenimiento tiene una importancia fundamental para garantizar la conservación de las prestaciones fotométricas y las características mecánicas funcionales, tales como las fijaciones de las luminarias sobre los soportes de montaje y los sistemas de inclinación de las mismas.

A continuación se analizan las características que deben cumplir las luminarias empleadas en túneles en relación con la fotometría, construcción e instalación.

#### **3.3.1 Fotometría**

La anchura de las calzadas en los túneles, comparada con las bajas alturas de montaje de las luminarias (entre 4 y 6 m), y su ubicación respecto de la calzada que iluminan, (que varía desde su posición fuera de la vertical de la calzada hasta su situación en el centro de ella para respetar el gálibo), obligan al empleo de ópticas muy específicas, capaces de resolver estos problemas.

Dada esta peculiaridad, desde el punto de vista de las luminarias, en la iluminación de los túneles, existen dos sistemas completamente diferentes de distribución fotométrica:

- Sistema de alumbrado simétrico.
- Sistema de alumbrado asimétrico a contraflujo (CBL).

En un sistema de alumbrado simétrico, el haz de luz emitido por las luminarias es simétrico a ambos lados de su vertical en sentido longitudinal y se proyecta sobre todo perpendicularmente al eje del túnel. Un ejemplo suele ser la iluminación con dos líneas continuas ubicadas en los hastiales a ambos lados de la calzada, con la fuente de luz paralela o perpendicular al eje longitudinal del túnel.

En un sistema de alumbrado asimétrico a contraflujo, la luz está dirigida en paralelo al eje longitudinal del túnel y en contra del sentido de circulación del tráfico de vehículos. Un ejemplo suele ser el de alumbrado cenital ubicado más o menos sobre el centro de la calzada y que emite luz asimétricamente.

Lo que diferencia a ambos sistemas es lo que se denomina “coeficiente de revelado de contrastes”, que es la relación entre la luminancia del fondo y la iluminancia vertical, es decir:

$$q_c = \frac{L_f}{E_v}$$

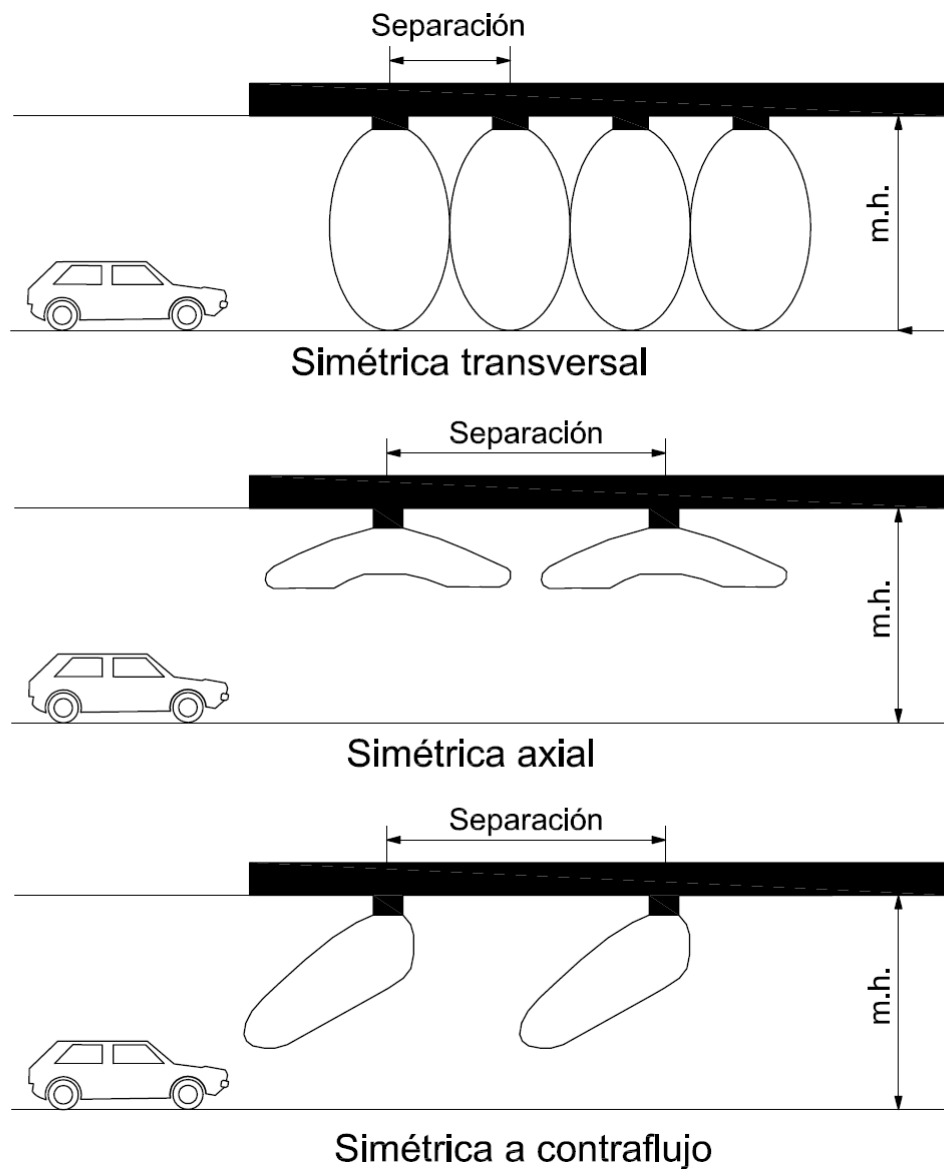
En las luminarias de alumbrado simétrico el valor del coeficiente de revelado de contrastes suele ser del orden de 0,2, mientras que en el alumbrado a contraflujo este valor suele ser del orden de 0,6.

Esto significa que con el alumbrado a contraflujo se obtiene una mayor luminancia con la misma iluminancia vertical, consiguiéndose por tanto un mayor rendimiento en luminancias, por lo que con este sistema se precisará un nivel menor de iluminancia que con un alumbrado de tipo simétrico, para obtener la misma visibilidad.

A la vista de este resultado, la propuesta inmediata es por qué no emplear siempre el alumbrado a contraflujo, ante lo cual deben tenerse en cuenta las consideraciones siguientes:

- El alumbrado a contraflujo solo se puede instalar en túneles unidireccionales, pues si bien en un sentido de circulación sería a contraflujo, en el otro sentido sería a favor del flujo de los vehículos, y este sistema tiene muchos inconvenientes. (No obstante, en algunos túneles de Suiza se han instalado luminarias con dos ópticas que emiten a contraflujo en cada sentido, pero los resultados no han sido muy eficientes).
- No siempre es posible montar las luminarias sobre la calzada cenitalmente, por lo que si se tratara de montar las luminarias de alumbrado a contraflujo en los hastiales, el sistema no funcionaría adecuadamente.
- Hay que tener muy en cuenta los túneles de gran anchura, pues las ópticas diseñadas para contraflujo no abarcan una anchura mayor de 1,25 veces la altura de montaje.
- Las ópticas del sistema a contraflujo tienen que ser muy precisas, pues de lo contrario pueden producir deslumbramientos insoportables (no hay que olvidar que emiten luz en sentido contrario al de circulación de los vehículos, por tanto sobre los ojos del conductor).

En resumen, cumpliéndose con los preceptos claros de calzadas de un solo sentido de circulación y teniendo la posibilidad de instalar las luminarias cenitalmente, habrá que estudiar en cada caso la conveniencia de uno u otro sistema y demostrarlo mediante unos cálculos precisos y fiables.



**Figura 3.6. Sistemas de alumbrado.**

### 3.3.2 Construcción

La luminaria para túneles consiste en un cajón hermético, fijado y orientable mediante los soportes de montaje que en su interior contiene el sistema óptico y los elementos auxiliares eléctricos.

El cajón debe estar fabricado con materiales muy resistentes mecánicamente y a la corrosión, debiendo además ser rígido y robusto para conservar la hermeticidad. La apertura puede hacerse lateral o frontalmente y debe estar provisto de un cierre de vidrio de alta resistencia térmica y mecánica IK, según la norma UNE-EN 60598.

El cajón puede contener uno o varios bloques ópticos, estando cada bloque óptico constituido por un reflector y el portalámparas, así como el sistema de desplazamiento del portalámparas si fuera necesario. La forma y dimensiones del bloque óptico deberán ser acordes con las fuentes de luz que incorpore, de modo que se obtenga la mayor eficiencia luminosa posible con una buena distribución longitudinal y transversal del haz luminoso.

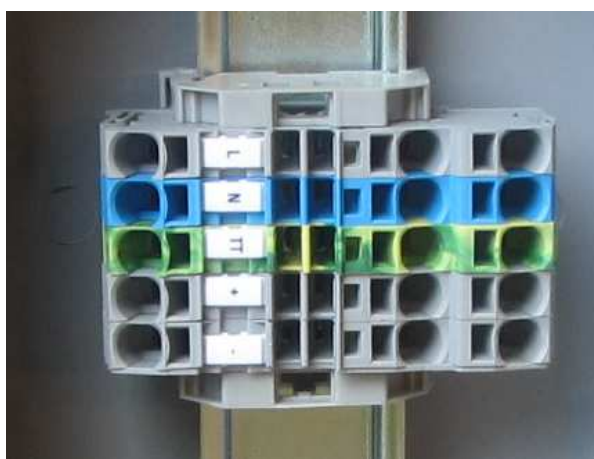
### 3.3.3 Instalación

Las acometidas a las luminarias se deben realizar desde las bandejas de distribución de los circuitos eléctricos de alimentación, donde se deben colocar las bornas de conexión para seccionar los conductores correspondientes, de forma que se pueda derivar (alimentar) directamente a las luminarias a través de un conductor de cobre tripolar de sección 2,5 mm<sup>2</sup>, con una tensión nominal de 0,6/1 kV. Dicho conductor será del tipo SZ1-K o RZ1-K, según corresponda.

Si se considera adecuado, se podría utilizar un tubo flexible metálico inoxidable apropiado para unir la caja de conexionado y el punto de luz, utilizando prensaestopas acordes a dicho tubular, con el fin de conseguir un grado de protección del conjunto IP-66 como mínimo.

En el apartado 4.5.3 se explica con más detalle las características de los dos tipos de conductores citados anteriormente.

Las bornas a utilizar se recomienda sean del tipo mordaza aislados, de doble piso, con salida exclusiva para la derivación. Dichas bornas, al no generar el apriete mediante tornillos, garantizan siempre una continuidad eléctrica y permiten conectar la derivación a la fase que le corresponda. Se aconseja que la manguera multifilar disponga de conductor de toma de tierra es decir (R-S-T-N-TT), para lo cual la caja deberá también disponer de dichas bornas, debidamente identificables. Las dimensiones de la caja deben permitir la implantación de prensaestopas IP-66 y de cortacircuitos seccionadores de corte omnipolar.



**Figura 3.7 Borna de doble piso.**

Dimensiones	
Ancho	(mm) 35
Altura	(mm) 36
Largo	(mm) 50

**Tabla 3.8 Dimensiones de bornas.**

Estas bornas deben ir colocadas en el interior de una caja estanca de PVC libre de halógenos, con un grado de protección mínimo IP65 y resistencia al impacto IK08, según la Norma UNE-EN 60439-1-3. Sus características y dimensiones se pueden observar en la tabla 3.9 y en la figura 3.8.



**Figura 3.8. Cajas estancas para colocar bornas.**

Estas cajas también pueden ser utilizadas para colocar en su interior los correspondientes fusibles de protección, cuando no se dispongan dentro de las luminarias.

CAJAS ESTANCAS	
Grado de protección	IP55/IP65
Resistencia al impacto	Ik08
Resistencia al hilo incandescente	650°C
Grado de autoextinguibilidad	HB(UL94)
Estabilidad dimensional	-25°C+85°C
Presión de bola	70°
Norma aplicable	EN 60439-1-3

**Tabla 3.9. Características de las cajas estancas.**

En los circuitos de alumbrado permanente no autónomo o circuitos de alta seguridad, las cajas de conexión o derivación que se deben utilizar han de ser resistentes al fuego, puesto que deben mantener el servicio de la instalación en las condiciones más severas de incendio el máximo tiempo posible.

En la figura 3.9 se muestra una caja de este tipo. Dichas cajas deben cumplir con la Norma Europea E DIN 60998-2-5, con mantenimiento de función eléctrica (E90) según DIN 4102 Parte 12 con prensa estopas IP68. Las envolventes deben superar los ensayos establecidos en la norma IEC60670-22 (IP65).



**Figura 3.9. Caja de derivación para colocar bornas.**

### **3.4 Soportes de montaje de las luminarias**

Antiguamente las luminarias se instalaban en los túneles directamente sobre los hastiales o en el techo, ya fuera en la propia bóveda del túnel o en un falso techo que daba lugar a una galería en la parte superior.

Este tipo de sujeciones provocaban los siguientes problemas:

- Filtraciones en caso de túneles perforados en terrenos que contenían aguas subterráneas, lo cual es muy frecuente.
- Dificil alineación de las luminarias, por lo cual el aspecto visual era muy defectuoso.
- Imposible exactitud y repetitividad de la inclinación y orientación de las luminarias, a menos que se modificaran los ángulos según el relieve de la superficie sobre la que se anclaban las luminarias.
- Corrosión por par galvánico debida al contacto entre tortillería, soporte, luminaria y pared con posibles filtraciones, etc.

Actualmente las luminarias se montan con sus correspondientes soportes de inclinación sobre las propias bandejas de canalización de los cables eléctricos de alimentación, y con un exquisito cuidado para evitar pares galvánicos debidos a los distintos materiales que intervienen (bandejas de acero galvanizadas o zincadas, soportes de orientación de acero galvanizado o de aluminio y luminarias, que suelen ser de aluminio, pero también pueden ser de acero inoxidable, lo mismo que la tornillería).

Como precaución se deben utilizar arandelas o elementos aislantes (de material plástico, tal como poliamidas) entre los tornillos de acero inoxidable y los soportes de acero galvanizado o de aluminio, entre los propios soportes y las luminarias y entre los soportes y las bandejas.

Hay que recordar que la experiencia ha demostrado que el grado de corrosión, dependiendo del ambiente, puede llegar a provocar agujeros en el cuerpo de las luminarias; y tampoco

hay que olvidar la dificultad que existe para desmontar o montar los sistemas de soporte o las propias luminarias.

Los soportes de montaje de las luminarias deben permitir la inclinación variable de éstas según la sección del túnel y los cálculos del proyecto, así como garantizar su seguridad contra el aflojamiento de tornillos por vibraciones debidas al paso de los vehículos o al efecto pistón que se crea en los túneles.

### **3.5 Dispositivos de regulación del flujo luminoso y consumo de los puntos de luz**

Como ya se ha indicado en el Capítulo 2, al hablar de la determinación de los niveles de luminancia en la zona de umbral y en la de transición del túnel, lo idóneo es adaptar los niveles de iluminación en los distintos tramos a la curva de adaptación del ojo humano, existiendo dos formas para hacerlo, una a base de escalones de iluminación constituidos por distintos circuitos de alimentación a diferentes grupos de luminarias y otra mediante la variación del flujo luminoso individual o por grupos de luminarias. Para realizar esta función se emplean los dispositivos de regulación del flujo luminoso.

Los sistemas de regulación son elementos que permiten modificar ciertos parámetros eléctricos de la instalación para variar la intensidad luminosa que emiten las fuentes de luz y por tanto su consumo. Pueden hacerse actuar mediante órdenes directas, mediante control horario, en función de los niveles de luminosidad en las bocas de los túneles medidos con luminancímetro o por cualquier otro sistema factible.

Los avances desarrollados en los sistemas de control y regulación de las fuentes de luz aplicables a la iluminación de túneles aconsejan la adopción de algunos de los dispositivos ya existentes de forma prioritaria. Dada la flexibilidad de la regulación mediante estos dispositivos, se pueden adecuar a lo largo de todo el túnel los niveles de iluminación a la curva de adaptación del ojo humano de forma progresiva y continuada y no mediante saltos o escalones bruscos.

Por esta razón, en este apartado se recomienda el empleo de dispositivos que permiten la regulación progresiva del flujo luminoso y del consumo de las fuentes de luz. Tales dispositivos son:

- Balastos electrónicos regulables para lámparas de descarga (fluorescencia y sodio alta presión).
- Fuentes de alimentación regulables para LED.

No obstante hay que destacar que para poder utilizar este tipo de regulación debe existir un software de gestión implantado en el túnel, pues de no haberlo tan solo se podría adoptar la adaptación por escalones.

Los otros dos dispositivos citados en el Reglamento de Eficiencia Energética para la regulación de flujo luminoso de las luminarias, es decir, los balastos de doble nivel y los estabilizadores-reductores de cabecera de línea, pueden emplearse en los regímenes nocturno y nocturno reducido, en los que a lo largo de todo el túnel se conserva un mismo nivel de iluminación en todas las zonas.

Así, además de la obligación recogida en el REEIAE de regular el nivel de iluminación cuando las circunstancias así lo requieran pero sin alterar las uniformidades, es aconsejable que la regulación se realice mediante un software de gestión, de forma que la variación de los flujos luminosos se haga de un modo progresivo.

### 3.5.1 Normativa específica

Para los balastos de doble nivel, las normas aplicables en los ensayos para su certificación son:

- UNE-EN 61347-1 Dispositivos de control de lámparas. Parte 1: Requisitos generales y requisitos de seguridad.
- UNE-EN 61347-2-9 Requisitos particulares para balastos para lámparas de descarga (excepto lámparas fluorescentes).
- UNE-EN 60923 Balastos para lámparas de alta corriente de descarga. Prescripciones de funcionamiento.
- Estas normas se complementan con las especificaciones técnicas de AENOR EA-0004 y EA-0005.

Para los sistemas estabilizadores-reductores de cabecera de línea, definidos en ausencia de normas, se aplican las especificaciones técnicas publicadas por AENOR:

- EA-0032:2007 (Requisitos generales y de seguridad).
- EA-0033:2008 (Requisitos de funcionamiento).

Para los balastos electrónicos de potencia regulable, inicialmente estaba previsto que en una nueva edición de la Norma UNE-EN 50294 se fijaran las condiciones de medida para los conjuntos balasto-lámpara de alta corriente de descarga.

Esta iniciativa ha sido sustituida recientemente por un nuevo proyecto de Norma CEI:IEC 62442, bajo el título general: "Energy performance of lamp control gear". En su parte 2 se establece el método de medida para determinar la potencia total de entrada del conjunto lámpara-equipo asociado (para lámparas de alta corriente de descarga) y la eficiencia de estos equipos asociados.

### 3.5.2 Requisitos cualitativos

Los requisitos cualitativos que han de cumplir los sistemas de regulación son:

- En caso de fallo parcial o total del sistema, no debe verse afectado el funcionamiento del alumbrado hasta el punto de resultar apagado.
- Deben conservar la vida de los componentes de la instalación, sin causar anomalías en su funcionamiento y sin acortar su vida.
- Deben permitir conseguir la máxima eficiencia energética, reduciendo consumos al tiempo que se mantienen los valores cualitativos de la iluminación.
- Deben permitir la regulación flexible y progresiva del flujo luminoso de las fuentes de luz, sin escalones ni saltos fijos.
- Deben aportar la máxima fiabilidad, incluso en las condiciones ambientales más severas que se pueden dar en una instalación de alumbrado exterior.
- Deben garantizar del modo más seguro y rentable la inversión en estos sistemas para que no haya perjuicios económicos graves derivados de su mal funcionamiento.

### 3.5.3 Sistemas de regulación contemplados en el REEIAE

Como ya se ha citado, los tres sistemas que se recogen en el Reglamento de Eficiencia Energética son:

- Balastos de serie de tipo inductivo para doble nivel de potencia.
- Equipos estabilizadores-reductores en cabecera de línea.
- Balastos electrónicos de potencia regulable.



### 3.5.3.1 Balastos de serie de tipo inductivo para doble nivel de potencia

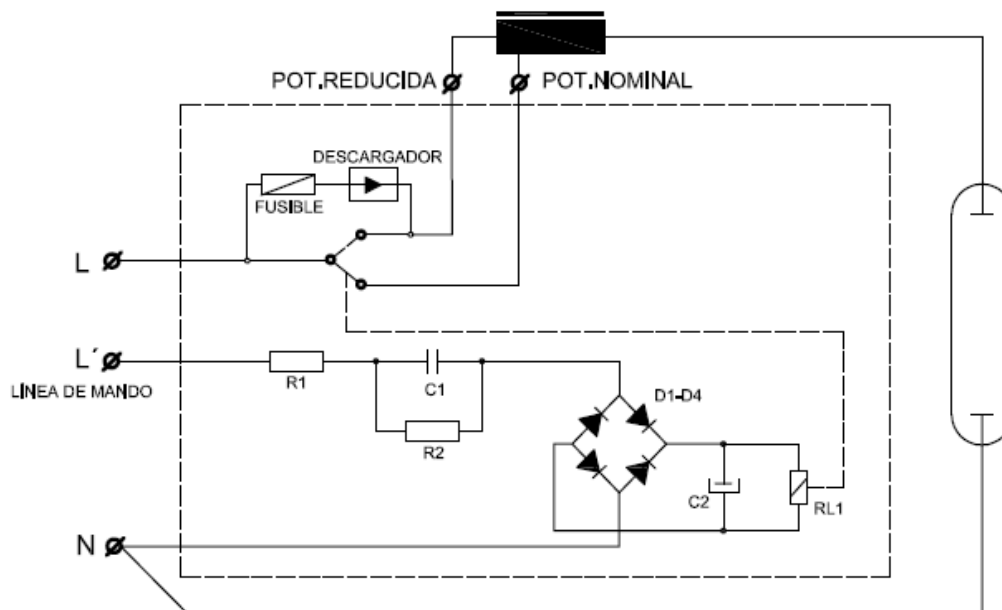
Los balastos de doble nivel se diseñan y construyen en una sola unidad, con un bobinado de dos tomas, a fin de obtener dos impedancias, una para cada nivel de iluminación (denominados régimen máximo y régimen reducido) y consecuentemente con consumos energéticos diferentes.

El cambio de régimen de iluminación se lleva a cabo mediante un relé y su correspondiente circuito de control, que incorpora elementos para mantener ininterrumpido el circuito de lámpara en el momento de la conmutación.

Cuando llega determinada hora de la noche en la que se pretende reducir el nivel de iluminación máximo existente en un túnel, se envía una orden de mando que inicia el cambio de régimen en uno u otro sentido. La orden de mando puede hacerse de una de las dos maneras siguientes:

- A través de una línea de mando constituida habitualmente por una manguera con dos conductores por la que se envía una señal de tensión para provocar el disparo del relé.
- De forma autónoma, si el dispositivo de conmutación incorpora un temporizador adecuado, programado para que se accione el cambio de régimen en una u otra hora de la noche o de la madrugada.

Un esquema eléctrico representativo de este sistema de balasto de doble nivel es el que se muestra en la figura 3.10.



**Figura 3.10. Balasto de doble nivel.**

Como se puede apreciar, la regulación del flujo luminoso, es decir, el paso del régimen máximo al reducido, se produce aumentando la impedancia del balasto inductivo y en consecuencia, disminuyendo la caída de tensión en la lámpara, por lo que se reduce la potencia, el flujo luminoso, y el consumo.

Hay que advertir que al introducir una impedancia mayor en el circuito, aumentan las pérdidas en el propio balasto, por lo que la reducción del consumo no es en ningún caso lineal con relación a la reducción del flujo luminoso.

Ventajas:

- Con este tipo de sistema de balastos de doble nivel, cuando se produce un fallo parcial o total, dado que está individualizado por punto de luz, la consecuencia se puede reducir como mucho al apagado de dicho punto de luz, y por tanto no afecta al funcionamiento total del alumbrado.
- Aportan una gran fiabilidad, dado que estos sistemas están compuestos por elementos muy robustos y económicos, como son los balastos inductivos y los condensadores (aunque siempre existen los relés como elemento más débil).
- El empleo de este sistema es unívoco con la lámpara, por lo que no hay problemas de incompatibilidad, dado que los equipos suelen acompañar a las lámparas.

Inconvenientes:

- Uno de sus mayores inconvenientes, desde el punto de vista de la eficiencia energética máxima que se exige, es que estos equipos no estabilizan la tensión de alimentación, por lo que ni protegen la vida de los componentes de la instalación ni ahorran energía como consecuencia de las sobretensiones.
- Debe tenerse en cuenta que la corrección del factor de potencia con este sistema precisa de un valor de capacidad diferente para cada nivel. Por tanto, se debe prever un circuito doble de conmutación independiente y simultáneo: uno para el bobinado del balasto y otro para el o los condensadores adicionales.
- Estos elementos son del tipo denominado “inductancia de choque” y por tanto se caracterizan por una regulación limitada, siendo muy sensibles a las variaciones de tensión de alimentación con respecto a la tensión nominal de diseño del balasto, por lo que su eficiencia energética es aceptable, pero no la más idónea. En las tablas 3.10 y 3.11 se muestran, con datos obtenidos en un ensayo real, las variaciones de los diferentes parámetros eléctricos, en función de la tensión aplicada al conjunto balasto-lámpara. Los ahorros previstos para el funcionamiento a nivel reducido, dependerán por tanto de la tensión de la red durante ese período.

POTENCIA NOMINAL (RÉGIMEN MÁXIMO)									
Lámpara V.S.A.P. 150 W									
Parámetros en red				Parámetros en lámpara				Pérdidas balasto (W)	Rendimiento (%)
U (V)	I (A)	$\lambda$	P (W)	U (V)	I (A)	$\lambda$	P (W)		
207 (-10%)	0,73	0,87	132	87	1,56	0,82	113	19	85,6
218,5 (-5%)	0,78	0,88	150	93	1,68	0,83	130	20	86,6
230	0,85	0,88	172	100	1,77	0,83	147	25	85,4
241,5 (+5%)	0,9	0,88	194	109	1,84	0,83	169	25	87,1
253 (-10%)	0,99	0,88	217	112	1,98	0,83	185	32	85,2

**Tabla 3.10. Variación de los parámetros eléctricos en función de la tensión.**

- El cambio “brusco” de las características eléctricas del circuito provoca un incremento también brusco de la tensión de arco, lo que puede producir el apagado en lámparas con un envejecimiento notable. Esto incide negativamente en la vida útil de las lámparas.
- Normalmente se alojan en el interior de las luminarias, lo que los hace poco apropiados para poder ser incorporados a una instalación de alumbrado ya existente, pues a veces las luminarias existentes no admiten el tamaño de estos equipos. Además, si se alojaran en luminarias cuyo fabricante original no certificase ni garantizase sus prestaciones, perdería el marcado N o similar. Tan solo en el caso de que las luminarias admitiesen el equipo con temporizador podría emplearse este en instalaciones ya existentes.

POTENCIA REDUCIDA (RÉGIMEN REDUCIDO)									
Lámpara V.S.A.P. 100 W									
Parámetros en red				Parámetros en lámpara				Pérdidas balasto (W)	Rendimiento (%)
U (V)	I (A)	$\lambda$	P (W)	U (V)	I (A)	$\lambda$	P (W)		
207 (-10%)	0,5	0,81	84	72	1,2	0,83	72	12	85,7
218,5 (-5%)	0,51	0,82	93	73	1,28	0,83	79	14	84,9
230	0,55	0,83	104	78	1,35	0,83	88	16	84,6
241,5 (+5%)	0,59	0,82	117	83	1,44	0,83	99	18	84,6
253 (-10%)	0,61	0,82	128	86	1,5	0,83	107	21	83,5

**Tabla 3.11. Variación de los parámetros eléctricos en función de la tensión.**

### 3.5.3.2 Equipos estabilizadores-reductores en cabecera de línea

Una definición de los equipos estabilizadores-reductores de flujo luminoso en cabecera de línea es la que se incluye en la Especificación AENOR EA-0032:2007:

*“Un equipo estabilizador de tensión y reductor de flujo luminoso en cabecera de línea es la combinación de uno o varios aparatos alimentados en baja tensión con sus correspondientes elementos de control, mando, medida, señalización, regulación, etc., completamente montados bajo la responsabilidad del fabricante del mismo, con todas sus conexiones internas, mecánicas y eléctricas así como sus elementos estructurales, cuyo funcionamiento consiste en la estabilización de la tensión de alimentación a una instalación de alumbrado y también la reducción del flujo luminoso emitido por las lámparas, con el fin de obtener un ahorro energético y que está instalado en la cabecera de la línea.”*

De entre las características técnicas propias de los equipos, destacan las funciones de estabilización y de reducción de flujo luminoso y de consumo eléctrico.

- Estabilización

La tensión de alimentación a los cuadros de alumbrado de las instalaciones es variable durante las horas de funcionamiento del alumbrado. En general, los alumbrados públicos trabajan con sobretensiones, lo cual representa además de sobreintensidades y por tanto un consumo mayor del previsto, un perjuicio importante para la vida de las lámparas, dado que ven acortada su vida en función de una mayor tensión de descarga.

Para no acortar la vida de las lámparas, es imprescindible que el arranque inicial de la descarga de las mismas se haga a tensión nominal o de red, porque el arranque a tensiones inferiores acorta mucho su vida y anula la garantía de los fabricantes. Inmediatamente después de haberse producido el cebado inicial, durante el régimen de arranque, la tensión se puede regular para compensar la punta de arranque que presentan todas las lámparas de descarga, y con ello permitir el dimensionamiento del equipo en base a la potencia nominal de la instalación, lo cual es importante por razones de rentabilidad. Con la tensión de red actual de  $230 \pm 7\%$  V, la función de estabilización es imprescindible en instalaciones existentes que poseen balastos de tensión nominal a 220 V.

- Reducción del flujo luminoso y del consumo eléctrico

La reducción del flujo luminoso de las lámparas mediante la reducción de la tensión de alimentación proporciona un ahorro energético, siendo éste función del valor de dicha tensión y de las horas de utilización del régimen reducido. Por ello, la optimización del ahorro energético y el funcionamiento óptimo de las lámparas exigen que, independientemente de la tensión de entrada a los equipos que debe ser adaptada a la red a la que se conectan, las tensiones de salida a nivel nominal y reducido deben adecuarse a la tensión nominal de los balastos de la instalación en la que se implanten.

Los equipos estabilizadores-reductores en cabecera de línea se pueden utilizar en instalaciones de túneles exclusivamente para alumbrado permanente y deben alojarse en armarios que satisfagan el grado de protección y de resistencia al impacto recogidos en el REBT.

### 3.5.3.3 Balastos electrónicos de potencia regulable

Los balastos electrónicos de potencia regulable son unos dispositivos formados por componentes electrónicos en su mayoría que hacen funcionar a las lámparas de descarga no a las frecuencias de la red (50 o 60 Hz), sino a frecuencias más elevadas, por lo que se denominaron en sus orígenes balastos de alta frecuencia. Sus características más importantes son la estabilización de la tensión de alimentación y la capacidad para poder regular el flujo y consumo de la lámpara.

Ventajas:

- Con este tipo de sistemas sucede lo mismo que con los balastos inductivos de doble nivel, es decir, en caso de un fallo individual el resto de la instalación no sufre las consecuencias, por lo que continúa funcionando sin problemas.
- Estos equipos estabilizan de forma muy correcta el funcionamiento eléctrico de las lámparas, por lo que se conserva la vida de los componentes de la instalación, sin inducir anomalías en su funcionamiento.

- Son sistemas que permiten conseguir la máxima eficiencia energética, en mayor medida que los balastos inductivos al reducir las pérdidas propias.
- Estos dispositivos permiten la variación progresiva y continuada del flujo luminoso de las lámparas y por tanto de su consumo, como ya ha sido suficientemente probado con los balastos electrónicos de las lámparas fluorescentes.
- Otra gran ventaja de los balastos electrónicos es la estabilización de potencias tanto en entrada (red) como en lámpara frente a variaciones de la tensión de red y en todos los regímenes de funcionamiento característica, imposible de lograr con los balastos inductivos convencionales de tipo choque.
- El flujo luminoso emitido por una lámpara, depende en cada momento, de la potencia consumida por dicha lámpara. En menor medida, este flujo emitido por la lámpara, depende de la frecuencia de la corriente a la que trabaja dicha lámpara. Se puede afirmar en base a la experiencia para la misma potencia eléctrica en lámpara, el flujo luminoso emitido por dicha lámpara trabajando en alta frecuencia es algo mayor, y esta es la razón por la que algunos balastos electrónicos han sido diseñados para hacer trabajar a las lámparas de vapor de sodio en alta frecuencia, con lo que se consigue una mayor eficiencia energética.

Inconvenientes:

- Su fiabilidad depende de la calidad de sus componentes, por lo que resulta crítica en cuanto a las condiciones ambientales exteriores, tales como temperatura, humedad o incluso descargas atmosféricas, dada la dispersión de los valores propios de algunos de dichos componentes.
- De la misma manera que los balastos inductivos de doble nivel, la utilización de los balastos electrónicos en instalaciones ya existentes es muy complicada, incluso más, ya que todas las luminarias no poseen ni la capacidad ni el grado de protección necesarios para poder alojarlos con garantía, aparte de tener que invertir una importante cantidad de dinero en las operaciones de reposición, al tener que acceder a cada punto de luz. Además habría que solicitar una nueva certificación de la luminaria con el nuevo equipo.

En las Recomendaciones para la iluminación de carreteras a cielo abierto, se describen con detalle las diferencias que existen entre los balastos electrónicos y los inductivos.

#### 3.5.3.4 Dispositivos de alimentación regulable para LED

Como se sabe, las luminarias provistas de fuentes de luz de estado sólido (es decir de LED), necesitan una fuente de alimentación que generalmente funciona a 12 o 24 V, con mayor profusión a 24 V. Estos dispositivos de alimentación, que convierten la tensión de red a la tensión necesaria para el buen funcionamiento de los LED, pueden ser regulables:

- Tanto en lo que se refiere a la intensidad de salida exclusivamente
- Como en lo que se refiere a la tensión de entrada y a la intensidad de salida en un mismo dispositivo.

En el primer caso, es decir, cuando tan solo se varía la intensidad de salida, mientras la tensión de red es de 230 V, la intensidad suministrada puede ser la nominal de funcionamiento de los LED, mayor o menor según se desee, con lo que la fuente de luz puede proporcionar un flujo luminoso mayor pero sobre todo menor que el nominal, al tiempo que se disminuye también el consumo. El accionamiento del dispositivo para que suministre intensidad menor de la nominal puede producirse generalmente mediante un temporizador, una señal de mando transmitida mediante un sistema de gestión simple o de

tipo DALI o DMX (más complejos de componentes y de cableado, pero más amplios de espectro).

En el segundo caso, es decir, cuando no solo se proporciona una intensidad de salida nominal variable, sino que el dispositivo también acepta que la tensión de entrada pueda variar, se podrá emplear en instalaciones existentes con luminarias con fuentes de luz tipo LED, no solo para el reemplazamiento de los sistemas ópticos obsoletos por otros más avanzados, sino incluso en aquellas instalaciones dotadas de sistemas de estabilización-reducción en cabecera de línea, pues a pesar de variar la tensión de alimentación en cabecera de línea, también los dispositivos de tensión de entrada variable funcionarán correctamente en el denominado “régimen reducido”.

Ventajas:

- En caso de fallo del dispositivo, sucederá lo mismo que con los balastos inductivos y los electrónicos, es decir, como mucho fallará un solo punto de luz, no toda la instalación.
- Estos equipos estabilizan de forma muy correcta el funcionamiento eléctrico de los diodos electroluminiscentes (LED), por lo que se conserva la vida de los componentes de la instalación, sin inducir anomalías en su funcionamiento.
- Son sistemas que permiten conseguir una buena eficiencia energética. Como dispositivos electrónicos permiten la estabilización del funcionamiento de los LED frente a variaciones de la tensión de red y en los dos regímenes de funcionamiento (nominal y reducido).
- El flujo luminoso emitido por un LED depende en cada momento de la intensidad que circula por él, por lo que permite la regulación progresiva del flujo luminoso y del consumo, condición muy determinante en el alumbrado de túneles.

Inconvenientes:

- Su fiabilidad depende de la calidad de sus componentes, por lo que resulta crítica en cuanto a las condiciones ambientales exteriores, tales como temperatura, humedad o incluso descargas atmosféricas, dada la dispersión de los valores propios de algunos de dichos componentes.
- No pueden emplearse con ninguna otra fuente de luz que no sean los LED, por lo que a menos que se reemplace el conjunto completo de fuente de luz, disipador térmico, sistema óptico y equipo, no se pueden utilizar en instalaciones ya existentes.

### **3.6 Distribución eléctrica**

Según la longitud del túnel, el esquema de alimentación incluye un cuadro de mando en una sola boca del túnel, o dos cuadros de mando, situados uno en cada boca, y si el túnel es muy largo (mayor de 1 Km.), será conveniente prever cuadros intermedios complementarios, por lo que se hace preciso un estudio muy detenido de la instalación.

#### **3.6.1 Distribución de alimentación principal**

##### **3.6.1.1 Cuadros de mando y medida**

Los sistemas de protección en las instalaciones de alumbrado público se ajustarán a lo preceptuado en las instrucciones ITC-BT-009 y ITC-BT-020. El equipo de medida necesario se instalará en el Centro de Mando y Medida siguiendo las directrices de la empresa distribuidora de energía eléctrica.

Se recomienda que la potencia contratada se ajuste a la necesaria para evitar sobrecostes en la factura eléctrica. El control de la potencia demandada normalmente se lleva a cabo

mediante el interruptor magnetotérmico (ICP), que interrumpe el suministro si la potencia demandada es mayor que la contratada. En el caso de alumbrado de túneles, por razones de seguridad, no se debe interrumpir el suministro eléctrico, por lo que este control se realiza mediante máxímetros, que son aparatos que registran la máxima potencia demandada durante un periodo de tiempo, de forma que la compañía eléctrica puede ajustar la factura, aplicando un recargo o un descuento, dependiendo de si la potencia demandada ha sido mayor o menor que la contratada respectivamente.

Se tendrá en cuenta el criterio de selectividad de intensidad en todo el conjunto de protecciones, con el fin de reducir al máximo la zona afectada por una anomalía y evitar que se genere la desconexión de todo el cuadro a la vez.

Salvo casos excepcionales de conexión directa, los equipos de medida estarán constituidos por el contador de energía activa que, en función del régimen de contratación podrá ser sustituido por el contador de discriminación horaria de doble o triple esfera, y el contador de energía reactiva.

Respecto a la maniobra, se preverá un accionamiento de los centros de mando y medida automático, incluido el alumbrado reducido, mediante la instalación de adecuados dispositivos de conexión y desconexión de la red de alumbrado público, teniendo así mismo la posibilidad de accionamiento manual. A tal efecto, el centro de mando y medida irá provisto de célula fotoeléctrica y reloj con conexión automática o dispositivo similar, como programadores electrónicos.

El encendido y apagado de la instalación se debe realizar desde los cuadros de mando, que se ubicarán en las aceras exteriores o locales interiores, en el caso de que se necesiten cuadro intermedios, con accesos independientes al tráfico rodado.

La envolvente del cuadro, según el REBT, proporcionará un grado de protección mínima IP55, según UNE 20.324, e IK10 según UNE-EN 50.102, y dispondrá de un sistema de cierre que permita el acceso exclusivo al mismo del personal autorizado, con su puerta de acceso situada a una altura comprendida entre 2 m y 0,3 m.

Los cuadros estarán compuestos por los elementos siguientes:

– ARMARIOS:

El conjunto de módulos que deben contener los equipos de medida, protección y maniobra, estará formado por un armario de 3 ó 4 cuerpos fabricados, preferiblemente, en chapa de acero (FE-111) de 3 mm de espesor y galvanizado en caliente por inmersión (Norma UNE 37.501); o fabricados en chapa de acero inoxidable ,tipo AISI-304 de 2 mm de espesor. Dicho armario dispondrá de:

- Tejadillo vierte aguas para protección contra la lluvia en caso de que el armario esté situado en el exterior del túnel.
- Cerraduras de triple acción con empuñadura antivandálica ocultables con soporte para bloqueo por candado.
- Llaves: Modulo Medida tipo IBC o la que especifique la Compañía Distribuidora; Modulo regulación, maniobra y protección JIS 20 o la que especifique la Demarcación de Carreteras.
- Cáncamos de transporte desmontables.
- Puertas con apertura de 90°.
- Opción: zócalo acero galvanizado o inoxidable, para instalación empotrada en los cimientos con anclaje reforzado y pernos M16.

- Opción: bancada de 300 mm de acero galvanizado o inoxidable para montaje de zócalo, con pernos inoxidable M16.

Las dimensiones del conjunto se indican en el Anejo 5; dependerán de la potencia contratada, número de circuitos, sistema de regulación y Compañía Suministradora.

Todas las partes metálicas del cuadro irán conectadas a tierra, de forma que las puertas estarán unidas eléctricamente al armario con trenzado de cobre y éste a Tierra con conductor de sección 35 mm<sup>2</sup> de sección.

Se considera que el armario podrá estar compuesto por cuatro módulos, que serán accesibles por puertas independientes:

- Módulo de acometida y equipo de medida.
- Módulo de Equipo regulación de flujo.
- Módulo de maniobra, protección y Comunicaciones.
- Módulo de sistema de alimentación ininterrumpida (SAI).

#### MODULO DE ACOMETIDA Y EQUIPO DE MEDIDA

El equipo básico que utilizaremos para una lectura directa (para potencias contratadas no superiores a 43,5kW) consistirá en dos cajas de doble aislamiento, una para la acometida de compañía y la otra para la medida propiamente dicha.

La caja de acometida dispondrá en unos casos de pletinas de cobre o bornas bimetálicas para la entrada de cables, y en otros casos posee protecciones de fusibles según normativa de la compañía eléctrica (caja general de protección).

La caja de medida incluirá tanto el contador electrónico como las protecciones y bornas de carril para la salida de cables hacia el alumbrado, según las especificaciones de la compañía.

El contador será multifunción electrónico (mide energía activa, reactiva y máxímetro por periodos, incorporando reloj interno y salida 485 o similar para tele-lectura). Se recomienda que dicho equipo sea de propiedad de la Compañía, con el fin de que cualquier anomalía, modificación en la programación, cambio de sistema tarifario etc., no sea responsabilidad del cliente.

Opcionalmente se puede incluir un elemento de corte o seccionador, o incluso un reloj de tarificación.

Se puede contemplar la opción MODEM GSM, para tele-lectura. Dicho equipo, será propiedad de la Compañía y en régimen de alquiler, considerando la opción de su posible implantación, en función del coste mensual del mismo y del coste de la energía. Se recomienda, previo estudio, su incorporación en todos los túneles cuyo consumo anual sea superior a 8.000 €. Este sistema permite un mejor control del consumo mensual y la elaboración de una curva de cargas real anual, ya que impide la estimación la toma de medidas erróneas por parte de la Compañía Distribuidora.

En aquellas instalaciones donde la potencia contratada sea mayor de 43,5 kW, se deben montar equipos de medida y protección con lectura indirecta mediante transformadores de intensidad. Estos transformadores se deben adaptar al calibre y a los requerimientos propios de la compañía.



## MÓDULO REDUCTOR ESTABILIZADOR

En todas las instalaciones de alumbrado con lámparas de VSAP, en las cuales el alumbrado permanente no disponga de reactancia electrónica ni de balastos de doble nivel, se deberá incorporar un estabilizador-regulador en cabecera de línea, para la regulación del flujo luminoso y la reducción de la potencia consumida del alumbrado permanente, según se indica en la ITC-EA-04 del Reglamento de Eficiencia Energética en Instalaciones de alumbrado exterior

La utilización del regulador de flujo tiene las siguientes ventajas:

- Ahorro energético, tanto por eliminación del sobre coste energético por tensiones de alimentación altas, como por permitir niveles de iluminación, de duración e intensidad prefijables por el usuario.
- Aumento de la duración y rendimiento de las lámparas, al no estar sometidas a imprevisibles variaciones de la tensión de alimentación, funcionar durante horas en régimen reducido y permitir que el encendido se haga de forma progresiva.
- Reducción de los costes de mantenimiento, ya que las lámparas duran más, con lo que se espacian las reposiciones y se reducen las averías de equipos auxiliares debidas a sobretensiones.
- Mejora de la calidad, los niveles de iluminación pueden ajustarse a distintos valores según sean las exigencias de la instalación o el periodo de uso. No hay exigencias de escalones prefijados.
- Facilidad de la instalación, de forma que al instalarse en cabecera no existe la necesidad de utilizar conductores auxiliares a cada punto de luz. Por tanto se puede montar tanto en instalaciones nuevas como en las que ya están en servicio.
- Regulación independiente por fases, debido a que actúan sobre la fase que sufre fluctuaciones.
- Seguridad y fiabilidad.

Para mayor seguridad en el servicio y facilidad de los trabajos de conservación, se incorporará un conmutador manual en el circuito de la potencia, con el fin de anular el regulador por avería o sustitución. En reguladores mayores de 45 KVA y con el fin de reducir las dimensiones del armario, este conmutador podrá incorporarse en el módulo de maniobra y protección.

## MÓDULO DE MANIOBRA, PROTECCIÓN Y COMUNICACIONES

En este módulo nos podremos encontrar con los siguientes elementos:

Comprenderá:

- Interruptor magneto térmico general de potencia (Curva ICPM)- IGA. El ICPM estará regulado en función de la potencia contratada según normativa de la Compañía. Se deberá considerar en el valor de la regulación, el incremento de potencia al proceder al arranque de las lámparas de descarga en gas (potencia del punto de luz x 1.5, durante 2-3 minutos) y la selectividad de intensidad, entre esta protección y las instaladas aguas abajo y que corresponden a las protecciones de los circuitos de salida.  
Este interruptor deberá ser del tipo de caja moldeada, de corte omnipolar y con un poder de corte o de ruptura no inferior a 25kA. Su calibre debe ser ajustable y determinado por la potencia instalada o por el número y calibre de las salidas de circuitos. En aquellos casos donde estemos limitados por el espacio, se puede sustituir por un interruptor del tipo modular de carril de calibre similar con poder de corte mínimo de 10kA.

- Equipo de protección contra sobretensiones y subtensiones permanentes. El montaje de este equipo es de obligada implantación, y desconectará la instalación en caso de generarse de forma permanente incrementos de tensión y reducciones de la misma según valores de parametrización reglamentarios.
- Equipo de protección contra sobretensiones transitorias clase II. Opcional según zona o situación.
- Protección magneto térmica y diferencial de los ramales de salida del cuadro. La protección contra cortocircuitos y sobre intensidades se realizará mediante magnetotérmicos de corte omnipolar, calibrados, en función de la intensidad máxima admisible por el conductor y de la de intensidad de cortocircuito, tanto a origen como a final de línea, así como del tiempo de apertura de dicho elemento protector. La protección contra contactos indirectos se realizará mediante relés diferenciales de reconexión automática, asociados a contactores de 4 polos, incorporando la posibilidad de regulación de la intensidad de defecto, tiempo de apertura y número de reconexiones. Se aconseja, que para mayor facilidad en la conservación, incorpore una pantalla indicadora del valor permanente de la intensidad de defecto. Se recomienda, que a efectos prácticos, la intensidad de defecto al que se regulen los relés diferenciales, no sea superior a los 300 mA (en función del valor de la toma de tierra) y su tiempo de disparo no supere 0,2 segundos.
- Selector MANUAL-CERO-AUTOMÁTICO (M-O-A). Se dispondrá de un selector en el circuito de maniobra, que permita conectar la instalación fuera del periodo de funcionamiento nocturno. Esta opción se utiliza en los trabajos de conservación y control. Se recomienda utilizar un selector por cada circuito de derivación, preferentemente cuando el número de puntos de luz sea superior a 40 unidades, con el objetivo de conectar únicamente el ramal en el que se halla la anomalía y conseguir una reducción del consumo de energía en horario diurno. Es práctica habitual, conectar todos los puntos de luz de un cuadro cuando se repara.
- Analizador. Se recomienda el montaje de un equipo analizador modular, de bajo coste, que comprenda como mínimo, la visualización de las siguientes magnitudes: tensión, intensidad, energía activa y reactiva, así como el factor de potencia. Deberá disponer de un modulo de comunicación protocolo modbus o similar, para futuras comunicaciones. La implantación de dicho equipo permite una adecuada puesta en marcha inicial de la instalación, así como facilitar las labores de conservación y de gestión energética.
- Protecciones de maniobra. Se utilizarán magnetotérmicos calibrados según normativa y relés diferenciales SI (súper inmunizados).
- Embarrado de distribución. Todas las conexiones de derivación a equipos de protección se realizarán a través de embarrado de distribución III + N, debidamente calibrado y protegido contra cortocircuitos, sobre intensidades y contactos directos.
- Punto de luz interior. Todos los armarios dispondrán de un punto de luz interior debidamente protegido, aconsejándose que el utilizado en el módulo de protección y maniobra este compuesto por un punto de luz autónomo de emergencia de 350 lúmenes y 1 hora de autonomía, mediante conexionado interno, que no permita su descarga, a menos que la puerta no se abra. Este criterio facilita las labores de conservación.
- Toma de corriente. Se dispondrá de una toma de corriente (tipo schuco II) de 16 A, debidamente protegida para una carga máxima de 1000 w.
- Reloj astronómico. El cuadro de mando debe disponer de un interruptor horario con programación astronómica digital y de una salida para una célula fotoeléctrica externa (opcional), para el accionamiento automático del alumbrado. El reloj astronómico se utiliza para la realización de los ciclos de encendido de nocturno y nocturno reducido, siendo éste parametrizable en función de las coordenadas del lugar.

- Contactos auxiliares. Con el fin de que sea fácil la implantación de las comunicaciones, todos los elementos de protección y maniobra (magnetotermicos, diferenciales, contactores, selectores etc.) tendrán un contacto auxiliar cableado y conectado a un módulo de regletas secciones, especiales para su adaptación a un autómata programable (PLC), o bien a un equipo de señalización de anomalías.
- Control apertura de puertas. Todas las puertas dispondrán de un final de carrera debidamente cableado y conectado al modulo de control.
- Módulos de ubicación de la paramenta. Se utilizaran módulos de doble aislamiento homologados para la ubicación de todos los elementos de protección descritos, consiguiendo una protección global IP-55.
- Entradas de conductores. Los conductores (mangueras multipolares) se introducirán a los módulos de doble aislamiento mediante prensaestopas IP-66, apropiados a su diámetro externo, con el fin de conseguir una estanqueidad total y evitar la entrada de polvo, roedores, ofidios, etc.
- Cableado. Todo el conductor a utilizar, tanto para potencia como para maniobra será flexible de 750V., no generadores de humos opacos ni halógenos. Las secciones de potencia no serán en ningún caso inferiores a 16mm<sup>2</sup>, y 1.5 mm<sup>2</sup> para las de maniobra. Se utilizaran colores normalizados; todas las puntas de conductores dispondrán de terminal de punta y anilla señalizadora.
- Control de gestión energético. Con el fin de visualizar las magnitudes eléctricas del conjunto de las instalaciones y poder analizar y racionalizar los consumos de energía y calcular los ratios que permitan optimizar dichos consumos, el conjunto del túnel se sectorizará en los siguientes subembarrados:
  - Embarrado principal general: El analizador de este embarrado incorporará un maxímetro y, alarmas de máximos y mínimos, entre otras.
  - Subembarrado de alumbrado de refuerzo en bocas (dos unidades en caso de doble tubo).
  - Subembarrado de alumbrado interior (dos unidades en caso de doble tubo).
  - Subembarrado de alumbrado exterior.
  - Subembarrado de ventilación (dos unidades en caso de doble tubo).
  - Subembarrado de grupos electrógenos.
  - Subembarrado de salida de circuitos con SAI.
  - Subembarrado de servicios sin SAI.

Incorporando en cada uno de ellos un analizador con modulo de conexión modbus y un equipo de gestión remoto, para llevar a cabo la gestión energética centralizada.

- Módulo de comunicaciones. Con el fin de poder gestionar de modo centralizado desde un punto, el cuadro de mando puede prepararse para la instalación de una unidad de comunicaciones que controle el estado del mismo, registrando diferentes parámetros eléctricos y las alarmas producidas.

De esta forma, la unidad de control realiza la lectura de medidas eléctricas por medio de transformadores de intensidad y con tomas de tensión que son analizadas, registradas y previamente convertidas en otras magnitudes, tales como intensidades, tensiones, potencias, factores de potencia y energías consumidas.

Este dispositivo también detecta diferentes estados de elementos que participen en la maniobra o protección del alumbrado. Para ello dispone de un número reducido de entradas digitales que le permite llevar el control de alarmas, de estados de diferentes protecciones y otros elementos, como contactores, intrusismo por apertura de puerta, accionamiento manual, etc.

Como unidad de mando, si disponemos de regulador-reductor de tensión, el sistema tiene un circuito para la activación de la reducción.

Estos equipos tienen la posibilidad de comunicarse a distancia vía telefónica, para ello se sirve de un modem telefónico tipo GPRS, interno o externo, este último con alimentación independiente y conectado con la unidad de control vía RS-232.

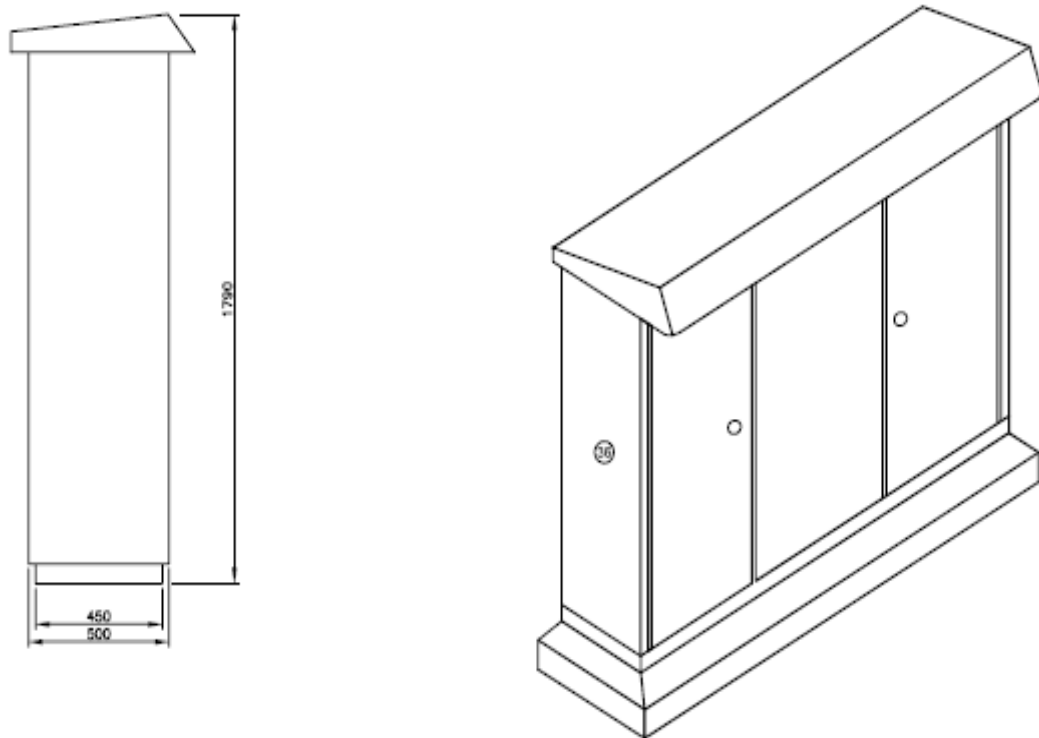
El sistema de comunicaciones permite realizar el control energético del alumbrado, optimizando los encendidos y apagados, realizando el mando y control del sistema de ahorro instalado, analizando permanente y dinámicamente los parámetros eléctricos y permitiendo realizar estadísticas del consumo y del ahorro conseguido de todas las instalaciones.

- Previsión equipo de control o comunicaciones con unidad central. Se preverá un espacio para la ubicación de dicho equipo, así como la centralización de las señales de control y maniobra del conjunto de los equipos que se han gestionar.

#### MODULO DE SISTEMA DE ALIMENTACIÓN ININTERRUMPIDA (SAI)

Al diseñar la instalación, se debe incluir un dispositivo que permita la alimentación permanente de ciertas luminarias en caso de que se produzca un fallo del suministro eléctrico. Dicho dispositivo es un sistema de alimentación ininterrumpida (S.A.I.)

Los cuadros de mando deben prever un espacio para la colocación del SAI. En el apartado 3.6.2.1 se explica con más detalle el papel que desempeña dicho sistema.



**Figura 3.11. Cuadro de mando.**

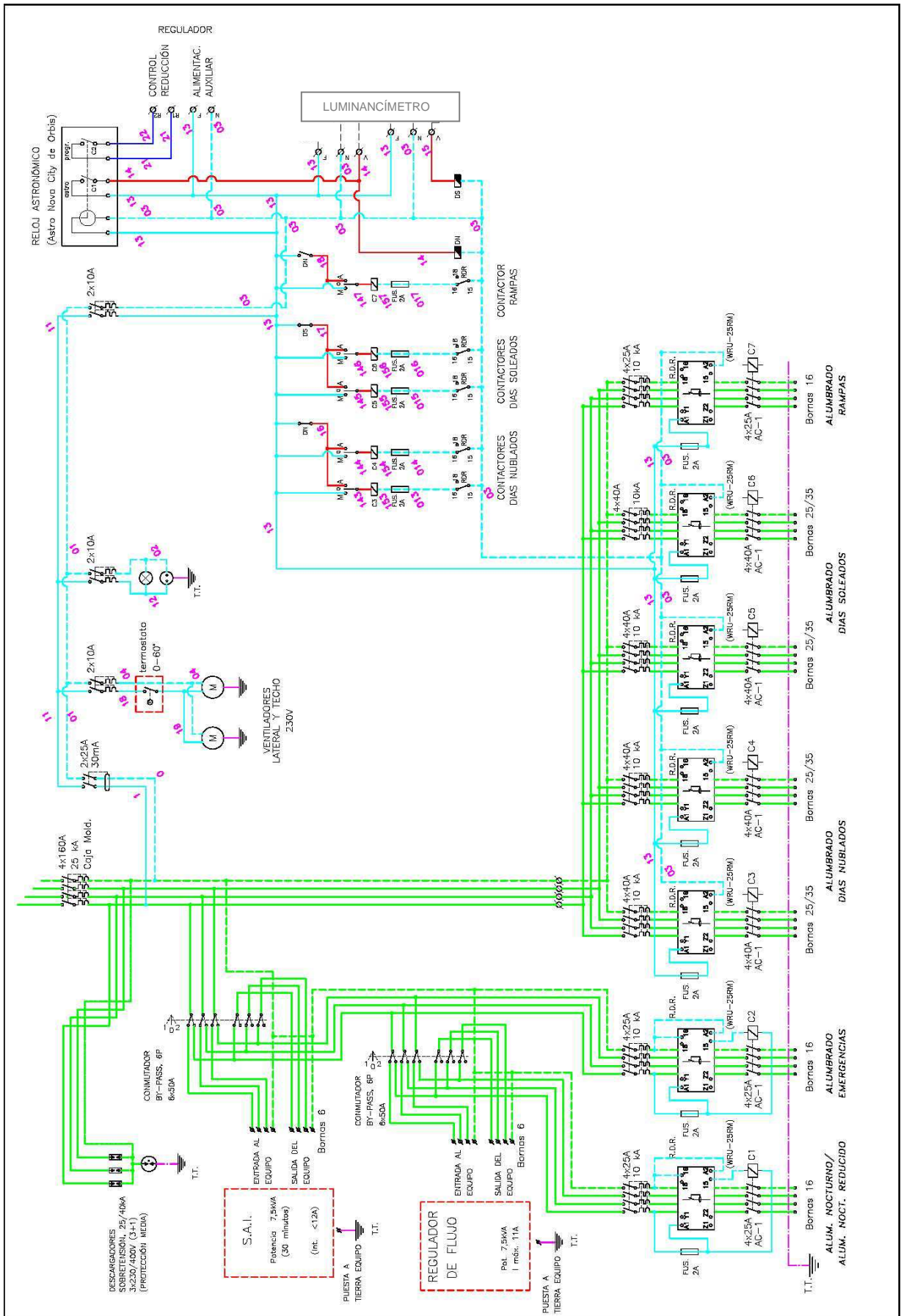


Figura 3.12. Esquema Unifilar de un centro de mando.

### 3.6.1.2. Circuitos eléctricos

Al proyectar la iluminación de un túnel debemos realizar una distribución eléctrica similar a la que se ve reflejada en el esquema eléctrico de la figura 3.12, donde los circuitos eléctricos planteados sean los siguientes:

- Alumbrado soleado.
- Alumbrado nublado.
- Alumbrado crepuscular.
- Alumbrado interior o permanente.
- Alumbrado interior en régimen nocturno.
- Alumbrado interior en régimen reducido.

Opcionalmente y en función del nivel y potencia del alumbrado de refuerzo de las bocas, podrá excluirse el denominado “crepuscular”.

Además, para poder obtener un mejor rendimiento de nuestra instalación, se pueden utilizar los sistemas de control y comunicaciones, que permiten que exista una alimentación común a todas las luminarias del túnel. De esta forma, es el propio sistema de gestión y control el que ordena a cada luminaria o circuito en qué régimen de iluminación debe funcionar.

En lo que concierne al número de puntos de luz por circuitos y sistema de conexionado, se tendrá en cuenta lo siguiente:

- En los circuitos de soleado, nublado y crepuscular el número de puntos de luz a conectar por circuito no debería exceder de 18 unidades y la potencia máxima del circuito debería ser inferior a 8.500 W, con el fin de conseguir que las secciones interiores de alimentación no impidan una adecuada conexión en el interior de las cajas de derivación y protección, así como una mejor sectorización.
- En los circuitos de alumbrado interior o permanente, y puesto que su potencia unitaria se entiende que será inferior a los circuitos de soleado, nublado y crepuscular, se recomienda que el número de puntos de luz por circuito sea inferior a 27 unidades o que la potencia conjunta del circuito sea inferior a 3.000 W.
- Para adaptar el alumbrado interior a las condiciones de alumbrado nocturno, se recomienda que en el caso de utilizar LEDS se realice la adaptación de los niveles medios mediante regulación por bus. En caso de utilizar lámparas de sodio o de descarga en gas, la reducción se llevará a cabo mediante equipos que permitan su regulación y adaptación. Asimismo, se recomienda que el conexionado de los puntos de luz se haga en circuitos alternativos.

Las características de los conductores de distribución eléctrica del conductor interior, de la caja de conexión o derivación y de la bandeja metálica están recogidas de forma más detallada en los apartados 3.3.3 y 4.5.

Si se analizan en detalle las salidas del centro de mando de la figura 3.12., se puede observar que el centro de mando lleva incorporado un interruptor general del cual salen los circuitos que componen la instalación. Los citados circuitos de salida irán provistos de un relé diferencial rearmable y regulable tanto en sensibilidad como en retardo y con reconexión automática, un interruptor automático tetrapolar con curva en C, un contactor tetrapolar y un interruptor manual del calibre necesario en función de las potencias de salida.

Como se indica en el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión, la intensidad de defecto, umbral de desconexión de los interruptores diferenciales, será como máximo de 300mA. Se pueden utilizar interruptores diferenciales de intensidad máxima de 500mA o 1 A

si la resistencia de puesta a tierra medida en la puesta en servicio de la instalación es inferior o igual a  $5\Omega$  y a  $1\Omega$ , respectivamente.

### 3.6.2 Alimentación de alumbrado sin corte

#### 3.6.2.1 Sistema de alimentación ininterrumpida (S.A.I)

Anteriormente se han mencionado los distintos circuitos de alumbrado que se necesitan para iluminar un túnel cumpliendo las exigencias planteadas y proporcionando la seguridad necesaria para su correcta utilización. Dicha distribución debe contar con alumbrado que funcione en caso de que se produzca un fallo en el suministro eléctrico. Por ello, en cada centro de mando se debe instalar un sistema de alimentación ininterrumpida (S.A.I.) que permita el funcionamiento de ciertas luminarias en el mismo instante en el que se produce un fallo de red.

Esta instalación debe estar diseñada para que el alumbrado sin corte, o lo que es lo mismo el alumbrado de emergencia de evacuación, estén alimentados por el S.A.I, tal y como se muestra en la figura 3.12.

El sistema de alimentación ininterrumpida, SAI o UPS (Uninterruptible Power Supply), es un dispositivo que gracias a sus baterías, puede proporcionar energía eléctrica tras un corte en el suministro eléctrico a todos los dispositivos que tenga conectados.

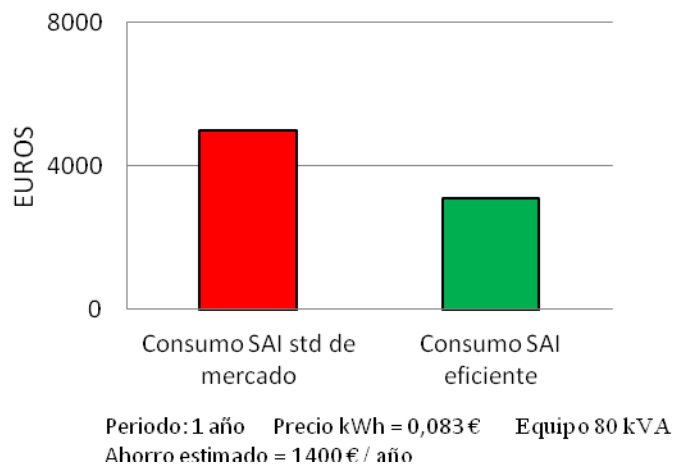
El papel del Ups es suministrar potencia eléctrica en ocasiones de fallo de suministro, en un intervalo de tiempo "corto", hasta que comiencen a funcionar los sistemas aislados auxiliares como son el grupo electrógeno o la acometida de socorro.

Muchos de estos equipos tienen otras prestaciones que permiten corregir otros fallos de suministro:

- Corte de energía: Pérdida total de la tensión de entrada.
- Sobretensión: tiene lugar cuando la tensión supera el 110% del valor nominal.
- Caída de tensión: cuando la tensión es inferior al 85-80% de la nominal.
- Picos de tensión.
- Ruido eléctrico.
- Inestabilidad en la frecuencia.
- Distorsión armónica total de corriente de entrada (THDI) del 3%.
- Factor de potencia  $>0,99$ .
- Rectificador y ondulator a alta frecuencia (HF) mediante transistores IGBT (como se muestra en la figura 3.11).
- Alto rendimiento  $>92\%$ .
- Sistema inteligente de carga de baterías (Batt-Watch).

A la hora de elegir el SAI correspondiente para la instalación, se debe tener en cuenta el consumo energético del propio equipo, puesto que algunos proporcionan mayor ahorro energético, y por tanto económico, que otros. Esto se puede observar en la figura 3.13, que se muestra a continuación.

## Mayor ahorro económico



**Figura 3.13. Consumo energético de los SAI.**

### 3.6.2.2 Grupo Electrónico

Anteriormente se ha indicado la conveniencia de realizar un sistema de doble acometida de distintas compañías o la utilización de dos transformadores distintos de la misma compañía, para alimentar a cada centro de mando colocado en el túnel. En la actualidad las posibilidades de que se den estas circunstancias son muy escasas, por ello se recurre a la utilización de un grupo electrónico como alternativa para cubrir los suministros de emergencia.

Un grupo electrónico es una máquina que mueve un generador eléctrico a través de un motor de combustión interna. Se suelen utilizar cuando hay déficit en la generación de energía eléctrica o cuando son frecuentes los cortes del suministro eléctrico.

En este caso el grupo electrónico comenzaría a funcionar cuando se produzca un fallo de red proporcionando suministro eléctrico a los servicios esenciales del túnel. Este sistema se utilizará hasta que se restablezca el suministro normal de la red eléctrica.

Como se ha indicado en el apartado 3.6.2.1., en el instante en que se produce el corte del suministro eléctrico, el SAI es el encargado de suministrar potencia eléctrica durante un tiempo determinado, que debe coincidir por lo menos con el tiempo de arranque y estabilización del grupo electrónico, puesto que es el grupo el que realmente se debe utilizar como fuente auxiliar de energía eléctrica.

Un grupo electrónico consta de las siguientes partes:

- **Motor.** El motor es la fuente de energía mecánica para que el alternador gire y genere electricidad. Existe dos tipos de motores: de gasolina y de gasoil (diesel). Los motores diesel son los más utilizados en los grupos electrónicos por sus prestaciones mecánicas, ecológicas y económicas.
- **Regulación del motor.** Es un dispositivo mecánico diseñado para mantener una velocidad constante del motor con relación a los requisitos de carga. La velocidad del motor está directamente relacionada con la frecuencia de salida del alternador.



- Sistema eléctrico del motor. El sistema eléctrico del motor es de 12 V o 24 V, negativo a masa. El sistema incluye un motor de arranque eléctrico, una o varias baterías y los sensores y dispositivos de alarmas de los que disponga el motor. Normalmente, un motor dispone de un manocontacto de presión de aceite, un termocontacto de temperatura y de un contacto en el alternador de carga del motor para detectar un fallo de carga en la batería.



**Figura 3.14. Grupo electrógeno estático estándar.**

- Sistema de refrigeración. El sistema de refrigeración del motor puede ser por medio de agua, aceite o aire. El sistema de refrigeración por aire consiste en un ventilador de gran capacidad que hace pasar aire frío a lo largo del motor para enfriarlo. El sistema de refrigeración por agua/aceite consta de un radiador y un ventilador interior para enfriar sus propios componentes.
- Alternador. La energía eléctrica de salida se produce por medio de un alternador apantallado, protegido contra salpicaduras, autoexcitado, autorregulado y sin escobillas, acoplado con precisión al motor; también se pueden acoplar alternadores con escobillas para aquellos grupos cuyo funcionamiento vaya a ser limitado y que en ningún momento vayan a estar forzados a regímenes mayores.
- Depósito de combustible y bancada. El motor y el alternador están acoplados y montados sobre una bancada de acero de gran resistencia. La bancada incluye un depósito de combustible con una capacidad mínima de 8 horas de funcionamiento a plena carga.
- Aislamiento de la vibración. El grupo electrógeno está dotado de tacos antivibratorios, diseñados para reducir las vibraciones transmitidas por el grupo motor-alternador. Estos aisladores están colocados en las bases del motor, del alternador, del cuadro de mando y de la bancada.
- Silenciador y sistema de escape. El silenciador va instalado en el motor para reducir la emisión de ruido.
- Sistema de control. Se puede instalar uno de los diferentes tipos de paneles y sistemas de control que existen para controlar el funcionamiento y salida del grupo y para protegerlo contra posibles fallos en el funcionamiento. El manual del sistema de

control proporciona información detallada del sistema que tiene instalado cada grupo electrógeno.

- Interruptor automático de salida. Para proteger al alternador, se suministra un interruptor automático de salida adecuado para el modelo y régimen de salida del grupo electrógeno con control manual. Para grupos electrógenos con control automático, se protege el alternador mediante contactores adecuados para el modelo correspondiente y el régimen de salida previsto.



**Figura 3.15. Grupo electrógeno insonorizado.**

### 3.6.2.3 Cuadro de conmutación red-grupo

En la instalación se debe colocar un cuadro eléctrico de emergencia para el control de la red y el grupo electrógeno, con protección de red.

Dicho cuadro dispone de una centralita electrónica (figura 3.16) que se encarga de medir y analizar la red eléctrica existente y gestiona el arranque y parada de un generador de emergencia en caso de fallo de red, activando el sistema de emergencia (Grupo).



**Figura 3.16. Cuadro de conmutación red-grupo.**

La centralita electrónica detecta la calidad de energía o el fallo de la misma, inmediatamente gestiona el arranque del grupo de emergencia y lo acopla a la red destinada a ello, quedando la parte de la red de compañía suministradora desconectada automáticamente

por un contactor de potencia. Así mismo, la vigilancia de la centralita detecta la presencia de red urbana y hace desconectar la red-generador y posiciona en espera el sistema un tiempo predeterminado por la centralita y dará la orden de que el generador se apague y quede en reposo; no obstante la centralita seguirá vigilando la calidad de energía de red.

Con la ayuda de los esquemas unifilares mostrados en la figura 3.17 y figura 3.18, se puede entender mejor el funcionamiento del grupo electrógeno y del cuadro de conmutación.

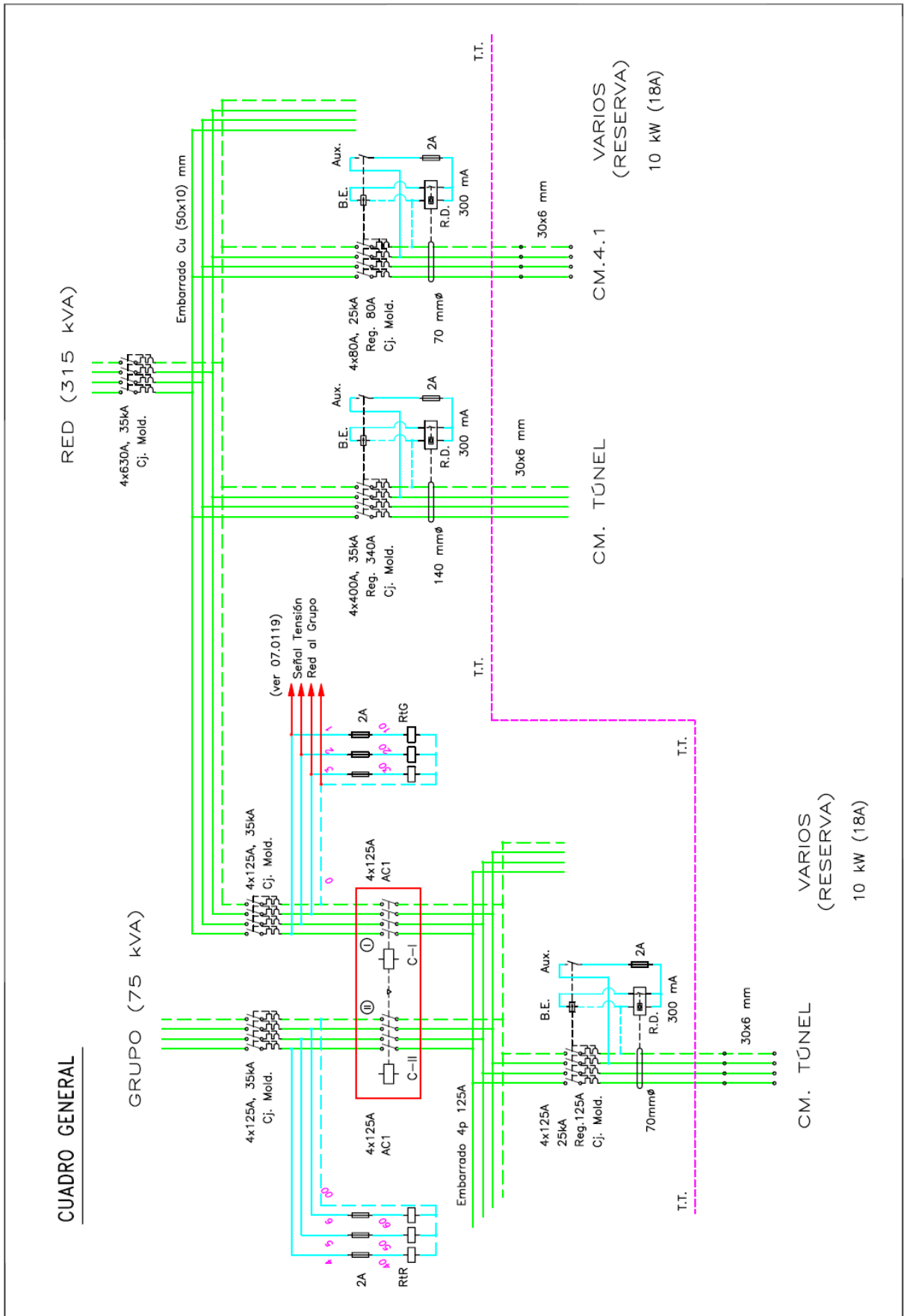


Figura 3.17. Esquema unifilar del cuadro de conmutación .(fuerza).

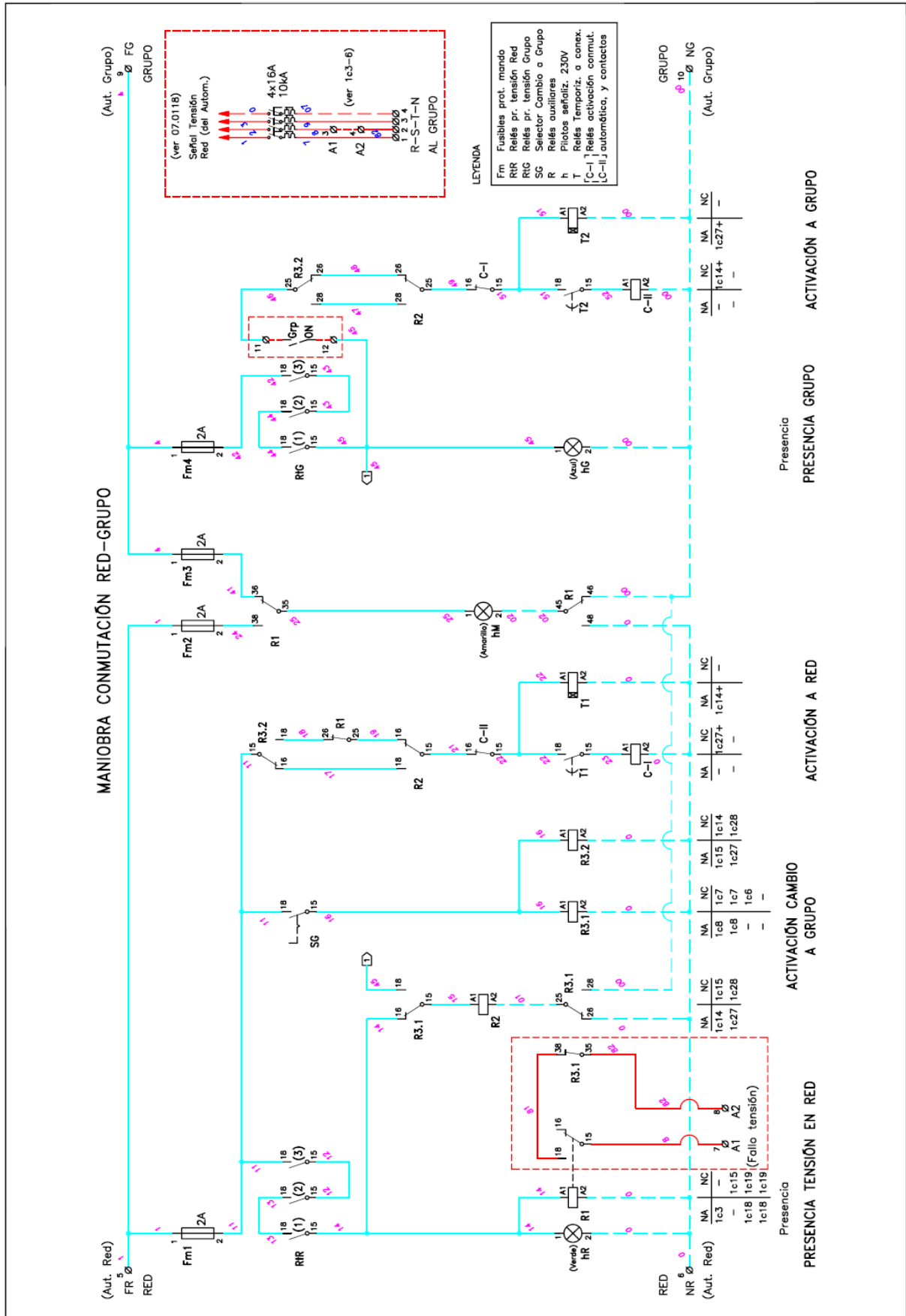


Figura 3.18. Esquema unifilar cuadro de conmutación (maniobra).

### 3.6.3 Alumbrado de emergencia de evacuación en caso de incendio

Tal y como se ha comentado anteriormente, la instalación eléctrica de un túnel está compuesta por diversos circuitos que iluminan los diferentes tramos de dicho túnel, y entre los cuales hay que destacar por su importancia el alumbrado de emergencia de evacuación en caso de incendio.

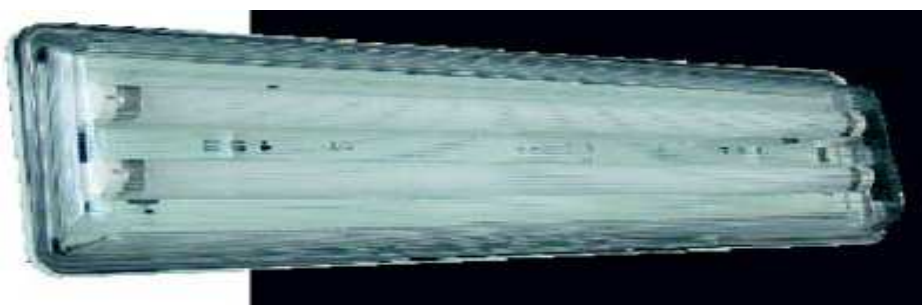
En los túneles considerados largos (longitud mayor de doscientos metros -200 m-) y en los cortos con un trazado tal que no sea visible una de las bocas desde alguna posición dentro del túnel, se debe disponer de un sistema que garantice un alumbrado de emergencia de 1 lux en caso de interrupción del suministro de energía eléctrica.

El alumbrado de emergencia a instalar debe ser de tipo estanco, estar situado a una altura no superior a 1,50 m sobre el nivel del suelo e instalado como se ha indicado en el apartado 3.6.1.2 (el alumbrado de emergencia irá colocado en el hastial más exterior del túnel, de forma que el circuito correspondiente discurrirá por la bandeja metálica colocada a lo largo de dicho hastial; de esta forma, se colocará la caja de conexión de cada luminaria de emergencia en la vertical donde está situada cada unidad luminosa; desde la citada caja se deriva con conductor de cobre de 3x2.5 mm<sup>2</sup> hasta acometer a la luminaria correspondiente. Debería tener también una resistencia al fuego de 2 horas.

Si se utiliza una caja de derivación para diferentes luminarias de emergencias, como se ha explicado en la distribución continua, se colocará dicha caja en un punto más equidistante para poder derivar a todas las luminarias del grupo.

No se debe olvidar, que como se ha indicado en el apartado 3.6.2.1., el alumbrado de emergencia debe estar alimentado por el S.A.I, ya que es considerado como un alumbrado sin corte. Esto se puede observar más claramente en el esquema unifilar de la figura 3.17.

Al elegir las luminarias para el alumbrado de emergencia, se debe considerar que éstas tengan la posibilidad de llevar lámparas del tipo de doble tubo de descarga, que garanticen un encendido instantáneo y una vida útil superior a treinta mil (30.000) horas.



**Figura 3. 19 Luminaria de emergencia.**

### 3.7 Control y gestión de la instalación

Hasta la aparición de los nuevos sistemas de gestión y control, la forma de controlar el estado y condición de los diferentes componentes de la instalación de alumbrado ha sido siempre la de la vigilancia por medios humanos, incluida la colaboración ciudadana para detectar fallos o anomalías.

Sin embargo, en los últimos años uno de los ámbitos donde más ha avanzado la tecnología es precisamente el relativo al control y gestión de las instalaciones, que es el camino para hacer que una instalación sea “inteligente”, es decir, tenga capacidad para ser gestionada automáticamente o incluso de forma remota mediante un ordenador, llevando a cabo las acciones que procedan en función de las necesidades que se pueden plantear en una instalación de alumbrado en tiempo real.

Las instalaciones de iluminación de los túneles se deben integrar en los programas de gestión centralizada de los túneles, y si este no existe, por tratarse de un túnel que no lo requiriera, se controlará en modo remoto mediante autómatas.

En ambos casos el sistema cumplirá con todas las funciones que se exigen del mismo, que son:

- Alarmas de seguridad por acceso indebido a la instalación eléctrica (cuadros, cajas de derivación, etc.).
- Control del número de horas en que ha estado funcionando un determinado punto de luz o todos los que componen la instalación.
- Control de características eléctricas de los puntos de luz.
- Posibilidad de conmutar u ordenar la conmutación de un régimen (días soleados, nublados, crepuscular y noche) de iluminación a otro.
- Control de la potencia instantánea y consumos energéticos.

#### 3.7.1 Requisitos cualitativos

Los requisitos cualitativos que deben satisfacer los sistemas de control y gestión son los necesarios para asegurar el funcionamiento de una instalación que se integra en un sistema (túnel) constituido por una serie de instalaciones cuya misión es asegurar las condiciones de seguridad en el túnel en todo momento y frente a los incidentes que puedan ocurrir. En condiciones normales, el sistema de control se encargará de mantener la iluminación en los niveles lumínicos adecuados, como ya se ha indicado en los apartados anteriores. En caso de incidente, se encargará de que la iluminación siga las pautas que figuran en el programa de gestión centralizada del túnel. Los requisitos más importantes que deben cumplir son los siguientes:

- Deben captar y transmitir la mayor cantidad de información posible sobre las características eléctricas de los componentes de la instalación, de manera que las mismas se conozcan en tiempo real.
- Deben permitir la ejecución de acciones encaminadas a hacer funcionar cada punto de luz o conjunto de puntos de luz, de acuerdo con los regímenes establecidos o con las pautas del sistema de gestión.
- Debe informar del intrusismo en la instalación, ya sea en un centro vital o en cualquier punto de luz, informando en tiempo real.
- Su empleo debe posibilitar la mejora y abaratamiento de las tareas de mantenimiento, reduciendo los tiempos de reparación y los períodos durante los que permanecen apagados los puntos de luz.

- Debe registrar las variaciones de la tensión de suministro para que, en caso de superar los valores autorizados por el Reglamento de Verificación, se puedan detectar las sobretensiones/subtensiones y actuar en consecuencia.
- No debe producir fallos en la instalación como consecuencia de un fallo del propio sistema.
- Debe poseer protocolos de comunicación abiertos, de manera que no creen dominios cautivos para los usuarios.
- Debe poder emplearse, sobre todo, en instalaciones ya existentes.
- Debe controlar la potencia instantánea y el consumo energético.

### 3.7.2 Tipos más importantes de sistemas de control y gestión

De la misma manera que en la iluminación vial a cielo abierto se regula el nivel lumínico en función de la hora del día y se fijan las horas de encendido y apagado en función de la época del año, en el caso de los túneles es aún más necesario regular también los niveles lumínicos, no solo en determinadas horas de menos tráfico, sino también en función de la luz natural que haya en el exterior del túnel. Por consiguiente, a diferencia de la iluminación vial a cielo abierto, los túneles presentan tres particularidades, que son:

- Deben estar iluminados también durante el periodo diurno.
- Debe regularse la iluminación de las zonas umbral y transición en función del nivel lumínico exterior.
- En caso de un incidente detectado por alguno de los sistemas del túnel, se deben modificar los niveles lumínicos en función del protocolo y de forma automática.

Estas particularidades obligan a utilizar, además de los elementos de control establecidos en iluminación vial a cielo abierto, como son los relojes astronómicos y los sistemas de control centralizado, otros elementos de control complementarios que permitan medir la luminancia exterior en ambas bocas del túnel (luminancímetros de mando), y también otros parámetros del túnel (temperatura, opacidad, etc.).

El principal sistema de control es el sistema de gestión centralizada del túnel, donde la regulación puede hacerse por grupos de luminarias o punto a punto.

#### 3.7.2.1 Sistema de gestión centralizada

Como ya se ha indicado antes, en este sistema se integran todas las instalaciones y elementos de control del túnel y su misión es procesar todas las señales recibidas de las diferentes instalaciones y dictar las órdenes de acuerdo con los protocolos de actuación para cada situación. Normalmente, el sistema funciona automáticamente con la supervisión continua de un controlador.

En caso de un incidente en el túnel el sistema envía sus alarmas y prevé un tiempo de reacción del controlador para que este pueda abortar el inicio de las actuaciones si observara que se trata de una falsa alarma. Pasado este tiempo el sistema actuará de forma automática.

El sistema de gestión centralizada consta de los siguientes elementos:

- Unidad central de proceso: Es la que contiene el programa informático que procesa las señales que recibe de los diferentes sistemas (instalaciones) y a su vez emite las órdenes de actuación.
- Unidad de cuadro de alumbrado: Es donde se ubican físicamente las instalaciones de mando, control y seguridad de las líneas de distribución eléctricas.



- Unidad central de comunicaciones: Es la unidad encargada de concentrar todas las señales de las diferentes instalaciones (incluida la de iluminación) y enviarlas a la unidad central de proceso. También es la encargada de recibir las órdenes de la unidad central de proceso y reenviarlas a las diferentes instalaciones como la unidad de cuadro de alumbrado. Esta unidad central de comunicaciones tiene a su vez unos protocolos de actuación propios para el caso de fallo de las comunicaciones con la unidad central de proceso, que le permiten funcionar en forma remota.

En el cuadro de alumbrado se ubican dos elementos que pueden en algunos casos estar incluidos en uno solo o ser elementos diferentes:

- Módulo de Comunicaciones.
- Analizador de redes.

El módulo de comunicaciones constituye el corazón del sistema y asume las siguientes funciones:

- Recoge las señales de la instalación y las envía a la unidad central de comunicaciones donde a su vez se remiten al programa de gestión centralizada (alarmas, potencias, consumos, niveles lumínicos, etc.).
- Asimismo recibe órdenes para modificar los regímenes de la iluminación o reprogramar los parámetros de control y funcionamiento.
- Puede realizar las funciones de reloj astronómico.
- Como se ha indicado antes, este terminal dispone de un protocolo propio para el caso de fallo de las comunicaciones con la unidad central.

El analizador de redes debe ser capaz de medir por cada fase y en verdadero valor eficaz, parámetros tales como tensión de entrada, corriente o potencia activa y a partir de los mismos, disponer de los elementos de cálculo para el factor de potencia y la potencia reactiva; así como para la energía activa y reactiva. Sus señales son recibidas por el terminal de telecontrol.

Es imprescindible que tanto el analizador como la terminal de telecontrol se comuniquen con la unidad central de comunicaciones y para ello los protocolos de comunicaciones deben ser compatibles.

Además de lo indicado para la regulación, existen otros elementos que forman parte del sistema general de control y de los que por su importancia merece la pena destacar:

- Los interruptores horarios (relojes), que hasta la evolución actual de los mismos (relojes astronómicos), provocaban que al producirse pequeños desajustes en los mismos tampoco se simultaneaba el encendido de los puntos de luz de las instalaciones. Hoy día estos dispositivos se han convertido en interruptores horarios astronómicos (relojes astronómicos) que han mejorado sustancialmente la precisión del encendido, pudiendo simultanearse de modo total. A continuación se citan sus ventajas e inconvenientes.

Ventajas:

- Es un sistema sencillo, muy fiable y de precio razonablemente bajo.
- Basta con colocar un solo dispositivo en cada cuadro de alumbrado para provocar el encendido o apagado de todos los puntos de luz alimentados desde él.
- Permite desde el encendido y apagado, hasta el paso del régimen normal al régimen reducido.
- Su fallo no presupone el apagado del alumbrado.

Inconvenientes:

- No genera ningún tipo de información sobre los parámetros eléctricos ni a nivel de cuadro de alumbrado ni a nivel de punto de luz, por lo que su labor de información es inexistente.
- Regula exclusivamente en función de la hora del día y del año, por lo que solo puede emplearse para determinar alumbrados nocturnos o nocturnos-reducidos.
- Los luminancímetros de control, que han venido a sustituir a las conocidas células fotoeléctricas para el encendido y apagado de los diferentes circuitos en los túneles.

El mejor modo de mandar el encendido o la adopción de un determinado régimen de alumbrado en un túnel (días soleados, nublados, crepuscular, etc.) es detectar el nivel de iluminación natural en el exterior del túnel. Para llevar a cabo dicha detección ha sido práctica habitual la utilización de células fotoeléctricas calibradas, con umbrales de disparo o activación diferentes para los distintos regímenes a aplicar. Sin embargo hoy día se han pasado a sustituir por los luminancímetros de control.

Como se ha expuesto anteriormente, el motivo es que el parámetro que determina los niveles de iluminación en las bocas de entrada de un túnel es la luminancia  $L_{20}$ . La medición de la iluminancia mediante una célula fotoeléctrica no representa un valor de referencia, entre otras razones porque al determinar la iluminancia en las dos bocas de entrada o de entrada y salida de un túnel no se tiene en cuenta la orientación del túnel, cosa que no sucede en la determinación del parámetro de luminancia, en la que sí interviene la orientación y la visión que un conductor tendría de dichas bocas.

Por este motivo, los luminancímetros de mando se sitúan en el borde de la calzada, a una altura correspondiente aproximadamente a la altura a la que se encuentra el conductor de un camión o similar, simulando la visión hacia la boca del túnel que tendría el conductor de un vehículo que se aproxima a la misma, como se indica en las imágenes siguientes, con el detalle de la ubicación del luminancímetro sobre una columna y la columna con respecto a la boca de entrada del túnel.



**Figura 3.20. Luminancímetros.**

Mediante estos dispositivos, se trata de adaptar los niveles de iluminación del túnel a las condiciones visuales de los conductores que se aproximan. Se emplean luminancímetros simplificados con un campo de medida de  $20^\circ$ .

Como son los encargados de enviar la señal para la conexión o desconexión de los distintos regímenes de refuerzo del túnel basados en la luz natural que existe en el exterior del túnel,

en la instalación de alumbrado del túnel se prevén tantas situaciones de regulación como regímenes de refuerzo se hayan previsto.

Estos regímenes pueden establecerse por:

- Escalones (caso de luminarias sin regulación).
- Escalones con regulación continua en cada uno de ellos.
- De forma continua (caso de las lámparas fluorescentes, de lámparas de sodio alta presión de pequeña potencia y de los LED).

Los regímenes deberán tener en cuenta como mínimo las siguientes situaciones de las variaciones de la luz natural:

- Días soleados:  $L_{20} > 1.500 \text{ cd/m}^2$ .
- Días nublados:  $1.500 > L_{20} > 600 \text{ cd/m}^2$ .
- Crepuscular:  $600 > L_{20} > 150 \text{ cd/m}^2$ .
- Nocturno:  $L_{20} < 150 \text{ cd/m}^2$ .

Para el horario nocturno y el reducido se puede prever, como ya se ha indicado anteriormente, un reloj que cambie de régimen.

Como el cambio de la iluminación exterior puede atravesar períodos de corta duración en los que haya reducciones bruscas de nivel, tales como la aparición de nubes que ocultan el sol, etc., debe preverse un período de retardo en el dispositivo de control para que no se disparen estos cambios de régimen de forma indiscriminada.

No obstante, siempre debe estar previsto poder tomar el mando de los regímenes de refuerzo localmente en el puesto de mando centralizado, por si algún evento como obras, accidentes o una afluencia especial de vehículos, requiriera un cambio obligado del régimen de refuerzo.

En cuanto a la regulación de los regímenes de iluminación propiamente dichos se puede decir que, mientras la metodología normal en un túnel ha sido hasta ahora la de prever diferentes circuitos de los que se alimentan distintas luminarias de forma alternativa, para poder conseguir los distintos regímenes de refuerzo, los sistemas avanzados de control centralizado están pensados para permitir llevar a cabo el encendido, apagado y regulación de flujo de las luminarias del túnel de forma individual o por grupos, sin necesidad de crear circuitos diferentes mediante unidades de control individuales en cada punto de luz (aunque siempre es recomendable disponer de varios circuitos para prever fallos en el sistema).

En líneas generales, estos sistemas pueden ser de tipos diferentes, según se empleen:

- Equipos estabilizadores-reductores en cabecera de línea.
- Balastos electrónicos y/o fuentes de alimentación para LED regulables.

### 3.7.2.2 Sistema de gestión punto a punto

Como se ha indicado anteriormente, este sistema regula los regímenes mediante la gestión individualizada de cada punto de luz.

En la unidad de cuadro de alumbrado, es necesario añadir una interfaz adicional para comunicar con las unidades de puntos de luz.

En cada punto de luz es necesaria la instalación de un dispositivo que discrimine y seleccione los datos que le conciernen, diferenciándolos de los demás. Este dispositivo está conectado a su vez con el equipo eléctrico del punto de luz para realizar las siguientes funciones:

- Recoger el estado de funcionamiento del punto de luz, parámetros eléctricos y fotométricos, etc., y enviar la información a la unidad de cuadro de alumbrado.
- Recibir las órdenes de encendido, apagado y de variación de régimen, para modificar el estado de funcionamiento del punto de luz.

Ventajas:

- Este sistema es el que proporciona la información más completa, sobre parámetros eléctricos y luminotécnicos, si su modularidad llega a la unidad de punto de luz.
- La interactividad del sistema permite que ante la detección de una anomalía, se puedan adoptar acciones correctoras sobre los componentes de la instalación, ya sea personándose en el punto en cuestión, o de forma automática si así se desea.
- El sistema es modular, lo cual significa que se puede intervenir, solo a nivel de cuadro, o bien a nivel de punto de luz, ampliando la existencia de las unidades de cuadro mediante unidades de punto de luz.
- Permite la detección de fallos puntuales en tiempo real y de forma instantánea, cosa que no sucede cuando las labores de vigilancia o policía se ejecutan mediante el personal de servicio.

Inconvenientes:

- Es difícil evaluar los costes de amortización, pues además de actividades reales y prácticas (encendidos y apagados, conmutación de un régimen a otro a voluntad y sin errores), se eliminan labores más teóricas (vigilancia de fallos individuales, prevención de agotamiento de lámparas, etc.).
- La existencia de varios sistemas de este tipo en el mercado ha provocado no pocos problemas de compatibilidad en base a los diferentes programas informáticos y protocolos utilizados por los distintos fabricantes, por eso la existencia de protocolos abiertos es imprescindible, para no resultar cautivo de ninguna marca concreta.

En el caso del tipo de sistema para balastos electrónicos y/o fuentes de alimentación regulables, se compone de los mismos elementos, pero no necesita la unidad de cuadro de alumbrado, pudiendo establecerse la comunicación entre el puesto centralizado y cada punto de luz mediante un bus de comunicación y la adopción o bien mediante un sistema tipo DALI o DMX.

### 3.7.3 Normativa aplicable

La muy reciente aparición y utilización de los sistemas de control y gestión, una vez superados los problemas de desarrollo inicial, hace que no exista en la actualidad ningún reglamento, norma o especificación que sea aplicable a los mismos.

Por ello puede adoptarse en su ausencia el 5º Cuaderno de Eficiencia Energética en Iluminación, publicado en 1996 por IDAE-CEI, que aún sigue teniendo plena vigencia.

## **CAPÍTULO 4**

### **PROYECTOS DE ILUMINACIÓN**

#### **4.1 Introducción**

El objeto de este capítulo es establecer las directrices y recomendaciones específicas que deben tenerse en cuenta en la redacción de proyectos de:

- Instalaciones nuevas de iluminación de túneles.
- Instalaciones en las que se ha llegado al final de la vida útil de los elementos (reposición).
- Modificaciones de las instalaciones existentes (rehabilitación y/o mejora).

Además de los requerimientos generales que la Dirección General de Carreteras exige a todos sus proyectos, en los de iluminación de túneles deben incluirse los estudios específicos siguientes:

- Justificación de la solución adoptada, determinando y justificando:
  - Niveles de iluminación (régimenes y tramos).
  - La selección de las tipologías de los elementos.
  - La implantación de las luminarias.
  - Sistema de instalación y montaje.
- Cálculos luminotécnicos.
- Cálculos eléctricos.
- Distribución eléctrica.
- Calificación energética de la instalación.
- Sistema de regulación de niveles lumínicos.
- Empleo de apantallamiento de transición en las bocas de los túneles.
- Análisis económico de las soluciones estudiadas.

En instalaciones nuevas se calculará el VAN de cada alternativa estudiada para el periodo de vida útil previsto para las mismas. Cuando se trate de mejoras o reposiciones, en el estudio económico, además del VAN de cada alternativa, se calculará la TIR de la inversión y su periodo de retorno para cada alternativa en relación con la situación existente.

#### **4.2 Justificación de la solución adoptada**

En este apartado se deben analizar las diferentes soluciones técnicas posibles que se pueden adoptar en la iluminación del túnel o en la sustitución del elemento o elementos en cuestión y seleccionar las alternativas factibles para su posterior análisis comparativo.

Para la justificación de la solución adoptada deben tenerse en cuenta, además de los resultados lumínicos obtenidos (luminancias, iluminancias, uniformidades, etc.), los criterios siguientes:

- La inversión inicial.
- En obras nuevas se valorarán mejor aquellas soluciones cuyo VAN de los desembolsos realizados sea menor (considerando las inversiones y gastos como positivos).
- En obras de mejora y reposiciones se valorarán mejor aquellas cuya TIR sea mayor. Además, se considerará la relación de la TIR con el importe de la inversión inicial.

También se tendrán en cuenta los factores siguientes:

- Capacidad de gestión de la instalación y adaptabilidad de la misma a circunstancias cambiantes.
- Integración en el programa de gestión centralizada del túnel.
- Tecnología e I+D de la solución.
- Coste de reposición de elementos.
- Fiabilidad de los elementos.
- Garantía del fabricante.
- Cromatismo y temperatura del color.
- Facilidad de mantenimiento.
- Menor afección al tráfico.
- Menor consumo de energía eléctrica y generación de CO<sub>2</sub>.
- Posibilidad de reciclaje de materiales.

Se analizará de forma independiente la disposición o no de apantallamientos de transición en la boca de entrada al túnel. Para ello se realizará un estudio económico en el que se tendrá en cuenta la inversión en el apantallamiento y los ahorros en consumos energéticos que se pueden conseguir. Con estos valores se calculará el TIR y el VAN, eligiéndose la solución más adecuada teniendo en cuenta ambos valores y el importe de la inversión inicial.

#### 4.2.1 Implantación y disposición de luminarias

La implantación de luminarias en un túnel depende de una serie de aspectos que conviene justificar de una manera lo más inequívoca posible. Hay que tener en cuenta:

- El sentido de circulación dentro del túnel (unidireccional o bidireccional).
- El sistema de iluminación adoptado (simétrico o a contraflujo).
- La sección transversal del túnel y su gálibo.
- La posibilidad de mantenimiento y sustitución de luminarias o fuentes de luz.

Una vez analizados estos aspectos, dependiendo de la geometría de la sección transversal del túnel, la implantación puede hacerse:

- Cenital sobre el eje de la calzada.
- Cenital desplazada del eje de la calzada.
- Bilateral al tresbolillo, sobre los hastiales del túnel o en la propia bóveda o techo.
- Bilateral en oposición, también denominada pareada, sobre los hastiales del túnel o en la propia bóveda o techo.
- Unilateral (en casos excepcionales), sobre los hastiales del túnel o en la propia bóveda o techo.

En cuanto a la disposición de las luminarias, estas pueden instalarse:

- En líneas continuas (válida para fluorescencia o LED).
- En líneas discontinuas, pero con la misma separación entre luminarias para cada tramo de umbral o de adaptación.
- En líneas discontinuas, con separaciones variables entre luminarias para contribuir a producir una adaptación progresiva a la curva de adaptación de luminancias del ojo humano a lo largo del túnel.

Es muy importante que cuando se planifiquen, tanto la implantación como la disposición de luminarias, se tengan en cuenta los posibles obstáculos a las mismas, tales como la presencia de ventiladores, señalización, gálibo, paneles de revestimiento interiores, etc. La

altura de montaje de las luminarias deberá ser la misma para cada línea de implantación, no estando justificada la adopción de más de una línea en un lateral del túnel.

#### 4.2.2 Regulación de niveles lumínicos

La regulación de los niveles lumínicos en túneles se hace de modo muy diferente a la iluminación a cielo abierto, debido a que vienen determinados por la luz natural existente en el exterior a lo largo del día. Por esta razón, mediante elementos detectores situados fuera del túnel dirigidos hacia la boca de entrada se registran los niveles exteriores para regular el funcionamiento de uno u otros regímenes (días soleados, nublados, etc.) y también los niveles lumínicos de cada tramo (umbral, transición, interior, salida, etc.).

La gestión de estos niveles de iluminación variables en cada zona del túnel en función de la iluminación exterior se realiza mediante el programa de gestión centralizada, como ya se ha explicado en el capítulo 3.

### 4.3 Cálculos luminotécnicos

Los cálculos luminotécnicos que deben incluirse en un proyecto de iluminación son los correspondientes a la determinación de los criterios luminotécnicos reconocidos como exigibles en cualquier instalación, es decir:

- Cálculo de la luminancias (máxima, media y mínima).
- Cálculo de la iluminancias (máxima, media y mínima).
- Cálculo de interdistancias límite entre luminarias correspondientes a las frecuencias perjudiciales para el efecto “flicker”.
- Cálculo del deslumbramiento perturbador (TI).
- Cálculo de uniformidades (global y longitudinal).

La explicación detallada de cómo se calcula cada una de estas magnitudes se adjunta en el Anejo 3 de estas Recomendaciones, donde se describen los conceptos y métodos de cálculo de cada una de ellas de acuerdo con lo expuesto en las publicaciones 189:2010 y 140:2000 de la CIE. A continuación, se resumen algunos aspectos básicos.

En el caso del cálculo de los límites admisibles de separación entre luminarias que pueden provocar el efecto flicker o de parpadeo, es preciso tener en cuenta las frecuencias nocivas, que se describen en la norma UNE CR 14380, en el que se definen los aspectos siguientes:

- El efecto flicker se produce cuando la duración de permanencia de un vehículo en una zona conflictiva del túnel supera los 20 segundos.
- Las frecuencias nocivas o peligrosas son las comprendidas entre 2,5 Hz y 15 Hz, siendo despreciable el efecto de parpadeo para frecuencias situadas fuera de este intervalo.
- El cálculo de las interdistancias peligrosas se hace dividiendo el valor de la velocidad de proyecto en m/s entre cada una de las frecuencias límite. Las interdistancias límite resultantes determinarán que las luminarias deben separarse a intervalos menores que la interdistancia límite inferior o mayores que la interdistancia límite superior.

Una vez justificadas las separaciones “prohibidas” entre luminarias, se procederá a realizar los cálculos lumínicos necesarios, cuyos resultados se presentarán como figuran en la tabla 4.1. Con objeto de establecer comparaciones válidas, previamente deben analizarse y definirse los aspectos siguientes:

- La cuadrícula de cálculo tiene que ser equivalente para todas las soluciones alternativas de los diferentes proyectistas.
- Se deberá definir el tipo de túnel (unidireccional o bidireccional) y la longitud del mismo (túnel corto con visión de la boca de salida, etc.).
- Los tipos o clases de pavimento que se tomen para el cálculo deben estar perfectamente justificados, indicando el tipo y el valor de  $q_0$  (factor de reflexión del pavimento).
- Deberá justificarse la aplicación del denominado factor de mantenimiento,  $f_m$ , que tiene en cuenta que los valores calculados son mantenidos en la vida de la instalación.
- Deberán especificarse las características de los componentes empleados:
  - El tipo de fuente de luz y la documentación fotométrica de la luminaria (curvas, tabla de intensidades, diagrama polar, etc.).
  - El flujo luminoso y potencia por punto de luz.
  - La altura e interdistancia de los puntos de luz que intervienen en el cálculo.
  - El saliente o retranqueo de la vertical de la luminaria con respecto a la línea exterior de la calzada.
  - La inclinación de la luminaria respecto a la horizontal
  - El número de observadores que se utilicen
  - La posición de cada observador
- Deberá detallarse, del modo que se ha indicado previamente, el cálculo de las separaciones límite entre luminarias para evitar el efecto flicker cuando el tramo supere los 20 s de permanencia de un vehículo en él, siempre que se mantenga la misma implantación en dicho tramo.

Tabla 4.1. Ejemplo de presentación de resultados obtenidos en los cálculos lumínicos

$L_m$ [ $cd/m^2$ ]	$U_0$	$U_l$	TI [%]
1.2	0.6	0.6	9
$\geq 1.0$	$\geq 0.4$	$\geq 0.7$	$\leq 15$
✓	✓	✗	✓

En la primera línea de esta tabla se recogen los criterios luminotécnicos a satisfacer; en la segunda línea se reflejan los valores obtenidos en el cálculo; y en la tercera línea se fijan los límites admisibles que deben cumplirse para que la instalación sea correcta. Como se resalta con el color de los signos, tres de los valores cumplirían con lo exigido (en color verde), mientras que el de color rojo indica que no se cumpliría el criterio fijado; es decir, la instalación debería ajustarse hasta cumplir dicho valor.

#### 4.4 Cálculos eléctricos

Los cálculos eléctricos que deben incluirse en un proyecto de iluminación son:

- Potencia instalada y potencia de cálculo.
- Intensidad de la línea.
- Sección de los conductores.
- Caída de tensión.
- Intensidad de cortocircuito.
- Resistencia de puesta a tierra.
- Potencia instalada por  $m^2$ .
- Consumo energético por  $m^2$ .



Estos cálculos se realizarán de acuerdo con las fórmulas que se recogen en el Anejo 4 de estas Recomendaciones.

La alimentación a los receptores que sean necesarios para el correcto funcionamiento del túnel se realizará en baja tensión, 230/400 V. La energía será suministrada por el equipo de media tensión instalado en la boca del túnel. Este equipo estará formado por un centro de transformación con su correspondiente apartamiento y un grupo electrógeno que conmutará con el transformador en caso de avería o caída de la red del distribuidor contratado. Todos los circuitos partirán desde el local de distribución construido en la boca del túnel.

Toda la instalación eléctrica de baja tensión estará compuesta por elementos de cero halógenos, baja emisión de humos, no propagadores de llama y no propagadores de incendio, tal y como se describe 4.5. Además, los alumbrados de emergencia y de evacuación en caso de incidente tendrán cables resistentes a la temperatura (RD 635/2006).

Como orientación, en los cálculos del proyecto deben tenerse en cuenta los aspectos siguientes:

- La determinación de la potencia instalada, de acuerdo con lo indicado en la Instrucción MI BT-09 del Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión, se realizará considerando una potencia en voltamperios de 1,8 veces la potencia en vatios de las fuentes de luz o tubos de descarga; para otros tipos de fuentes de luz se justificará el coeficiente a aplicar mediante el cálculo correspondiente.
- La potencia de contratación se calculará mediante la suma aritmética de todas las cargas debido al ciclo de funcionamiento, ya que por causas del programa de funcionamiento del conjunto de la instalación es posible el funcionamiento de todos los receptores simultáneamente.
- La potencia instalada es la suma de todas las potencias nominales de todos los receptores conectados al centro de transformación.
- La potencia máxima admisible de la instalación queda limitada por el conjunto de protección y medida.
- El cuadro quedará alimentado desde el centro de transformación por una canalización enterrada y entubada con cable RZ1-K(AS).
- La instalación dispondrá de un cuadro general de distribución, protección y maniobra desde el que se alimentará a todos los receptores de B.T. con las protecciones apropiadas en cada uno de los circuitos, cumpliendo el REBT. Se instalará en un lugar independiente del destinado para el grupo electrógeno y el utilizado para el transformador.
- En el cuadro se instalarán los dispositivos de protección contra sobrecargas y cortocircuitos de cada uno de los circuitos. Todos los dispositivos de protección contra sobrecargas y cortocircuitos a instalar en el origen de todas las líneas deberán ser de corte omnipolar (seccionaran tanto las fases como el neutro) y deberá justificarse la curva de disparo a utilizar y su regulación en función del tipo de carga y características del conductor, así como la protección contra cortocircuito a final de línea y la selectividad con los elementos instalados aguas arriba. Así mismo se tendrá en cuenta la capacidad de corte necesaria y criterio de filiación. En el cuadro también se instalarán los interruptores diferenciales destinados a la protección contra contactos indirectos. Estos interruptores tendrán que aguantar las corrientes que

puedan producirse en el punto de instalación. El nivel de sensibilidad de estos interruptores cumplirá con la instrucción ITC-BT-17 del REBT. Se recomienda la instalación de relés diferenciales SI (super inmunizados) en todos los circuitos de control y prioritarios; igualmente, en todos los circuitos de alumbrado se recomienda la implantación de relés diferenciales de reconexión automática con lectura directa de dispersión a masa asociados a contactores de corte onnipolar.

- Las instalaciones se subdividirán de forma que las perturbaciones originadas por averías que puedan producirse en un punto de ellas afecten solamente a ciertas partes de la instalación. Las secciones de los diversos circuitos que parten desde el cuadro de B.T. quedarán reflejadas en los planos y en las tablas de cálculos; y la distribución de los dispositivos de protección aparecerá en los planos.
- El cálculo de las secciones en cada tramo de cada circuito se realizará, en general, considerando una caída de tensión máxima a origen del 3%, con secciones mínimas de 6 mm<sup>2</sup>, en canalizaciones subterráneas, y de 4 mm<sup>2</sup>, en canalizaciones aéreas. Dicha caída de tensión supone que, para una distribución de alumbrado con una tensión de 230/400 V, la caída de tensión máxima a origen será de:  $400 \times 3/100 = 12$  V.
- Se considerará un adecuado reparto de cargas en el conjunto de todas las líneas de derivación, realizándose el conexionado en el interior de la caja de derivación.
- Las secciones de los conductores de protección, así como las características del conductor, se basarán en lo indicado en la ITC-BT-19.
- La caída de tensión permitida en la instalación, al ser un C.T. propio, es de 4,5% en circuitos de alumbrado y 6,5% para los demás usos.
- El valor de la resistencia de tierra será tal que asegure que cualquier masa no pueda dar lugar a tensiones de contacto superiores a 24 V. en local o emplazamiento conductor y 50 V. en los demás casos.

La resistencia de un electrodo depende de sus dimensiones, de su forma y de la resistividad del terreno en el que se establece. Esta resistividad varía frecuentemente de un punto a otro del terreno y varía también con la profundidad.

Todas las conexiones de los circuitos de tierra se realizarán mediante terminales, grapas, soldadura o elementos apropiados que garanticen un buen contacto permanente y protegido contra la corrosión.

Se recomienda que la potencia del grupo electrógeno esté prevista para la alimentación de los circuitos de alumbrado al 100%, servicios al 60%, y ventilación al 70%, ya que puede darse el caso de incendio en uno de los tubos en horario nocturno y el procedimiento más habitual es que la ventilación ha de funcionar al 100% en el tubo afectado, al 30% en el tubo no afectado y el alumbrado al 100% en ambos tubos.

El local para la instalación del grupo tendrá una puerta de entrada lo suficientemente grande como para poder introducir y extraer el grupo sin necesidad de desmontarlo.

El volumen del local debe estar en proporción a las dimensiones y forma constructiva del grupo, debiendo quedar suficiente espacio para poder efectuar los trabajos de mantenimiento y revisión del grupo con facilidad. Se procurará que alrededor del grupo exista un pasillo, libre de obstáculos, con anchura comprendida entre 0.80 m y 1 m. La altura

del local, como mínimo, será de un metro por encima del colector de escape del motor diesel y nunca inferior a 2m.

Un factor muy importante a tener en cuenta del local, es la entrada y salida del volumen de aire necesario para lograr una perfecta refrigeración del grupo. La refrigeración del motor se realizará por radiador. Para la aportación de aire fresco necesario para la combustión del motor y refrigeración de los distintos elementos, el local debe disponer de una abertura en la pared, puerta o canalización de entrada de aire. Como orientación, la sección neta de la entrada de aire debe ser dos veces la superficie útil del radiador.

En zonas frías, para evitar la entrada directa de aire cuando el motor esté parado, se dispondrá de unas persianas de láminas que cierren las aberturas y que puedan ser accionadas a mano o automáticamente. El aire que circula a través del radiador debe tener salida libre al exterior, por ello, la ventana por la que sale el aire irá equipada con persiana de aletas superpuestas y móviles (que permitan cerrar cuando el grupo esté parado y se abran, automáticamente, al empezar a funcionar el grupo) que no dificulten la salida del aire del radiador. En los grupos con arranque automático, la ventana dispondrá de persiana con aletas siempre abiertas o la apertura de éstas será automática al ponerse en marcha el grupo. Si el número y grueso de las aletas de la persiana reducen en más del 10 la superficie de salida del aire, debe aumentarse la sección de la ventana en esta proporción. El grupo debe quedar a unos 70 cm de la ventana (para que pueda revisarse en su parte frontal si fuera necesario) y se canalizará el aire caliente del radiador a la ventana para asegurarse de que salga del local. En los casos en que el local sea reducido, puede situarse el radiador a unos 20 cm de la ventana.

Las conducciones de escape se construirán con tubo de acero corriente de al menos 3 mm de espesor para que la corrosión y la humedad no las deteriore con rapidez.

Además, se tendrán en cuenta lo establecido en el resto de apartados de estas Recomendaciones, en especial lo dispuesto en los apartados 3.6 y 4.5.

#### **4.5 Distribución eléctrica**

Además de lo ya expuesto en el apartado 3.6, en redacción de los proyectos, en cuanto a distribución eléctrica, deben tenerse en cuenta los aspectos que se indican a continuación.

##### **4.5.1. Canalización eléctrica**

La canalización eléctrica en el exterior se realizará subterránea, y en el interior de los túneles discurrirá por una bandeja metálica perforada o de PVC, que irá colocada en los paramentos. El proyectista analizará y justificará la más adecuada en cada caso. Los centros de mandos se deben colocar en las bocas de entrada del túnel, desde donde se realizará la subida hasta la bandeja y se continuará por la misma para poder realizar la distribución eléctrica necesaria para la instalación.

##### **4.5.2 Bandeja de distribución**

Se pueden utilizar bandejas metálicas o de PVC y deben estar diseñadas de tal forma que no se produzca retención de agua y que sean accesibles para los trabajos de conservación.

- Las bandejas de PVC cumplirán la Norma UNE 23727 y UNE 20672, siendo el grado de resistencia al fuego M1.
- Las bandejas metálicas estarán galvanizadas, según el R.D 2531/1985 y la Norma UNE-EN ISO- 1461, o ser de acero inoxidable.
- La temperatura de servicio se ajustará a lo señalado en la Norma UNE 61537.

- El grado de severidad será 650°C, según Norma UNE EN 60695-2-11:2001.
- La resistencia al impacto no será menor de 6 Julios.

Aunque anteriormente se ha citado que se puede utilizar bandeja metálica o de PVC, en la práctica la más utilizada suele ser la bandeja metálica perforada. En la tabla 4.2 se muestran las características de una bandeja de chapa de acero galvanizada perforada.

Por criterios de instalación (rapidez del montaje, costos de instalación, seguridad, posibilidades de ampliación, facilidad del mantenimiento etc.) también es recomendable la utilización de bandejas metálicas galvanizadas tipo escalera, de grandes vanos, ya que permiten el montaje de la misma con separación de fijaciones muy superiores a los sistemas tradicionales y permite incorporar en las mismas el montaje de los proyectores, todo ello con una buena robustez y fiabilidad.

CARACTERÍSTICAS DE LA BANDEJA
Metálica
No propagador de la llama
Sistema con continuidad eléctrica
Componente conductor eléctrico
Temperatura mínima de -50°C
Temperatura máxima de 150°C
Con recubrimiento metálico, resistencia a la corrosión: -Recubrimiento GS (Acero galvanizado Sendzimir) -Recubrimiento GC (Acero galvanizado en caliente)
Resistencia al impacto de 20J
Clasificación de la perforación de la base: Bandeja ciega o bandeja troquelada
DIMENSIONES DE LA BANDEJA
100x35,150x35,200x35,300x35,100x60,150x60,200x60 300x60,400x60,500x60,600x60,100x80.....

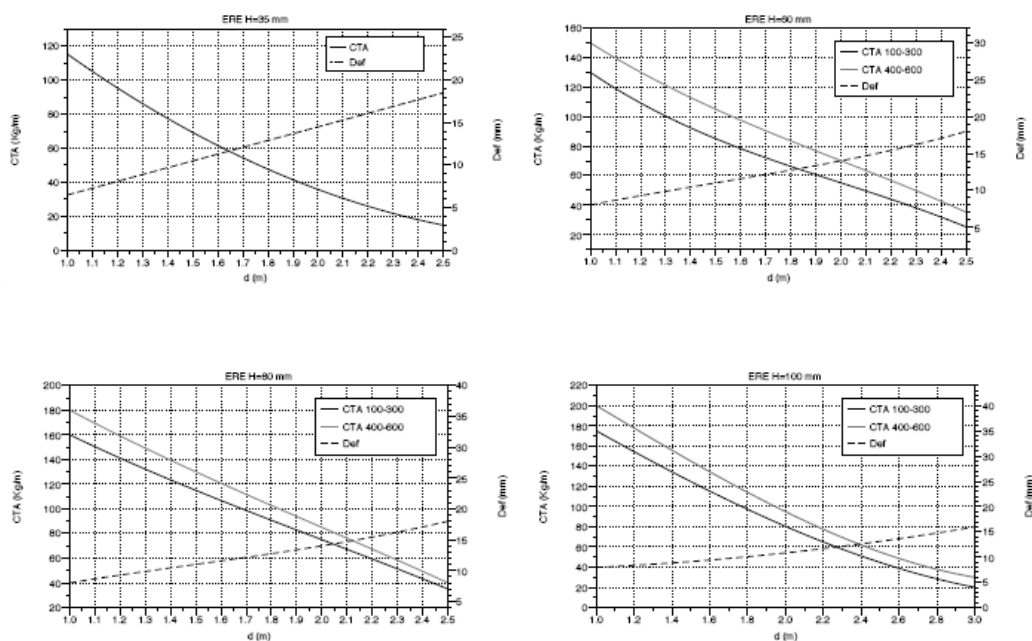
**Tabla 4.2 Características de las bandejas de chapa de acero perforadas.**

A la hora de instalar este tipo de bandejas para una canalización eléctrica, se deben separar 2cm de la pared del túnel, ayudándose de los soportes, para permitir una ventilación óptima de los cables. En el caso de que haya que utilizar diversas bandejas, es recomendable instalarlas con una distancia mínima entre ellas de 250 mm. Para el montaje se pueden utilizar los siguientes accesorios: tapa, separador, curva plana, curva cóncava, curva convexa, cruz, derivación T, derivación lateral AS, reducción, unión, unión articulada.



**Figura 4.1 Bandeja de chapa de acero galvanizada perforada.**

Dependiendo de las dimensiones de nuestra bandeja, la carga de trabajo admisible será diferente, tal y como se muestra en las figuras 4.2.



**Figura 4.2 Curvas de carga de trabajo admisibles.**

Como ya se ha comentado, en la instalación se debe realizar una subida desde cada centro de mando a la bandeja de distribución colocada en el hastial del túnel correspondiente. Para ello se puede utilizar una bandeja similar a la descrita anteriormente pero provista de tapa como la que se muestra en la figura 4.3.



**Figura 4.3 Bandeja metálica con tapa.**

#### 4.5.3 Conductores

Los conductores utilizados serán de cobre, unipolares o multipolares, en distribución trifásica con neutro, y con aislamiento 0.6/1kV, del tipo RZ1-K. Son conductores flexibles con aislamiento de polietileno reticulado (XLPE) y cubierta exterior de poliolefina termoplástica libre de halógenos.

La temperatura máxima de servicio del cable debe ser de 90°C, siendo capaz de trabajar a muy baja temperatura (-40°C).

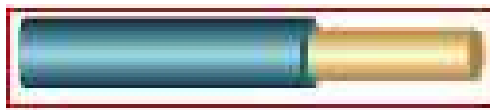
Los cables del tipo RZ1-K son cables de Alta Seguridad, puesto que deben cumplir con las siguientes exigencias recogidas en la normativa indicada:

- No propagadores del incendio ni de la llama, según norma UNE-EN 60332 e IEC 60332.
- Baja acidez y corrosividad de los gases emitidos durante la combustión, según norma UNE-EN 50267 e IEC 60754.
- Baja opacidad de los humos emitidos, según norma UNE-EN 61034 e IEC 61034.
- Libre de halógenos.

Son cables especialmente indicados para ser utilizados en aquellos lugares donde se pretenda elevar el grado de seguridad y haya difícil acceso o salida, como es el caso de un túnel.



**Figura 4.4 Conductores del tipo RZ1 K.**



**Figura 4.5. Conductores del tipo ES07Z1-K.**

A la hora realizar la canalización eléctrica se debe considerar que los circuitos correspondientes al alumbrado permanente no autónomo estarán constituidos por conductores que además de cumplir con las Normas UNE e ICE señaladas anteriormente, deben ser resistentes al fuego.

Los cables deben ser del tipo SZ1-K 0.6/1kV, aislados con silicona (S) y cubierta de poliolefina (Z1), que cumplan con la norma internacional IEC 60502 y la norma UNE 50200 (PH90), en diseño, construcción y ensayos. Soportarán temperaturas de 840°C durante 90min, por lo que son capaces de mantener el servicio en las condiciones más severas de incendio. Por ello son conocidos como los cables RESISTENTES AL FUEGO. Son los conductores que se deben instalar de forma obligatoria en circuitos de seguridad, en sistemas de evacuación y de lucha contra incendios.



**Figura 4.6 Conductores del tipo SZ1-K.**

Aunque ya se indicó anteriormente, se debe recordar que las acometidas a las unidades luminosas también se deben realizar con conductores tripolares de sección 3 x 2.5 mm<sup>2</sup>, 0.6/1kV, del tipo RZ1-K o SZ1-K , según corresponda.

A lo largo del documento se ha indicado que existen diferentes tipos de disposición de luminarias, en líneas continuas o en líneas discontinuas. En función de estas disposiciones, también se debe elegir entre la utilización de conductores de cobre unipolares o multipolares.

Se aconseja la utilización de conductor multifilar 5G (5 hilos con identificación de fases, neutro, y TT) RZ1K o SZ1K para las distribuciones eléctricas trifásicas destinadas a las líneas generales de alimentación a luminarias.

Por último, también es aconsejable tener en cuenta los criterios prácticos siguientes:

- Utilizar conductores multipolares, a efectos de no generar una descompensación en los esfuerzos de tracción a que se somete a los conductores (fases y neutro) al realizar la operación de paso por los tubos y conductos. También se mejoran los efectos electrodinámicos generados por los cortocircuitos a pesar de que la densidad de corriente admisible es ligeramente superior en los conductores unipolares, ya que este concepto en redes de alumbrado público es poco significativo, al primar más el cálculo por caída de tensión que el de cortocircuito en origen y a final de línea.
- Utilizar conductor armado dado que su resistencia mecánica es superior y no se deteriora por la presencia de roedores, preferentemente en zonas en la que se tenga constancia de la presencia de estos. El armado puede ser con fleje, pero es más aconsejable el de trefilado de alambres.
- No se recomienda utilizar secciones superiores a 16 mm<sup>2</sup>., aunque en los tramos iniciales podrán instalarse hasta de 50 mm<sup>2</sup>., ya que se facilitan mucho las labores de conexionado, mantenimiento y facilidad en el paso de los conductores por los tubos y conductos.
- Se recomienda disponer doble línea en todos los tramos, a efectos de una mayor seguridad en el funcionamiento de las instalaciones de alumbrado, con el fin de que una anomalía no afecte a la totalidad del tramo, con los consiguientes problemas que pueden generar tramos continuos sin alumbrado. También implica dicho criterio una mejor sectorización y reparto de cargas.
- Es recomendable que las líneas que se derivan de un cuadro no sobrepasen los siguientes puntos por línea:

150 W.	21 puntos
250 W.	18 puntos
400 W.	15-18 puntos

**Tabla 4.3. Número máximo de puntos de luz por línea.**

- Ubicar el cuadro general de protección en el centro de la instalación, siempre que sea posible, a efectos de una mejor sectorización y diseño de los circuitos de salida.
- Utilizar la misma sección en todo el tramo del circuito, siempre que sea posible, incluyendo el último tramo. Todo ello facilitará el montaje y el mantenimiento, además de disminuir el coste de instalación.

## 4.6 Calificación energética de la instalación (REEIAE)

En los túneles, los niveles de iluminación requeridos son mucho mayores que los que se especifican en el Reglamento de Eficiencia Energética, sobre todo en las bocas de entrada al mismo, pues dependen de los niveles de iluminancia exteriores con luz natural, y en consecuencia son mucho más elevados (pueden llegar a 2.500 o 3.000 lx en el tramo I de umbral). Todo esto obliga a reconsiderar la aplicación del concepto de calificación energética en instalaciones de alumbrado de túneles.

### 4.6.1 Eficiencia energética de una instalación

Dadas las particularidades de las instalaciones de alumbrado de túneles, no es de aplicación el método de evaluación de eficiencia energética de una instalación de iluminación que figura en el REEIAE, y por tanto el sistema de Calificación Energética que el mismo establece.

En consecuencia, es aconsejable establecer una serie de ratios o índices de eficiencia adecuados a la problemática de los túneles, basados en la experiencia acumulada en la gran cantidad de túneles realizados en la Red de Carreteras del Estado, que permitirán de una manera racional fijar unos límites de eficiencia energética teniendo en cuenta los diferentes regímenes, los distintos tramos del túnel, las condiciones ambientales de iluminación exterior, etc.

Por esta razón, los índices o ratios de eficiencia energética de la instalación se calcularán de acuerdo con las siguientes expresiones:

$$\epsilon_{\text{POT}} = \frac{W_{\text{instalada}}}{S}$$
$$\epsilon_{\text{CONSUMO}} = \frac{C_{\text{anual}}}{S}$$

Siendo:

- $W_{\text{instalada}}$  = Potencia media total instalada para el régimen días soleados en todo el túnel.
- $S$  = Superficie total del túnel, tomando como anchura la de la calzada más los arceres
- $C_{\text{anual}}$  = Consumo anual por tramo de túnel, incluyendo todas las luminarias en un determinado tramo.

Estos ratios dependen de la longitud y tipo de túnel (unidireccional o bidireccional), de su tráfico, de la orientación de las bocas y de la latitud en la que está ubicado.

Lo que sí se podrá evaluar de acuerdo con lo expresado en el REEIAE será la eficiencia energética propia de las luminarias, de acuerdo con la fórmula:

$$\epsilon = \epsilon_L \cdot f_m \cdot f_u$$

Donde:

- $\epsilon_L$  = Eficiencia de la lámpara y equipos auxiliares ( $\text{lm/W} = \text{m}^2 \cdot \text{lx/W}$ ). Es la relación entre el flujo luminoso emitido por una lámpara y la potencia total consumida por la lámpara más su equipo auxiliar.



- $f_m$  = Factor de mantenimiento. Es la relación entre los valores de iluminancia que se pretenden mantener a lo largo de la vida de la instalación de alumbrado y los valores iniciales.
- $f_u$  = Factor de utilización. Es la relación entre el flujo útil procedente de las luminarias que llega a la calzada o superficie a iluminar y el flujo emitido por las lámparas instaladas en las luminarias.

Iluminancia media en servicio $E_m$ (lux)	Eficiencia energética mínima ( $m^2 \cdot lux/W$ )
$\geq 30$	22
25	20
20	17,5
15	15
10	12
$\leq 7,5$	9,5

Nota: Para valores de la luminancia media proyectada comprendidos entre los valores indicados en la tabla, la eficiencia energética de referencia se obtendrán por interpolación lineal.

**Tabla 4.4. Eficiencia energética mínima de la luminaria.**

El factor de utilización de la instalación es función del tipo de lámpara, de la distribución de la intensidad luminosa y rendimiento de las luminarias y de la geometría de la instalación, tanto en lo referente a las características dimensionales de la superficie a iluminar (longitud y anchura), como a la disposición de las luminarias en la instalación de alumbrado (tipo de implantación, altura de las luminarias y separación entre puntos de luz).

Para mejorar la eficiencia energética de una instalación de alumbrado se podrá actuar incrementando el valor de cualquiera de los tres factores anteriores, de forma que la instalación más eficiente será aquella en la que el producto de los tres factores, eficiencia de las lámparas y equipos auxiliares y factores de mantenimiento y utilización de la instalación, sea máximo.

#### 4.6.2 Valoración de los ratios de eficiencia energética ( $\epsilon$ )

En las tablas 4.5 y 4.6 se incluyen los valores de potencia instalada en una serie de túneles tipo a modo de ejemplo para que sirvan de referencia a la hora de estimar la eficiencia energética de una instalación. En la tabla 4.4 se estima una  $L_{th}$  de  $100 \text{ cd/m}^2$  y en la tabla 4.5 la  $L_{th}$  considerada es de  $150 \text{ cd/m}^2$ .

Las hipótesis de cálculo son:

- Luminarias situadas sin retranqueo respecto al borde de la calzada.
- Altura de montaje 6 m.
- Orientación este-oeste: Con esta orientación la iluminación es idéntica en ambas bocas.
- Factor de mantenimiento  $f_m = 0,8$ .
- Velocidad de proyecto =  $80 \text{ km/h}$ .
- Clase de túnel = 3 m.

– Tanto en unidireccional como en bidireccional sólo se considera un tubo.  
 Con los valores siguientes sólo se pretende tener una referencia, pues es evidente que las características como anchura, altura, etc, son diferentes para cada caso, por lo que los datos obtenidos a continuación deben ser tenidos en cuenta de una forma adecuada ya que cada túnel es único.

Longitud (m)	Superficie (m <sup>2</sup> )	Unidireccional							
		VSAP				VSAP + LED			
		Pot. Instalada (kW)	$\epsilon_{POT}$ (W/m <sup>2</sup> )	Consumo teórico (kWh/año)	$\epsilon_{CONSUMO}$ (kWh/m <sup>2</sup> año)	Pot. Instalada (kW)	$\epsilon_{POT}$ (W/m <sup>2</sup> )	Consumo teórico (kWh/año)	$\epsilon_{CONSUMO}$ (kWh/m <sup>2</sup> año)
300	3.000	39,60	13,20	203.801,40	67,93	39,12	13,04	201.331,08	67,11
750	7.500	47,30	6,31	243.429,45	32,46	45,06	6,01	231.901,29	30,92
1.000	10.000	51,20	5,12	263.500,80	26,35	48,10	4,81	247.546,65	24,75
1.500	15.000	59,00	3,93	303.643,50	20,24	54,34	3,62	279.660,81	18,64
Longitud (m)	Superficie (m <sup>2</sup> )	Bidireccional							
		VSAP				VSAP + LED			
		Pot. Instalada (kW)	$\epsilon_{POT}$ (W/m <sup>2</sup> )	Consumo teórico (kWh/año)	$\epsilon_{CONSUMO}$ (kWh/m <sup>2</sup> año)	Pot. Instalada (kW)	$\epsilon_{POT}$ (W/m <sup>2</sup> )	Consumo teórico (kWh/año)	$\epsilon_{CONSUMO}$ (kWh/m <sup>2</sup> año)
300	3.000	61,60	20,53	317.024,40	105,67	61,12	20,37	314.554,08	104,85
750	7.500	82,30	10,97	423.556,95	56,47	80,68	10,76	415.219,62	55,36
1.000	10.000	86,20	8,62	443.628,30	44,36	83,72	8,37	430.864,98	43,09
1.500	15.000	94,00	6,27	483.771,00	32,25	89,96	6,00	462.979,14	30,87

**Tabla 4.5. Potencia instalada en túneles tipo con  $L_{th}=100$  cd/m<sup>2</sup>.**

Longitud (m)	Superficie (m <sup>2</sup> )	Unidireccional							
		VSAP				VSAP + LED			
		Pot. Instalada (kW)	$\epsilon_{POT}$ (W/m <sup>2</sup> )	Consumo teórico (kWh/año)	$\epsilon_{CONSUMO}$ (kWh/m <sup>2</sup> año)	Pot. Instalada (kW)	$\epsilon_{POT}$ (W/m <sup>2</sup> )	Consumo teórico (kWh/año)	$\epsilon_{CONSUMO}$ (kWh/m <sup>2</sup> año)
300	3.000	57,20	19,07	294.379,80	98,13	56,72	18,91	291.909,48	97,30
750	7.500	64,50	8,60	331.949,25	44,26	62,66	8,35	322.479,69	43,00
1.000	10.000	68,80	6,88	354.079,20	35,41	65,70	6,57	338.125,05	33,81
1.500	15.000	76,60	5,11	394.221,90	26,28	71,94	4,80	370.239,21	24,68
Longitud (m)	Superficie (m <sup>2</sup> )	Bidireccional							
		VSAP				VSAP + LED			
		Pot. Instalada (kW)	$\epsilon_{POT}$ (W/m <sup>2</sup> )	Consumo teórico (kWh/año)	$\epsilon_{CONSUMO}$ (kWh/m <sup>2</sup> año)	Pot. Instalada (kW)	$\epsilon_{POT}$ (W/m <sup>2</sup> )	Consumo teórico (kWh/año)	$\epsilon_{CONSUMO}$ (kWh/m <sup>2</sup> año)
300	3.000	98,40	32,80	506.415,60	168,81	97,92	32,64	503.945,28	167,98
750	7.500	117,50	15,67	604.713,75	80,63	115,88	15,45	596.376,42	79,52
1.000	10.000	121,40	12,14	624.785,10	62,48	118,92	11,89	612.021,78	61,20
1.500	15.000	129,20	8,61	664.927,80	44,33	125,16	8,34	644.135,94	42,94

**Tabla 4.6. Potencia instalada en túneles tipo con  $L_{th}=150$ cd/m<sup>2</sup>.**

Como resumen de estas tablas se pueden extraer las siguientes conclusiones:

1ª.- Cuanto mayor es la longitud del túnel mayor es el ahorro conseguido al emplear LED en vez de sodio alta presión en los tramos de alumbrado permanente o base, en la zona interior y en alguno de los últimos tramos de transición y en régimen nocturno, pudiendo llegarse hasta un 5% no solo en consumo sino en potencia instalada para un túnel de 1500 m de longitud.

2ª.- Cuanto mayor es el nivel del tramo de umbral en un túnel, menor es el ahorro conseguido al emplear LED en lugar de sodio alta presión, debido al peso que ejerce el alumbrado de refuerzo (que solo se puede hacer con sodio alta presión en la actualidad) y que es 1,5 veces mayor, por ejemplo para 150 cd/m<sup>2</sup> que para 100 cd/m<sup>2</sup>.

3ª.- A muy corto plazo, cuando se pueda cuantificar el descenso en el nivel de iluminación del alumbrado permanente y nocturno que se puede llevar a cabo mediante el empleo de luz blanca y buena reproducción cromática (LED) frente al de luz amarilla (sodio alta presión), el ahorro conseguido al emplear LED en lugar de sodio alta presión será mucho mayor.

A estas conclusiones hay que añadir el posible ahorro que se puede obtener en una instalación realizada con LED al poder apagar o reducir al mínimo la iluminación en periodos nocturnos sin circulación de vehículos, ya que los LED permiten un encendido y regulación instantáneos.

#### **4.7 Análisis económico**

Teniendo en cuenta que el ahorro energético se ha convertido en un objetivo prioritario para el Ministerio de Fomento, aquel debe integrarse en todas las actuaciones, aunque siempre se deberá mantener un nivel adecuado de seguridad vial. Como la optimización de las instalaciones de iluminación de carreteras puede colaborar de forma importante a que se consiga dicho objetivo, se ha considerado conveniente que todos los proyectos de iluminación incluyan un anejo en el que se exponga el análisis económico de la inversión.

Dicho anejo deberá incluir, como mínimo, lo siguiente:

- Memoria explicativa con la descripción de las alternativas contempladas y las hipótesis del análisis.
- Desglose de la inversión prevista.
- Previsiones de consumos durante el periodo de análisis.
- Costes de mantenimiento.
- Ahorros respecto a la alternativa 0 o base (normalmente será la existente).
- Análisis económico de la inversión.

A continuación se detalla el contenido que debe tener cada epígrafe:

##### **MEMORIA**

En la memoria se debe especificar cuál es el objeto del análisis económico, una breve descripción de las alternativas analizadas y las hipótesis básicas del estudio.

##### **INVERSIÓN**

En el cómputo de la inversión se deben considerar los conceptos siguientes:

- Gastos de estudios y proyectos
- Gastos de construcción
- Gastos de recepción y puesta en servicio de la instalación
- Gastos de reinversión realizados durante el periodo de estudio

Los gastos de construcción deben incluir:

- El coste de las acometidas, transformadores y centros de entrega
- El coste de los cuadros y sistema de regulación
- El coste de la red de distribución eléctrica
- El coste de los soportes, luminarias y lámparas y su instalación
- El coste de la obra civil

Como gastos de reinversión deben incluirse todos aquellos que se estime necesario realizar durante el periodo de estudio (tales como reposición de luminarias, etc.), en función de la vida útil de los diferentes elementos.

## CONSUMOS

Para cada alternativa se debe definir:

- En primer lugar, se establecerá el modelo de explotación anual. En cada año del periodo de estudio hay que estimar para cada tramo y régimen de la instalación, el número de horas de funcionamiento y el nivel luminoso en cada franja horaria, de acuerdo con los sistemas de mando y regulación instalados.
- A continuación se debe calcular la energía total que se prevé consumir cada año, en kWh.
- Seguidamente se deben estimar las tarifas a aplicar en cada año
- Por último, multiplicando los consumos anuales en kWh. por el precio de la tarifa correspondiente se obtendrá el coste anual estimado por consumo.

## COSTES DE MANTENIMIENTO

Se incluirán los costes estimados de:

- Las revisiones y actuaciones programadas.
- Las reparaciones que se prevean.
- La sustitución de las fuentes de luz, luminarias y otros elementos que puedan fallar o que se prevea que puedan llegar al final de su vida útil.
- La limpieza periódica de la instalación.

## AHORROS RESPECTO A LA ALTERNATIVA 0 O BASE

Cuando en el caso de mejoras o reposiciones se comparen alternativas, se debe realizar con respecto a la instalación existente, comparando las diferencias en inversión y en gastos de explotación durante el periodo de estudio. Se realizará el análisis de los flujos resultantes.

Es aconsejable tomar como referencia la alternativa base, restando de ella la alternativa de estudio. De esta forma la inversión aparecerá como un flujo negativo y los ahorros de explotación como flujos positivos. Estos ahorros representan el menor coste de explotación.

## ANÁLISIS ECONÓMICO

Su objeto es calcular la rentabilidad de las diferentes alternativas que se hayan contemplado, lo cual facilitará la selección de la más adecuada.

Para el periodo de estudio establecido (que generalmente será de 20 años) de cada alternativa se obtendrá el valor actual neto (VAN), y en el caso de proyectos de rehabilitación y mejora además se calculará la tasa interna de retorno (TIR) y el plazo de retorno de la inversión, si procede. Se obtendrán de la forma siguiente:

- El VAN se calculará para cada alternativa, obteniendo los valores actualizados de los flujos de los gastos de inversión y gastos anuales de explotación en el periodo de estudio, en el año en que se produce la inversión.
- La TIR del proyecto se calculará como la tasa de descuento que aplicada a los flujos de diferencias de inversiones y gastos (ahorros) entre alternativas da como resultado un valor actual neto del proyecto igual a cero. El cálculo de este índice solo tiene sentido como parámetro orientativo de la rentabilidad que se prevé obtener de la inversión a realizar en una mejora, rehabilitación o reposición. También se empleará, como se ha indicado antes, para el análisis de apantallamientos en las bocas de entrada (apartado 4.2).
- El plazo de retorno de la inversión se calculará como el periodo que transcurre desde la realización de la inversión hasta que la suma de los ahorros anuales es igual a esta.
- Se realizarán análisis de sensibilidad de los ratios de rentabilidad, en relación con variaciones de la inversión, del coste estimado de los consumos y de los costes de explotación.

El análisis se realizará con las hipótesis siguientes:

- Todas las magnitudes monetarias se expresarán en € corrientes.
- Periodo de estudio: En general se utilizará un plazo de 20 años.
- Tasa de descuento: Dependerá del coste del dinero, pero como regla general se puede utilizar la inflación más dos puntos.
- Inflación: La estimada oficialmente por el Gobierno.

En el caso de reposiciones, actualizaciones o modernización de instalaciones, el estudio considerará el ahorro en consumos energéticos respecto a la situación existente y el resto de costes diferenciales.

La presentación se puede realizar en cualquiera de los formatos que se obtienen utilizando los programas informáticos habituales, como hojas de cálculo, etc.

El análisis de rentabilidad debe concluirse con una explicación sobre los motivos económicos que justifican la elección de la alternativa seleccionada.

### **4.8 Cuadro de características de la instalación de iluminación**

En el proyecto de una instalación de iluminación deberá figurar un anejo denominado "Cuadro de características de la instalación de iluminación", en el que figuraran como mínimo los siguientes datos:

- Características del tráfico.
- Número de luminarias en cada tramo del túnel (umbral, transición, interior, salida) y tipo de las mismas.

- Potencia instalada por tramo y para cada régimen de alumbrado (días soleados, nublados, crepuscular, diurno y nocturno).
- Niveles lumínicos (lx, cd/m<sup>2</sup>) y potencia (kW) para cada tramo y régimen.
- Consumo teórico mensual y anual.
- Ratios:
  - Potencia por m<sup>2</sup> (kW/m<sup>2</sup>).
  - Consumos teóricos totales por m<sup>2</sup>. y por m.
  - Luminancia media (cd/m<sup>2</sup>.) para cada tramo y régimen.
  - Iluminancia media (lx.) para cada tramo y régimen.
  - Eficiencia energética (de acuerdo con los índices fijados en estas Recomendaciones).

Una vez finalizadas las obras, este cuadro deberá ser actualizado y figurar como integrante de la documentación final de la obra.

#### **4.9 Documentación a incluir**

Los proyectos de iluminación de túneles deberán cumplir lo que en cada momento establezca la Dirección General de Carreteras y contendrán como mínimo la documentación siguiente:

##### **DOCUMENTO Nº 1. MEMORIA Y ANEJOS**

###### **1.1 MEMORIA**

###### **1.2 ANEJOS**

ANEJO Nº 0 Antecedentes

ANEJO Nº 1 Justificación de la solución adoptada

ANEJO Nº 2 Cálculos luminotécnicos

ANEJO Nº 3 Cálculos eléctricos

ANEJO Nº 4 Cálculos estructurales

ANEJO Nº 5 Soluciones propuestas al tráfico durante la ejecución de las obras

ANEJO Nº 6 Replanteo

ANEJO Nº 7 Coordinación con otros organismos y servicios

ANEJO Nº 8 Expropiaciones e indemnizaciones

ANEJO Nº 9 Reposición de servicios

ANEJO Nº 10 Plan de obras

ANEJO Nº 11 Clasificación del contratista

ANEJO Nº 12 Justificación de precios

ANEJO Nº 13 Presupuesto de inversión

ANEJO Nº 14 Fórmula de revisión de precios

ANEJO Nº 15 Valoración de ensayos

ANEJO Nº 16 Análisis económico de alternativas

ANEJO Nº 17 Características de la instalación

DOCUMENTO Nº 2. PLANOS

DOCUMENTO Nº 3. PLIEGO DE PRESCRIPCIONES TÉCNICAS PARTICULARES

DOCUMENTO Nº 4. PRESUPUESTO

DOCUMENTO Nº 5. ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD

#### **4.10 Normativa a tener en cuenta en la redacción de proyectos**

Como es lógico, los proyectos deberán cumplir la normativa vigente que sea de aplicación en el momento de su redacción.

Además de la normativa general de carreteras de aplicación en el Ministerio de Fomento, se deberá cumplir la normativa específica vigente. A efectos orientativos y sin pretensión de ser exhaustivos, en la fecha de elaboración de las presentes Recomendaciones la normativa específica vigente es:

- Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión e Instrucciones Técnicas Complementarias (Real Decreto 842/2002 de 2 de Agosto de 2002).
- Reglamento de Eficiencia Energética en instalaciones de Alumbrado Exterior e Instrucciones Técnicas Complementarias (Real Decreto 1890/2008, de 14 de noviembre de 2008).
- Normas UNE, en particular: UNE-CR 14380 IN. Aplicaciones de Iluminación. Alumbrado de Túneles.
- Real Decreto 1955/2000 de 1 de diciembre, por el que se regulan las Actividades de Transporte, Distribución, Comercialización, Suministro y Procedimientos de Autorización de Instalaciones de Energía Eléctrica.
- Normas particulares y de normalización de la compañía suministradora de energía eléctrica en cada proyecto.
- Condiciones impuestas por los Organismos Públicos afectados.

Además deben tenerse en cuenta las Recomendaciones elaboradas por la Comisión Internacional de Iluminación, en particular:

- CIE 061-1984 Tunnel Entrance Lighting: A Survey of Fundamentals for Determining the Luminance in the Threshold Zone.
- CIE 088-2004 (2<sup>nd</sup> edition) Guide for the Lighting of Road Tunnels and Underpasses.
- CIE 189-2010 Calculation of Tunnel Lighting Quality Criteria.
- CIE 193-2010 Emergency Lighting in Road Tunnels.
- CIE 194-2011 On Site Measurement of the Photometric Properties of Road and Tunnel Lighting.

## **CAPÍTULO 5**

### **EJECUCIÓN DE OBRAS**

En este apartado se exponen los aspectos específicos de las obras de iluminación de túneles que es recomendable tener en cuenta en la ejecución de las mismas. Lógicamente, también se debe cumplir la normativa general de la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento que sea de aplicación.

#### **5.1 Replanteo**

Las obras se iniciarán con la comprobación del replanteo de las mismas. Antes de llevarlo a cabo es recomendable revisar el proyecto para comprobar la idoneidad del mismo. En especial, debe comprobarse su adecuación a la normativa eléctrica vigente y a las normas de la compañía suministradora y la vigencia tecnológica de los equipos previstos.

Seguidamente, después de proponer las actualizaciones que se estimen convenientes, se procederá a replantear en el terreno las obras proyectadas, señalizando la ubicación de los distintos elementos para comprobar su viabilidad.

Debe prestarse especial atención a que las acometidas se ejecuten en las ubicaciones adecuadas (debe acordarse con las compañías suministradoras su conformidad) y a las posibles interferencias con otros servicios.

#### **5.2 Realización de las obras**

Antes de iniciar las obras, el contratista someterá a la aprobación de la Dirección de Obra el Plan de Obra, con la programación de las actividades que tiene previsto llevar a cabo, detallando especialmente cuándo y cómo se prevé disponer de la aprobación técnica de la compañía suministradora y la legalización de la instalación.

La ejecución de la instalación debe llevarse a cabo de acuerdo con las prescripciones recogidas en el artículo 10 del REEIAE, Ejecución y puesta en servicio de las instalaciones. Además, las instalaciones de alumbrado exterior están sometidas al procedimiento general de ejecución y puesta en servicio que determina el artículo 18 del Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión, aprobado por el Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto.

Estas especificaciones generales se complementan con lo establecido en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares del Proyecto y las actualizaciones que haya sido necesario llevar a cabo.

Generalmente la ejecución de una instalación de alumbrado estará compuesta por:

- Obra civil: Cimentaciones de soportes, canalizaciones, arquetas y bases de cuadros.
- Colocación de la bandeja de distribución del cableado con sus distintos circuitos.
- Colocación de puntos de luz: Montaje de fuente de luz en luminarias, anclaje del soporte a la pared o techo del túnel y sujeción de luminaria al soporte.
- Tendido de cables (energía y comunicaciones).
- Montaje e instalación de los equipos de mando y maniobra en los cuadros de sector.
- Montaje y conexionado de los sistemas de regulación.
- Montaje y conexionado de los sistemas de mando (luminancímetro de control).



- Conexión eléctrico total de la instalación.
- Comprobación del funcionamiento del sistema de gestión del túnel.
- Legalización del proyecto en la Administración Autonómica.
- Contratación del suministro con la compañía suministradora.

Se establecerán controles de ejecución periódicos sobre todos los puntos antes descritos, comprobándose el correcto posicionamiento y conexionado de todos los elementos y una vez acabada la instalación se procederá a hacer pruebas de funcionamiento, para lo que no se deben emplear grupos electrógenos, a menos que lo autoricen los fabricantes de las fuentes de luz y de los equipos.

### **5.3 Control de calidad**

El control de la realización de las obras se realizará en dos fases: control de los materiales y control de ejecución.

#### **5.3.1 Control de los materiales y equipos**

Antes de la puesta en obra de los materiales, debe comprobarse que cumplen las prescripciones establecidas en el proyecto o aprobadas por la Dirección de Obra así como la normativa que los regula, para lo cual deben llevarse a cabo los ensayos o controles de cada elemento que se relacionan a continuación.

##### **5.3.1.1 Documentación general de la empresa suministradora**

Datos de empresa: Nombre de la empresa fabricante y, en su caso, del distribuidor, dirección/es, página/s web, números de teléfono y fax y personas de contacto.

- Certificado ISO 9001 de la empresa fabricante.
- Certificado ISO 14001, EMAS u otro que acredite que la empresa fabricante se encuentra adherida a un sistema de gestión integral de residuos.
- Catálogo publicado con especificaciones técnicas.

Además, de cada elemento deberá aportarse la documentación siguiente:

- Deberá poseer Marcado CE (se aportará certificado).
- En el caso de las luminarias, de los equipos estabilizadores reguladores de cabecera de línea y de los soportes, deberá presentarse Certificado Oficial del grado de protección (IP) y del grado de resistencia al impacto (IK) de los armarios que contengan a dichos equipos, que deberán ser los exigidos por el REBT.
- En caso de emplear módulos de LED, estos deberán cumplir las especificaciones contenidas en las normas UNE-EN 62031 y UNE-EN 62471 sobre seguridad fotobiológica (documentación acreditada por el fabricante del LED).

Además de esta documentación, en los distintos componentes de la instalación deberán hacerse los ensayos o controles que se indican a continuación, rechazándose todos aquellos componentes que no satisfagan las tolerancias mínimas exigidas por las Normas UNE-EN constructivas aplicables a los mismos (luminarias, balastos, equipos, etc.) o que incumplan especificaciones particulares recogidas en el Pliego de Prescripciones Particulares del Proyecto.

#### 5.3.1.2 Fuentes de luz

Se comprobará:

- Tipo y potencia de la fuente de luz.
- Los valores de tensión de arco e intensidad. Por muestreo, se elegirá un 5% del total de cada tipo y potencia y se comprobará con un balasto previamente comprobado, siguiendo las indicaciones que figuran en las inspecciones de equipos eléctricos.

En caso de emplearse LED, se realizará un muestreo del 5% y se procederá a realizar un ensayo de medición de corriente de alimentación desde el dispositivo de control al módulo de LED, determinándose asimismo los consumos, tanto del módulo de LED como del dispositivo electrónico de control. Si los valores medidos no coincidieran, teniendo en cuenta las tolerancias admisibles (aproximadamente del 10%) con los aportados previamente en la documentación, se procederá a ensayar otros dos elementos al azar, y en caso de no coincidir tampoco, se paralizará la ejecución de la prueba hasta que el suministrador no haya explicado convenientemente las diferencias encontradas.

#### 5.3.1.3 Equipos eléctricos auxiliares no regulables

Se comprobará por muestreo un 5% de los equipos para cada tipo y potencia de fuente de luz:

- En caso de balastos inductivos, la impedancia por muestreo del 5% de los balastos de cada tipo y potencia.
- En caso de balastos electrónicos, la tensión de alimentación a lámpara para tensión de red por muestreo del 5% de los balastos de cada tipo y potencia.
- Para los arrancadores, se examinará por muestreo el 1% de los distintos equipos completos con su lámpara, al objeto de ver su tensión de arranque y que dejan de suministrar impulsos transcurrido un determinado tiempo esté o no la lámpara encendida.
- En caso de utilizar fuentes de alimentación para dispositivos LED, este elemento deberá cumplir con las especificaciones contenidas en las normas UNE-EN 61347-2-13 y UNE-EN 62384 (documentación acreditada por el fabricante).

#### 5.3.1.4 Luminarias

Por muestreo, se elegirá un 5% del total de cada tipo y potencia y se comprobará:

- Apertura y cierre de los sistemas de acceso a la fuente de luz y al equipo eléctrico.
- Sistema de sujeción de la luminaria al soporte.
- Medidas eléctricas del circuito de lámpara instalado en la luminaria.

#### 5.3.1.5 Equipos auxiliares para regular flujo y consumo

Se comprobará el tipo de equipo suministrado, que podrá ser uno de los cuatro siguientes:

- Balasto de doble nivel.
- Balasto electrónico.
- Estabilizador regulador de cabecera de línea.
- Fuente de alimentación regulable para LED.

Y para cada uno de estos tipos se tomarán por muestreo un 5% de los equipos y se harán las siguientes comprobaciones:

- Balasto de doble nivel:
  - Tipo y potencia de la fuente de luz a la que está asignado.
  - Se medirá la impedancia del balasto en ambos regímenes.
  - Las pérdidas del balasto.
  - Si el relé de conmutación es de un solo contacto o tiene dos para conmutar la capacidad también.
  - Su funcionamiento (si es dando o quitando tensión).
- Balasto electrónico:
  - Tipo y potencia de la fuente de luz a la que está asignado.
  - La tensión en lámpara para una tensión de alimentación nominal.
  - Estabilización de tensión variando la tensión de entrada.
- Estabilizador regulador de cabecera de línea:
  - Tipo estático.
  - Existencia de by-pass y funcionamiento del mismo.
  - Tensión de salida al circuito que alimente.
  - Tensión de arranque de las lámparas.
  - Estabilización de tensión, variando la tensión de entrada.
  - Funcionamiento de la conmutación de régimen.
- Fuente de alimentación para LED:
  - Tipo, número de LED y consumos a los que está asignada
  - La intensidad de alimentación de los LED para una tensión de alimentación de red.
  - Regulación sobre intensidad de alimentación al variar las condiciones de regulación, que pueden ser varias: tensión, intensidad, etc.

#### 5.3.1.6 Elementos de control de los distintos regímenes

El sistema de mando deberá estar constituido preferiblemente por luminancímetros de control que, si el túnel es unidireccional, estará situado en la boca de entrada y si es bidireccional, uno en cada una las dos bocas, para que manden el régimen del tramo de umbral, que será el que defina el primer escalón de la curva de adaptación del ojo humano.

La altura de colocación del luminancímetro y su orientación hacia la boca de entrada serán comprobadas in situ y mediante orientación con láser u otro procedimiento similar.

Antes de instalarlos y conectarlos al sistema de gestión de los distintos circuitos o equipos regulables de las distintas fuentes de luz, deberán comprobarse los umbrales o escalones que se hayan calibrado previamente de acuerdo con el proyecto y que definirán los distintos regímenes (días soleados, nublados, crepuscular, nocturno, etc.) adoptados en la iluminación del túnel.

Una alternativa, muy utilizada hasta ahora, a la utilización de luminancímetros de control en las bocas de entrada de un túnel, es el empleo de células fotoeléctricas, que ejecutan los cambios de regímenes en función de la iluminancia exterior, en vez de en función de la variación de la luminancia exterior, no obstante, la magnitud que detectan, es decir, la iluminancia, no es la más adecuada para el conductor de un vehículo, pues el hecho de tener una baja iluminancia sobre la calzada no evita que el sol pueda estar en el campo visual del conductor, con lo que su adaptación sería muy defectuosa si se produjera para niveles acordes con lo que detecta la célula en cuanto al nivel en la calzada (ver apartado 3.7.2.1).

Por todo ello, no se recomienda la utilización de células fotoeléctricas como elemento de control de los regímenes de iluminación.

El tercer elemento que se puede utilizar para el encendido o apagado de los niveles de noche, medianoche o permanente es el reloj o interruptor horario, que permite el disparo de un determinado régimen en función de una hora del día determinada.

#### 5.3.1.7 Soportes

Se tomará un 5% del total de los soportes y se comprobará si son regulables en inclinación y que esta sea la correcta para cada luminaria de cada régimen y de cada tramo.

- Altura a la que va colocado el soporte.
- Espesor de la chapa metálica en la que esté construido y características del material.
- Tipo de protección (galvanizado en caso de acero, anodizado en caso de aluminio, etc.) y espesor de la capa de protección.

#### 5.3.1.8 Elementos de distribución eléctrica

Se comprobará:

- Secciones de conductores: Certificado del fabricante.
- Aislamiento de conductores: Ensayo de aislamientos.
- Conexionado de conductores.

### 5.3.2 Control de ejecución

#### 5.3.2.1 Fuentes de luz. Luminarias

Se comprobará:

- Medición de las pérdidas, en W.
- Con el circuito de lámpara montado en la luminaria, se comprobará el factor de potencia.

#### 5.3.2.2 Sistema de control y regulación

Se comprobará:

- Equipos auxiliares regulables (grado de protección del armario en IP e IK según REBT).
- Luminancímetros, interruptores horarios y células fotoeléctricas.
- Sistema de gestión (unidad central de proceso, comunicaciones y telecontrol).
- Analizadores de redes.

#### 5.3.2.3 Soportes

Se comprobará:

- Fijación de los soportes e inclinación de los mismos.
- Seguridad de la tornillería de fijación, de la luminaria al soporte y del soporte a la pared.

#### 5.3.2.4 Distribución eléctrica

Se comprobará:

- Colocación de bandejas.
- Colocación de conductores en tubos y bandejas: Comprobación visual.
- Conexión de conductores en arquetas y cuadros: Comprobación visual.

### 5.4 Recepción de las obras

La recepción de las obras debe tratarse desde dos puntos de vista: por un lado, hay que recibir las obras ejecutadas comprobando que cumplen las especificaciones prescritas en el proyecto y por otro, hay que llevar a cabo las inspecciones y verificaciones legales.

#### 5.4.1 Comprobaciones a realizar para la recepción

Una vez finalizada la instalación del alumbrado exterior se procederá a efectuar las mediciones eléctricas y luminotécnicas con objeto de comprobar las especificaciones previstas en el proyecto.

Deben realizarse las mediciones siguientes:

- Potencia eléctrica consumida por la instalación en los diferentes tramos y regímenes. Dicha potencia se medirá mediante un analizador de potencia trifásico con una exactitud mayor del 5%. Durante la medición de la potencia consumida, se registrará la tensión de alimentación y se tendrá en cuenta su desviación respecto a la tensión nominal, para el cálculo de la potencia de referencia utilizada en el proyecto.
- Luminancia media de la instalación en los diferentes tramos y regímenes. El valor de dicha luminancia será el valor medio de las luminancias medidas en los puntos de la cuadrícula de cálculo, de acuerdo con lo establecido en el Anejo 3 de estas Recomendaciones.
- Uniformidad de luminancia de la instalación en los diferentes tramos y regímenes. Para el cálculo de los valores de uniformidad media se tendrán en cuenta las mediciones individuales realizadas para el cálculo de la luminancia media.
- Iluminancia media de la instalación en los diferentes tramos y regímenes. El valor de dicha iluminancia será el valor medio de las iluminancias medidas en los puntos de la cuadrícula retícula de cálculo, de acuerdo con lo establecido en la ITC-EA-07.
- Uniformidad de iluminancia de la instalación en los diferentes tramos y regímenes. Para el cálculo de los valores de uniformidad media se tendrán en cuenta las mediciones individuales realizadas para el cálculo de la iluminancia media.
- Comprobación del incremento de umbral, aplicando la fórmula a partir de la luminancia de velo y la luminancia media de calzada medida.
- Funcionamiento de la iluminación de seguridad y de emergencia.
- Funcionamiento de la iluminación en caso de incidente o en caso de corte de comunicaciones con la unidad central de proceso.
- Comprobación de la modificación del régimen por el usuario del sistema de gestión centralizada.

Estas mediciones se realizarán para todos los niveles de iluminación de cada régimen (soleado, nublado, crepuscular, permanente y permanente reducida, etc.); todo ello según procedimiento previo y en cada tramo del túnel. (Se recomienda que la instalación sea verificada por una empresa independiente, o en su defecto la empresa fabricante, y emita el certificado correspondiente).

## 5.4.2 Verificaciones e inspecciones legales

### 5.4.2.1 Verificaciones.

La verificación de una instalación eléctrica es la comprobación de la correcta instalación y/o funcionamiento de la misma por parte de la empresa instaladora que la ejecuta.

Las instalaciones eléctricas en baja tensión deberán ser verificadas previamente a su puesta en servicio y según corresponda en función de sus características, siguiendo la metodología de la norma UNE HD 60364-6:2009.

### 5.4.2.2 Inspecciones

La inspección de una instalación eléctrica es la comprobación de la correcta instalación y/o funcionamiento de la misma por parte de un Organismo de Control.

Las instalaciones eléctricas en baja tensión, cuando estén obligadas a ser inspeccionadas según el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, deberán ser objeto de inspección, por un Organismo de Control, a fin de asegurar, en la medida de lo posible, el cumplimiento reglamentario a lo largo de la vida de dichas instalaciones.

Tanto las verificaciones como las inspecciones podrán ser:

- Iniciales: Antes de la puesta en servicio de las instalaciones.
- Periódicas.

Según lo descrito en el artículo 13 del REEIA, Inspecciones y verificaciones, sin perjuicio de la facultad que, de acuerdo con lo señalado en el artículo 14 de la Ley 21/1992, de 16 de julio, de Industria, posee la Administración Pública competente para llevar a cabo, por sí misma, las actuaciones de inspección y control que estime necesarias, según lo previsto en el artículo 12.3 de dicha Ley, el cumplimiento de las disposiciones y requisitos de eficiencia energética establecidos en dicho Reglamento deberá ser comprobado en todos los casos mediante una verificación inicial previa a la puesta en servicio de la instalación, realizada por un instalador autorizado en baja tensión y además, según la potencia instalada, mediante inspección inicial y verificaciones o inspecciones periódicas, llevadas a cabo de acuerdo con lo indicado en la ITC-EA 05.

Las inspecciones serán realizadas por instaladores autorizados de acuerdo con el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión, aprobado por el Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, y por organismos de control autorizados para este campo reglamentario según lo dispuesto en el Real Decreto 2200/1995, de 28 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de la infraestructura para la calidad y la seguridad industrial, y se realizarán las que se indican a continuación:

- Verificación inicial, previa a su puesta en servicio: Todas las instalaciones.
- Inspección inicial, previa a su puesta en servicio: Las instalaciones de más de 5 kW. de potencia instalada.
- Inspección periódica (cada 5 años) de las instalaciones de más de 5 kW.

Como resultado de la inspección o verificación, el organismo de control o el instalador autorizado, según el caso, emitirá un certificado de inspección o de verificación, respectivamente, en el cual figurarán los datos de identificación de la instalación, las mediciones realizadas y la posible relación de defectos, con su clasificación y la calificación de la instalación, que podrá ser:

- Favorable: Cuando no se determine la existencia de ningún defecto muy grave o grave.
- Condicionada: Cuando se detecte la existencia de, al menos, un defecto grave o defecto leve procedente de otra inspección anterior que no se haya corregido. En este caso:
  - A las instalaciones nuevas que sean objeto de esta calificación no les podrá ser suministrada energía eléctrica en tanto no se hayan corregido los defectos indicados y puedan obtener la calificación de favorable.
  - A las instalaciones ya en servicio se les fijará un plazo para proceder a su corrección, que no podrá superar los seis meses.
  - Transcurrido dicho plazo sin haberse subsanado los defectos, el Organismo de Control deberá remitir el certificado con la calificación negativa a la Administración Pública competente.
- Negativa: Cuando se observe, al menos, un defecto muy grave. En este caso:
  - Las nuevas instalaciones no podrán entrar en servicio en tanto no se hayan corregido los defectos indicados y puedan obtener la calificación de favorable.
  - A las instalaciones ya en servicio se les emitirá certificado negativo, que se remitirá inmediatamente a la Administración Pública competente.

#### 5.4.3 Documentación final

Para llevar a cabo la recepción final de las obras e instalaciones, se deberá presentar la documentación completa de la instalación, además del Manual de Mantenimiento y los resultados de las mediciones de las comprobaciones finales.

Además hay que elaborar el Proyecto de Obra Ejecutada (“as built”):

En la memoria del proyecto se concretarán las características de todos y cada uno de los componentes y de las obras ejecutadas. Entre otros datos, se deberán incluir:

- Titularidad de la instalación.
- Emplazamiento de la instalación.
- Uso al que se destina.
- Relación de luminarias, lámparas y equipos auxiliares instalados y su potencia para cada régimen y tramo del túnel.
- Factor de utilización ( $f_u$ ) y de mantenimiento ( $f_m$ ) de la instalación de alumbrado exterior, eficiencia de las lámparas y equipos auxiliares a utilizar ( $\epsilon_L$ ), rendimiento de la luminaria ( $\eta$ ), disposición espacial adoptada para las luminarias y, cuando proceda, la relación luminancia/iluminancia (L/E) de la instalación.
- Regímenes de funcionamiento previstos y descripción de los sistemas de mando y de regulación del nivel luminoso (incluyendo el manual correspondiente del sistema de gestión centralizado).
- Medidas adoptadas para la mejora de la eficiencia y ahorro energético.

Asimismo, de acuerdo con lo dispuesto en estas Recomendaciones, deberá incorporarse:

- Cálculo de la eficiencia energética de la instalación.
- Calificación energética de la instalación en función del índice de eficiencia energética.

La memoria del proyecto se complementará con los anexos relativos a los cálculos luminotécnicos (luminancias e iluminancias con sus uniformidades y deslumbramientos), al plan de mantenimiento a llevar a cabo y los correspondientes a la determinación de los

costes de explotación y mantenimiento. Se incluirán las modificaciones a que haya dado lugar la instalación real:

- Esquemas: Se elaborarán los esquemas de cableados, etc.
- Datos fotométricos: Se incluirán los datos fotométricos de las luminarias que se hayan instalado.
- Datos eléctricos: Se incluirán los datos y características eléctricas de fuentes de luz, equipos y sistemas de regulación.
- Certificados de la instalación y de los materiales. Se incluirán:
  - Los documentos de recepción de los materiales, especificando los proveedores, sus ensayos y certificados.
  - Los ensayos de control de la ejecución de las obras, así como los partes de no conformidades y las actuaciones tomadas.
  - Las comprobaciones realizadas para la recepción de las obras.
  - Los certificados del Ministerio de Industria y de Organismos de Control acreditados por ENAC.
- Manual de mantenimiento y explotación: Tal y como se exige en el REEIAE, se entregará un plan de mantenimiento programado de la instalación. Se entregará un manual para el control, mando y comunicaciones de la instalación, así como planos y mediciones de las obras realmente ejecutadas o bien formará parte del manual del programa de gestión centralizada del túnel que se entregará una vez finalizadas las obras.
- Inventario de acuerdo con lo establecido en el capítulo 6.



## CAPÍTULO 6

### MANTENIMIENTO Y EXPLOTACIÓN DE LAS INSTALACIONES

#### 6.1 Introducción

La fiabilidad y la disponibilidad de una instalación de iluminación dependen de su diseño y la calidad de ejecución, de la gestión y buen uso que se haga de la misma y del mantenimiento que se realice.

El plan de mantenimiento de una instalación debe redactarse preferiblemente con el proyecto de la instalación, de modo que se entregue con el mismo. Si no se hace de este modo, es probable que se pierda la oportunidad de que la mayor parte del mantenimiento sea programado y por tanto racional, y se caiga en el error de que sean las averías las que condicionen un mantenimiento casual. Es importante que el proyectista tenga en cuenta el futuro mantenimiento de la instalación en el momento de redactar el proyecto.

Un buen plan de mantenimiento debe pues analizar todos los fallos posibles de los sistemas y elementos que componen la instalación y establecer las soluciones y procedimientos para tratar de prevenirlos y repararlos en caso necesario.

Como se puede apreciar a lo largo de los apartados siguientes, cuando se habla de un plan de mantenimiento se está haciendo referencia implícita a uno de los diversos tipos de mantenimiento que se pueden dar, el mantenimiento preventivo, que debe ser el principal. No obstante, la importancia del mantenimiento correctivo es tal, que no puede quedar fuera de la consideración de un buen plan de mantenimiento, por lo que en los apartados que siguen se analizan detenidamente ambos tipos de mantenimiento, con la finalidad de que ambos se incluyan en el plan de mantenimiento.

#### 6.2 Normativa de aplicación

Para las instalaciones de alumbrado de túneles, la normativa más específica sobre su mantenimiento se encuentra recogida en el Reglamento de Eficiencia Energética para Instalaciones de Alumbrado Exterior (REEIAE), en el que se establecen una serie de directrices sobre cuál debe ser la función de las tareas de mantenimiento e incluso de cómo se deben controlar las características de la instalación en tiempo real. A continuación se exponen los aspectos más significativos.

##### 6.2.1 Obligatoriedad de un plan de mantenimiento en las instalaciones de alumbrado

En relación con el mantenimiento de las instalaciones de alumbrado exterior, el Reglamento de Eficiencia Energética establece en su artículo 12.3:

*“Todas las instalaciones deberán disponer de un plan de mantenimiento que comprenderá fundamentalmente las reposiciones masivas de lámparas, las operaciones de limpieza de luminarias y los trabajos de inspección y mediciones eléctricas. La programación de los trabajos y su periodicidad, se ajustarán al factor de mantenimiento adoptado, según lo establecido en la ITCEA-06”.*

Asimismo, el citado reglamento en su artículo 12.4 dice:

*“Al objeto de disminuir los consumos de energía eléctrica en los alumbrados exteriores, el titular de la instalación llevará a cabo, como mínimo una vez al año, un análisis de los consumos anuales y de su evolución, para observar las desviaciones y corregir las causas que las han motivado durante el mantenimiento periódico de la instalación”.*

#### 6.2.2 Necesidad de un registro de los elementos componentes y su histórico

Asimismo, el REEIAE expone la necesidad de disponer de un documento de registro de los elementos que componen las instalaciones de alumbrado, y en su artículo 12.5 dice:

*“En las instalaciones de alumbrado exterior será necesario disponer de un registro fiable de su componentes incluyendo las lámparas, luminarias, equipos auxiliares, dispositivos de regulación del nivel luminoso, sistemas de accionamiento y gestión centralizada, cuadros de alumbrado, etc.”*

#### 6.2.3 Necesidad de un mantenimiento correcto de la instalación

En la ITC-EA-06 del Reglamento de Eficiencia Energética se dice:

*“La peculiar implantación de las instalaciones de alumbrado exterior a la intemperie, sometidas a los agentes atmosféricos, el riesgo que supone que parte de sus elementos sean fácilmente accesibles, así como la primordial función que dichas instalaciones desempeñan en materia de seguridad vial, así como de las personas y los bienes, obligan a establecer un correcto mantenimiento de las mismas”.*

*“Para garantizar en el transcurso del tiempo el valor del factor de mantenimiento de la instalación, se realizarán las operaciones de reposición de lámparas y limpieza de luminarias con la periodicidad determinada por el cálculo del factor”.*

#### 6.2.4 Responsabilidad de la ejecución del plan de mantenimiento

En la ITC-EA-06 del Reglamento de Eficiencia Energética se dice:

*“El titular de la instalación será el responsable de garantizar la ejecución del plan de mantenimiento de la instalación descrito en el proyecto o memoria técnica de diseño”.*

#### 6.2.5 Control y registro de las operaciones de mantenimiento

En la ITC-EA-06 del Reglamento de Eficiencia Energética se dice:

*“Además, con objeto de facilitar la adopción de medidas de ahorro energético, se registrará:*

- Consumo energético anual.*
- Tiempos de encendido y apagado de los puntos de luz.*
- Medida y valoración de la energía activa y reactiva consumida, con discriminación horaria y factor de potencia.*
- Niveles de iluminación mantenidos.*

*El registro de las operaciones de mantenimiento de cada instalación se hará por duplicado y se entregará una copia al titular de la instalación”.*

*“Tales documentos deberán guardarse al menos durante cinco años, contados a partir de la fecha de ejecución de la correspondiente operación de mantenimiento”.*

### 6.3 Inventario de instalaciones. Elementos y características

Antes de redactar un plan de mantenimiento es necesario realizar previamente un inventario de los elementos componentes de la instalación susceptibles de mantenimiento o que precisen operaciones de conservación en su conjunto.

El inventario constará de una base de datos específica de la instalación, que servirá para conocer la evolución de la misma y que proporcionará los datos necesarios para poder realizar los balances energéticos y comprobar si la instalación es o no eficiente y si se puede mejorar.

Según los criterios de la Asociación Española de Mantenimiento, los elementos componentes básicos a inventariar en una instalación de alumbrado son:

- Módulos de medida o puntos de suministro
- Centros de mando o cuadros de control
- Puntos de luz (fuentes de luz, luminarias, equipos eléctricos auxiliares, soportes, etc.).

En el Anejo 2 del presente documento se adjunta el método para realizar el inventario. Cada elemento tiene asignada una ficha con la que quedan identificados mediante un código todos los elementos de la instalación de alumbrado, así como sus características principales.

Aunque existe un protocolo para realizar las Auditorías Energéticas en las instalaciones de alumbrado exterior redactado por el Comité Español de Iluminación (CEI) y el Instituto de Diversificación y Ahorro Energético (IDAE), en el que se especifican los datos a recoger en campo para la confección de un inventario para la redacción de las citadas auditorías, a continuación se expone de un modo más práctico y particularizado cuáles son los datos necesarios para la realización de un inventario de instalaciones de iluminación de túneles, sin entrar en ningún momento en contradicción con los datos establecidos por el protocolo.

El inventario constará de una base de datos de la instalación, que servirá para conocer la evolución de la misma y que proporcionará la información necesaria para poder realizar los balances energéticos y comprobar si la instalación es o no eficiente y si se puede mejorar.

A efectos de particularizar para cada uno de los elementos componentes descritos en el inventario, se confeccionarán unas fichas que servirán como indicador de trazabilidad de los mismos.

#### 6.3.1 Estructura del inventario

De todas las instalaciones de alumbrado hay que elaborar su inventario. Es recomendable realizarlo con los epígrafes y códigos que se indican a continuación.

##### 6.3.1.1 Identificación de la instalación

Claves en función de:

- Demarcación.
- Provincia.
- Carretera.
- P.k. inicial y p.k. final.

- Margen.
- Nombre del túnel.
- Tipo (unidireccional o bidireccional).
- Longitud del túnel.
- CUPS.
- Potencia total instalada.
- Potencia total contratada.
- Identificador del túnel en el inventario (si existe).

#### 6.3.1.2 Elementos de la instalación

Debemos tener en cuenta que normalmente un túnel está dividido en varios tramos de iluminación (accesos, umbral, transición 1, transición 2, transición 3, etc.), y que el nivel de iluminación (también denominado régimen de iluminación) depende de la hora del día o del nivel de iluminación exterior en ese momento. Los regímenes de iluminación normalmente son: soleado, nublado, crepuscular, nocturno y reducido.

Los elementos a tener en cuenta en el inventario son:

- Generales:
  - Tráfico.
  - Horas de funcionamiento totales anuales previstas.
  - Horas de funcionamiento anuales con potencia reducida.
  - Nivel de reducción.
  - Luminancias (media, máxima y mínima para cada tramo y umbral).
  - Iluminancias (media, máxima y mínima para cada tramo y umbral).
  - Consumo teórico kWh.
- Módulos de medida y cuadros de mando:
  - Potencia instalada (general y de iluminación).
  - Potencia contratada (general).
  - Nº de contadores (identificación de cada uno, general y de iluminación).
  - Analizadores de redes, contactores, etc.
- Conductores
  - Tipo y sección.
  - Longitud.
  - Tipo de conducción.
  - Fabricante.
- Puntos de luz
  - Nº total (desglose por potencias).
  - Nº identificador inicial.
  - Nº identificador final.
  - Ficha por cada punto donde conste: Altura, potencia de fuente de luz, luminaria, tipo de luminaria, vida útil de la fuente de luz, tipo de elementos accesorios (balasto, etc.), fabricante, fecha de la instalación, fecha de la última reposición, régimen y tramo al que pertenece, etc.
- Sistema de regulación:
  - Tipo de sistema empleado.
  - Potencia nominal del mismo.
  - Capacidad de regulación en porcentaje de consumo y de flujo luminoso.
- Sistema de mando:
  - Nº total de luminancímetros o de células fotoeléctricas.
  - Nº de identificación de cada aparato detector (luminancímetro o célula fotoeléctrica).
  - Situación y localización: Altura, punto kilométrico o lugar dentro del túnel.

- Ficha para cada aparato detector donde conste: Fabricante, modelo, escalas de medición, umbrales de disparo de los diferentes regímenes, tipos de salida para conexiones a sistema de control.
- Sistema de Comunicaciones (fibra óptica, concentradores, telecontrol):
  - Tipo de conexión con la unidad central de telecomunicaciones (fibra óptica, línea eléctrica, Vía radio, etc.).
  - Características del sistema de telecontrol (protocolo de comunicaciones, programa de control,...).
- Soportes:
  - Tipo de soporte (bandeja, soporte independiente anclado a pared, ...).
  - Tipo de material del soporte y espesor del mismo (acero, aluminio, ...).
  - Tipo de protección del material empleado y espesor de la protección (galvanizado, anodizado, ...).
  - Altura de instalación.
- Bandejas:
  - Tipo de bandeja, metálica o de PVC.
  - Recubrimiento de la bandeja (GS ó GC).
  - Tapa de la bandeja para la subida.
  - Dimensiones de la bandeja y de la tapa.

De cada elemento se incluirá la información que se especifica en los apartados siguientes.

### 6.3.2 Módulos de medida o punto de suministro

Este tipo de elementos o equipos son normalmente equipos en alquiler, por lo que las operaciones de mantenimiento corresponden a la compañía suministradora de electricidad.

También pueden existir contadores de iluminación para el control interno de la instalación que serán instalados y gestionados por el propietario de la misma.

Se deben tomar los datos siguientes:

- Código identificador, que debe ser único.
- Nº de suministro o de contrato de la compañía suministradora de electricidad.
- Nº de contador de potencia activa. Dato fundamental para poder localizar el nº de suministro o de contrato, que en definitiva es el código identificador único que va a permitir seguir el histórico de consumos, siendo este número el que va a permanecer a lo largo de toda la vida de la instalación.
- Nº de contador de energía consumida en iluminación, ya sea general o para cada línea o tramo.
- Nº de contador de potencia reactiva.
- Nombre del vial de circulación y punto kilométrico donde está situado el equipo.
- Detalle de la localización, si fuera preciso.
- Fecha de instalación con indicación de la vida útil dada por el fabricante.
- Fecha en la que se toman los datos.
- Sección de la acometida y tipo de conductor. Este dato es muy importante ya que a lo largo del tiempo puede ser necesario realizar pequeñas ampliaciones, donde se incrementan los puntos de luz y potencias. Por tanto, conocer la sección de la acometida y el material de esta permitirá tomar decisiones sobre la capacidad de ampliación de esa parte de la instalación.
- Tipo de suministro.
- Foto del elemento componente.

Estos datos son importantes para una posterior gestión de la contabilidad energética de la instalación, ya que sin el identificador del contrato no se pueden “cargar” los datos de facturación de la compañía suministradora en cualquiera de las herramientas informáticas que existen en el mercado para realizar la mencionada contabilidad. Hoy en día, dicha contabilidad es susceptible de ser contrastada con los datos de consumo que muchos de los autómatas que existen el mercado registran día a día en las horas de funcionamiento de la instalación, permitiendo realizar una gestión energética de la instalación de forma eficiente.

### 6.3.3 Centros de mando o cuadros de control

Estos elementos o equipos son los más importantes de la instalación, ya que actúan como su “corazón”. Sobre este equipo y sus componentes recaen las acciones de encendido y apagado de la instalación, la protección de los circuitos de salida, las protecciones de las maniobras, etc. Es fundamental por tanto, identificar el componente y la trazabilidad de cada uno de ellos, por lo que la base de datos específica de los centros de mando o cuadros de control debe tener la información siguiente:

- Código identificador. Este código debe ser único.
- Nombre o número del centro de mando.
- Fecha de instalación con indicación de la vida útil dada por el fabricante.
- Fecha de la toma de datos.
- Código del módulo de medida que suministra energía.
- Nombre del vial, o en su defecto detalle de localización.
- Circuitos de salida, donde se integrarán también los datos complementarios:
  - Nombre o número.
  - Tipo.
  - Protecciones magnetotérmicas.
  - Protecciones diferenciales.
  - Nº de contador de energía consumida en ese circuito.
  - Tipo de conductor.
  - Sección del conductor.
  - Tipo de canalización.
  - Tipo de servicio (ventilación, iluminación permanente, iluminación soleado, nublado etc.).
- Protecciones generales con:
  - Interruptores generales.
  - Protecciones magnetotérmicas.
  - Protecciones diferenciales.

Para cada una de dichas protecciones se identificarán: intensidad, polaridad, sensibilidad en caso de las protecciones diferenciales, marca y modelo.

Asimismo, es necesario inventariar los componentes de la parte de maniobra donde, además de las protecciones magnetotérmicas y diferenciales que se identificarán con los criterios anteriormente indicados, habrá que añadir:

- Contactores o relés existentes de los que se indicará al menos cantidad, polaridad, intensidad, marca, etc.
- Reloj: Se hará constar si es astronómico, analógico, comunicaciones, etc., incluyendo marca y modelo.
- Sistema de regulación de flujo y gestión de energía, donde además de incluir:
  - Marca (nombre del fabricante).
  - Modelo.
  - Tipo de funcionamiento (estático, dinámico, etc.).

- Fecha de la instalación.
- Hora de encendido en régimen nominal.
- Hora de cambio a régimen reducido.
- Hora de cambio a régimen nominal.
- Hora de apagado.
- Otras características.

También se deberá hacer constar si pertenece a alguna de las siguientes tipologías:

- Estabilización-reducción en cabecera de línea.
- Control punto a punto.

Si existiera un sistema de ahorro de energía ya en desuso, tal como un doble circuito o un corte de fase, se deberá hacer constar también en la ficha.

En caso de existir datos con equipos telegestionados se deberá incluir el tipo de comunicaciones utilizadas, como por ejemplo cable, radio, GSM, GPRS, etc.

#### 6.3.4 Conductores

Los conductores deberán ser identificados con los circuitos a los que pertenecen, y se registrarán los datos siguientes:

- Cuadro de sector al que están conectados.
- Fecha de la instalación con indicación de la vida útil dada por el fabricante.
- Circuito al que pertenecen.
- Tipo de conductor y su aislamiento.
- Sección del conductor.
- Longitud del conductor.
- Fabricante.
- Régimen.
- Tramo.

#### 6.3.5 Puntos de luz

Los datos mínimos a recoger en la base de datos propia de estos elementos componentes son los siguientes:

- Código de identificación del punto de luz. Este debe ser único.
- Fecha de la instalación con indicación de la vida útil dada por el fabricante.
- Fecha en la que se toman los datos de inventario.
- Localización del punto.
- Número de orden del punto de luz.
- Régimen.
- Tramo.

A continuación se desglosan las identificaciones de los distintos componentes del punto de luz:

- Soporte del punto de luz.
  - Tipo de soporte, distinguiendo al menos entre:
    - Montaje sobre bandeja.
    - Montaje en soporte independiente anclado a pared.
    - Otros.

- Altura del punto de luz: Puede ser o no igual a la del soporte.
- Luminaria:
  - Tipo de luminaria. Donde se debe distinguir al menos entre:
    - Distribución simétrica.
    - Distribución a contraflujo.
    - Otros.
  - Marca (fabricante) de la luminaria.
  - Modelo de luminaria. En este caso también se pueden incorporar las características fotométricas, desmontaje y montaje de componentes, referencias de componentes y demás datos facilitados por el fabricante.
  - Año de fabricación (si es sencillo de consignar).
  - Número de fuentes de luz que aloja (si es monolámpara o bilámpara).
- Fuente de luz:
  - Tipo de fuente de luz. Al menos se distinguirá entre:
    - Vapor de sodio de alta presión.
    - Vapor de sodio de baja presión.
    - Fluorescentes.
    - Fluorescentes compactas.
    - LED.
    - Otros tipos.
  - Marca (fabricante) de la fuente de luz.
  - Modelo de la fuente de luz. En el que se puede introducir la vida útil y % de reducción de tensión que admite, así como los equipos eléctricos auxiliares compatibles con ella.
  - Potencia de la fuente de luz (W).
- Equipo eléctrico auxiliar:
  - Tipo de equipo eléctrico auxiliar. Se distinguirá entre:
    - Balasto de simple nivel.
    - Balasto de doble nivel.
    - Balasto electrónico (regulable o no regulable).
    - Fuente de alimentación (LED).
  - Situación del equipo auxiliar. Si está incorporado o no en la luminaria.
  - Estado. Mediante una apreciación objetiva de la persona que está realizando las labores de inventario especificará si a simple vista el estado del equipo es bueno o malo.
  - Datos eléctricos (impedancia, pérdidas en W., etc.). Estos datos, aunque no son indispensables, ayudarán mucho a la hora del mantenimiento preventivo.

### 6.3.6 Sistemas de Control

- Tipo de detector (luminancímetro y/o relojes horarios).
- Código de identificación del dispositivo detector. Este debe ser único.
- Fecha de instalación con indicación de la vida útil dada por el fabricante.
- Fecha en que se toman los datos de inventario.
- Localización del dispositivo detector.
- Regímenes y umbrales de activación o desactivación.
- Sistema de gestión.
- Sistema de comunicación (fibra óptica, línea eléctrica, inalámbrico.....).



## 6.4 Mantenimiento programado o preventivo

El mantenimiento programado o preventivo consiste en la ejecución de acciones, tales como la sustitución de piezas o la realización de actividades de mantenimiento o inspecciones, cuando ha transcurrido un tiempo fijado de antemano, con la finalidad de disminuir la probabilidad de daños y averías.

Este tipo de mantenimiento se basa en la programación de las operaciones de mantenimiento o inspección, con lo que lógicamente se gestiona mucho mejor el personal y los costes de reparaciones puntuales y ocasionales. En realidad se basa en evaluar de forma documentada cuál es la vida útil de los diferentes elementos componentes de la instalación, sin entrar en conceptos de vida estadística, sino acudiendo a resultados que permiten obtener una eficiencia importante.

Las ventajas del mantenimiento programado son:

- Controla el envejecimiento de los elementos o equipos y permite aumentar su vida útil.
- Disminuye el tiempo de intervención debido a que es posible planificar el trabajo.
- Reduce los costes de mantenimiento por desplazamiento y pérdidas de tiempo.
- Mejora la calidad de los trabajos.
- Equilibra las cargas de trabajo del servicio de mantenimiento.
- Mejora el control contable de las intervenciones.
- Mejora la gestión de los repuestos.
- Detecta situaciones anómalas que pueden desencadenar fallos en la instalación.

### 6.4.1 Operaciones de mantenimiento programado

Existen dos clases diferentes de operaciones de mantenimiento. Las primeras se refieren a las tareas realizadas con carácter general en la instalación (suelen ser inspecciones y comprobaciones) y las segundas se refieren a las tareas llevadas a cabo en los elementos componentes de la instalación.

#### 6.4.1.1 Operaciones de carácter general

- Vigilancia general diaria, que consiste en inspeccionar el funcionamiento global de la instalación, recogiendo datos sobre:
  - Puertas de armarios o de cuadros de sector.
  - Encendido de todos y cada uno de los puntos de luz del circuito que pertenezca al régimen de funcionamiento.
- Lectura de consumos (lectura de contadores).
- Comprobación de la facturación mensual y si es acorde con la tarifa aplicada.
- Medición de niveles luminosos.
- Comprobación y medición de las tierras de la instalación.

A continuación se describen, aplicándolas a los elementos componentes propios de la instalación, las operaciones correspondientes a un mantenimiento programado en una instalación de alumbrado exterior.

#### 6.4.1.2 Operaciones en los componentes de la instalación

Las operaciones básicas de cada componente de la instalación son las siguientes:

- Módulos de medida o punto de suministro:

- Lectura de los contadores, tanto de potencia activa como reactiva, comparando con históricos.
- Comprobación del estado de las conexiones en los puntos de suministro (recalentamientos, etc.).
- Cuadros de sector:
  - Medición de temperaturas.
  - Medición de tensiones.
  - Comprobación de funcionamiento del reloj.
  - Comprobación del horario correcto de encendidos, apagados y cambios de régimen.
  - Comprobación del funcionamiento del sistema de regulación y ahorro.
- Conductores:
  - Comprobación visual de conexiones y revisión de arquetas.
  - Mediciones eléctricas sobre las tres fases y el neutro (sistemas trifásicos).
  - Comprobación del equilibrio de cargas.
- Soportes:
  - Comprobación visual del estado del soporte:
    - Si es de acero: Estado del galvanizado o de la pintura, corrosión en la placa base y en la tornillería.
    - Si es de aluminio: Estado del anodizado o pintura, comprobación de pares galvánicos entre la placa base y la tornillería y pared del túnel, etc.
- Luminarias:
  - Comprobación de integridad de la misma.
  - Comprobación de alineación e inclinación.
  - Comprobar anclaje al soporte.
  - Comprobación de conexiones eléctricas a la alimentación y a puesta a tierra.
  - Comprobación de ensuciamiento interior del conjunto óptico o del alojamiento de auxiliares.
  - Mediciones fotométricas, mediante comprobación de ciertos valores puntuales.
  - Comprobación de la funcionalidad de los sistemas acceso a fuente de luz y equipo.
  - Limpieza de luminarias.
- Fuentes de luz:
  - Comprobación del número de horas de funcionamiento.
  - Comprobación del flujo luminoso, mediante mediciones de iluminación puntuales.
  - Medición de valores eléctricos (intensidad, tensión en lámpara, etc.).
  - Sustitución de fuentes de luz.
- Equipos eléctricos auxiliares:
  - Funcionamiento correcto de lámpara, mediante mediciones de valores eléctricos (intensidad, tensión en lámpara, etc.).
  - Factor de potencia.
  - Balasto:
    - Medición de impedancia.
    - Pérdidas eléctricas.
  - Arrancador:
    - Medición con sonda picos de tensión de arranque.
  - Condensador:
    - Medición del factor de potencia en funcionamiento.
  - Fuente de alimentación para LED:
    - Medición de intensidad.
    - Variación de tensión de alimentación al variar la tensión de red.
- Sistemas de mando de los regímenes de iluminación:

Aquí se hace referencia a los elementos de control que se emplean para la regulación de los distintos circuitos que constituyen los alumbrados de refuerzo en las distintas zonas del túnel. Las operaciones básicas a realizar son:

- Comprobación de orientación y ubicación. Si es una célula revisar que no hay ningún obstáculo que haya podido interferir sobre el detector (por ejemplo crecimiento de árboles u otros). Si es un luminómetro, comprobar que está bien orientado hacia la boca del túnel y su posición es la inicial de su instalación.
  - Comprobación del calibrado. Que el detector no haya variado su umbral de actuación.
  - Comprobación de actuación. Es decir, que se dispare correctamente la entrada o salida de un circuito de refuerzo o de reducción de un determinado régimen.
- Sistemas de regulación de nivel de flujo y ahorro de energía. Debido a que hay varios sistemas, se particularizará para cada uno de ellos, pero las operaciones básicas son:
- Comprobación mediante lecturas de contador de que se cumplen los ahorros previstos.
  - Comprobación mediante lecturas de iluminancia en ciertos puntos concretos de cuánto se reduce el nivel en cada tramo y para cada régimen.
  - Medición del factor de potencia.
  - Medición de los valores eléctricos de las fuentes de luz, tensión, intensidad, etc.
  - Comprobar el correcto funcionamiento del sistema de gestión a nivel central y a nivel de punto de luz.

#### 6.4.2 Descripción y frecuencia de las operaciones de mantenimiento programado

Es evidente que muchas de las operaciones descritas son totalmente de apreciación visual, por lo que su definición es muy sencilla. No obstante a continuación se describe también en qué consiste cada operación de medición enunciada previamente.

##### 6.4.2.1 De carácter general

- Vigilancia general diaria. Tiene un carácter totalmente visual, observándose el estado de:
  - Puertas de armarios o de cuadros de sector por si están abiertas. Semanal
  - Encendido de todos y cada uno de los puntos de luz, comprobándose visualmente y anotándose los que estén apagados mediante el código de identificación de cada uno de ellos (para todos los regímenes y tramos). Diaria.
- Lectura de consumos (lectura de contadores). Se leen in situ los contadores. Mensual.
- Comprobación de la facturación mensual y si es acorde con la tarifa aplicada. Se comprueban los listados enviados por la compañía y se comprueban todos los datos de facturación, potencia contratada, tarifa aplicada, reactiva, etc. Mensual.
- Medición de niveles luminosos. Esta operación se describe en los anejos de estas Recomendaciones. Mensual para mediciones puntuales y anual para mediciones generales.
- Comprobación de las tierras de la instalación. Se trata de comprobar que no hay conductores de puesta a tierra que estén desconectados de las picas o de la red de tierras y además medir con un polímetro la resistencia óhmica de las tierras. Anual.

##### 6.4.2.2 De carácter particular

- Módulos de medida o puntos de suministro:
  - Lectura de los contadores, tanto de potencia activa, como de reactiva, comparando con históricos. Operación ya descrita. Mensual.

- Comprobación del estado de las conexiones en los puntos de suministro (recalentamientos, etc.). Totalmente visual. Mensual.
- Cuadros de sector:
  - Medición de temperaturas. Con termómetro por infrarrojos. Mensual. Además se recomienda un análisis termográfico anual.
  - Medición de tensiones. Con voltímetro o polímetro. Mensual.
  - Comprobación del funcionamiento del reloj. Mediante la observación de su funcionamiento. Bimensual.
  - Comprobación del horario correcto de encendidos, apagados y cambios de régimen. Visión de los momentos en que enciende, apaga y cambia de régimen. Bimensual.
  - Comprobación del funcionamiento del sistema de regulación. Ayudándose de las lecturas de contadores. Mensual.
- Conductores:
  - Comprobación visual de conexiones y revisión de arquetas; tarea visual comprobando que no hay ninguna conexión suelta de su terminal o que ofrezca aspecto de estar recalentada. Anual.
  - Mediciones sobre las tres fases y el neutro (sistemas trifásicos). Se miden las intensidades que circulan por los conductores de cada fase y del neutro, para comprobar que no está cortado el neutro, ni que hay retorno de corrientes por el neutro. Bimensual.
  - Comprobación de equilibrio de cargas. Se comprueban los consumos por fase y las intensidades medidas y se verifica que no hay un desequilibrio de cargas o que hay una fase con más carga que las otras de forma exagerada. Bimensual.
- Bandejas:
  - Comprobación del estado de la bandeja. Operación eminentemente visual. Anual.
- Soportes:
  - Comprobación del estado del soporte. Operación eminentemente visual en primera instancia, pero complementada por otras que suponen ensayos de medición.
    - Si es de acero: Estado del galvanizado o de la pintura, corrosión en la placa de fijación y en la tornillería. Si se observan desprendimientos de pintura, se debe hacer un ensayo de adherencia como marcan las normas. En cuanto a la presencia de corrosión se limpiará para comprobar que no es temporal. Anual.
    - Si es de aluminio: Estado del anodizado o pintura, comprobación de pares galvánicos entre la placa base y la tornillería, etc. Operación visual. Anual.
- Luminarias:
  - Comprobación de integridad de las mismas. Operación visual para observar que no hay piezas sueltas ni rotas. Mensual.
  - Comprobación de alineación e inclinación, Operación visual, que de detectar algún fallo puede requerir utilizar algún medidor de ángulos o calibre. Anual.
  - Comprobar anclaje al soporte. Operación visual para comprobar que no hay tornillos sueltos o flojos. Anual.
  - Comprobación de conexiones eléctricas a la alimentación y a puesta a tierra. Operación visual. Anual.
  - Comprobación de ensuciamiento interior del conjunto óptico o del alojamiento de auxiliares. Operación visual. Anual.
  - Mediciones fotométricas, mediante comprobación de ciertos valores puntuales. Empleando un luxómetro se mide al pie de la luminaria, entre dos luminarias consecutivas en el punto intermedio en el lado de la línea blanca de la calzada y algún otro punto fuera de los carriles de circulación. Esta operación se repite para cada tramo del túnel (umbral, uno solo de transición, interior, etc.). Semestral.

- Comprobación de la funcionalidad de los sistemas de acceso a fuente de luz y equipo. Simplemente por accionamiento de los mismos, se comprueba si abren y cierran adecuadamente. Anual.
- Limpieza de las luminarias. Anual.
- Fuentes de luz:
  - Comprobación del número de horas de funcionamiento. Es preciso saber la fecha y hora en que se encendió por primera vez la fuente de luz en particular, y se comprueban las horas que ha funcionado, anotándose si ha habido apagados del punto de luz. Mensual.
  - Comprobación del flujo luminoso, mediante mediciones de iluminación puntuales. Es la misma operación que la de mediciones fotométricas de la luminaria, pero también hay que medir en régimen máximo y en régimen reducido. Semestral.
  - Medición de valores eléctricos (intensidad, tensión en lámpara, etc.). Con un polímetro se miden los valores eléctricos de una lámpara por tramo y régimen. Semestral.
  - Sustitución de lámparas: Al final de la vida útil.
- Equipos eléctricos auxiliares:
  - Funcionamiento correcto de lámpara, mediante mediciones de valores eléctricos (intensidad, tensión en lámpara, etc.). Operación descrita para las fuentes de luz. Mensual.
  - Factor de potencia, se mide el factor de potencia con un polímetro. Mensual.
  - Balasto:
    - Medición de impedancia. Operación llevada a cabo solo en caso de haberse medido valores anormales en los valores eléctricos del circuito de lámpara. Ocasional.
    - Pérdidas eléctricas. Lo mismo que la operación anterior. Ocasional.
  - Arrancador:
    - Medición de picos de tensión de arranque. Solo en caso de que la lámpara no arranque con una sonda de alta tensión. Ocasional.
  - Condensador:
    - Medición del factor de potencia en funcionamiento. Operación ya realizada en el conjunto del equipo eléctrico. Mensual.
  - Fuente de alimentación para LED:
    - Medición de intensidad. Con polímetros o medidores especiales de baja corriente. Anual.
    - Variación de tensión de alimentación a los LED al variar la tensión de red. Igual que antes. Anual.
  - Sistemas de mando de los regímenes de iluminación:
    - Comprobación de orientación y ubicación. Si es una célula o luminancímetro revisar semestralmente.
    - Comprobación del calibrado. Anual.
    - Comprobación de actuación. Anual.

#### 6.4.3 Verificaciones e inspecciones obligatorias periódicas

Serán objeto de verificaciones periódicas, cada 5 años, todas las instalaciones eléctricas en baja tensión de alumbrado exterior con potencia instalada inferior a 5 kW.

Asimismo serán objeto de inspecciones periódicas, cada cinco años, todas las instalaciones eléctricas en baja tensión de alumbrado exterior con potencia instalada superior a 5 kW.

## 6.5 Mantenimiento casual o correctivo

Se entiende como mantenimiento casual o correctivo la acción o acciones de reparación cuando las incidencias o averías ya se han producido en cualquiera de los componentes de la instalación, dejándolos en condiciones aceptables de funcionamiento; generalmente, su existencia se conoce mediante avisos o alarmas; para que el método de corrección sea racional y eficiente debe actuarse en función de la importancia de la incidencia.

Como consecuencia de lo anterior aparece la necesaria figura del responsable del centro de servicio (encargado, etc.), es decir, la persona que realiza las labores de análisis, asignación y planificación de la ejecución de estos avisos, pasándolos al estado de petición de servicio u orden de trabajo. Todos estos avisos deben analizarse, comprobar si son o no redundantes y el resto de aspectos antes de la asignación a una persona para que ejecute este trabajo y una fecha de realización.

El problema fundamental de este sistema de mantenimiento casual es que las incidencias aparecen de forma totalmente aleatoria, lo que hace muy difícil su previsión y planificación.

Ante la dispersión de las cargas de trabajo se hace extremadamente complicado y costoso mantener una plantilla de personal capaz de asumir las cargas de trabajo en las puntas de exigencia y esto origina una serie de inconvenientes en la realización de este tipo de mantenimiento, de entre los cuales se pueden citar:

- Reparaciones realizadas en malas condiciones.
- Utilización del personal disponible, no siempre el más adecuado.
- Reparaciones provisionales.
- Urgencias continuas.
- Tiempos dilatados en espera de materiales para efectuar la reparación.
- Condiciones de seguridad precarias.

A pesar de la utilización de otros tipos sistemas de mantenimiento, es incuestionable que van a aparecer a lo largo del período de funcionamiento de una instalación una serie de incidencias o averías que no podemos prever, por lo que es indispensable organizar este tipo de mantenimiento casual del modo más eficiente posible, sin olvidar que el objetivo fundamental de este mantenimiento es la restitución del servicio.

- El mantenimiento casual debe ser organizado a través de peticiones de servicio u órdenes de trabajo, aunque la comunicación de la emergencia se realice por cualquier sistema de comunicación y lo más rápido posible. La codificación de urgencia es la que orientará la rapidez de la intervención de los servicios de mantenimiento.
- Debe preverse la existencia de equipos de trabajo especializados.
- Debe existir la documentación suficiente para la localización de los repuestos.

Es fundamental procesar la información obtenida en cada avería con el fin de hacer posible una mejor gestión del mantenimiento. La persona responsable de la gestión debe analizar y decidir en una primera fase la urgencia y a partir de esta decisión, la acción correctiva pasará a ejecución inmediata o se programará para las próximas jornadas.

Una vez asignados los datos a la petición de servicio se hará su entrega al equipo de trabajo de mantenimiento, procediéndose de acuerdo con lo establecido. Los equipos de trabajo por su parte, una vez solucionada la incidencia, procederán al cierre de la misma anotándose en el libro de avisos.

Todas las actividades deben quedar reflejadas en la agenda de estado de la instalación.

## **6.6 Agenda de estado de la instalación**

Se confeccionará una agenda de estado de la instalación donde se harán constar las actividades anteriores con el fin de crear un histórico de las actuaciones, en la que se registrarán, tanto el tipo de reparación o sustitución, como la fecha en que se ha producido la operación en cuestión, de manera que pueda preverse la vida útil de cada componente para futuras rehabilitaciones o mejoras.

Esta agenda incluirá tres aspectos fundamentales:

- Incidencia: Fecha, tipo, quién la comunica, etc.
- Orden de reparación: Referencia del parte, quién lo emite, fecha de emisión, etc.
- Cierre de incidencia: Fecha, quién la cierra, coste, etc.

Asimismo, estas operaciones registradas en la agenda de estado también se harán constar en la ficha del inventario correspondiente al elemento afectado.

## **6.7 Reposición o sustitución masiva de luminarias**

La reposición masiva de elementos no debe adoptarse de forma irreflexiva, o por haber transcurrido un periodo de tiempo concreto, sino que debe venir motivada por la necesidad de sustituirlos por finalización de su vida útil, buscando la idoneidad del cambio hacia elementos más eficientes (menor consumo, mayor duración, menores costes de adquisición, menores costes de mantenimiento, etc.) analizando en profundidad el estado de la instalación actual y comprobando que realmente se ha alcanzado el final de la vida útil del elemento.

## **6.8 Explotación de la instalación**

La explotación de una instalación de alumbrado es como su propio nombre indica el conjunto de reglas operativas que definen tanto la finalidad de la instalación, como los criterios de calidad a los que debe responder, los periodos de funcionamiento y el tipo de régimen establecido. Para llevar a buen fin estos objetivos, es preciso que la explotación de la instalación esté limitada por una conducta establecida de forma única y clara para su funcionamiento.

### **6.8.1 Niveles luminosos**

El primer aspecto que se debe analizar en la explotación es el de la determinación de los niveles luminosos en función de las características del túnel, tales como intensidad de tráfico, accidentalidad, clases de tráfico circulante (mixto, motorizado, etc.). En el capítulo 2 de estas Recomendaciones se establece cómo deben ser esos niveles en función del tipo de túnel, de su dificultad y de su longitud.

Asimismo se deberá determinar el nivel de iluminación del denominado régimen nocturno o reducido, en el que se deberán conservar las uniformidades de iluminación.

Estos niveles de iluminación ya han quedado fijados en el proyecto de la instalación pero por determinadas causas puede ser necesario revisarlos durante la explotación de la instalación.

Es importante que el diseño de la instalación permita fijar diversos niveles lumínicos de forma sencilla y sin costes de inversión asociados.

#### 6.8.2 Horarios

En segundo lugar hay que analizar cuál debe ser el período durante el cual tiene que estar funcionando la instalación y en qué tipo de régimen, es decir, régimen días soleados, días nublados, crepuscular, diurno y nocturno o régimen reducido.

El régimen nocturno reducido deberá aplicarse, normalmente, entre las 23.00 h y las 05.00 h durante todo el año.

#### 6.8.3 Eventos ocasionales

Siempre deberá preverse para cada instalación una serie de eventos, que pueden ser frecuentes, ocasionales o temporales. Por ejemplo:

- En determinados periodos en tramos congestionados (episodios de vialidad invernal, periodos festivos, operaciones de salida y retorno, etc.).
- La celebración de acontecimientos singulares (concentraciones de motoristas, eventos en recintos de aglomeración de personas próximos a los túneles, etc.).
- Las circunstancias en las que se acometen trabajos para resolver unas obras o limitación de la circulación por dificultades debidas a obras o a operaciones de limpieza de los hastiales del túnel (temporales).

#### 6.8.4 Análisis de costes de explotación

Entre las tareas de explotación se encuentra el análisis periódico de los costes de explotación. Este análisis de costes nos indicará el funcionamiento general de la instalación y la necesidad de prever actuaciones de mejora.

Deben analizarse los aspectos siguientes:

- Consumo energía eléctrica:
  - Número de horas de encendido de la instalación:
    - Régimen días soleados.
    - Régimen días nublados.
    - Régimen crepuscular.
    - Régimen nocturno.
    - Régimen reducido.
  - Potencia total instalada en iluminación, teniendo en cuenta:
    - Potencia nominal de lámpara.
    - Potencia en pérdidas del equipo eléctrico.
    - Potencia total en régimen reducido.
  - Tarifa de contratación de energía eléctrica.
  - Consumos anuales.
  - Costes de la energía eléctrica.
- Sustitución de fuentes de luz:
  - Vida útil de las fuentes de luz.
  - Vida media de las fuentes de luz.
  - Número de horas anuales de funcionamiento de cada régimen de la instalación.
  - Porcentaje de sustituciones de lámparas anuales calculadas en función de la vida útil y de la vida media.
  - Coste del suministro de una fuente de luz.



- Coste de mano de obra de reposición de una fuente de luz.
- Coste total anual de las reposiciones de fuentes de luz.
- Sustitución de equipos eléctricos auxiliares:
  - Vida útil de los equipos eléctricos auxiliares.
  - Vida media de los equipos eléctricos auxiliares.
  - Número de horas anuales de funcionamiento de la instalación.
  - Porcentaje de sustituciones de los equipos eléctricos auxiliares anuales calculado en función de la vida útil y de la vida media.
  - Coste del suministro de un equipo eléctrico auxiliar.
  - Coste de mano de obra de reposición de un equipo eléctrico auxiliar.
  - Coste anual del total de las reposiciones de los equipos eléctricos auxiliares.
- Otros costes derivados del mantenimiento casual.
- Coste de las operaciones de mantenimiento programado:
  - Coste anual de operaciones de vigilancia general.
  - Coste anual de operaciones individuales relativas a cada elemento componente (limpiezas, mediciones de parámetros, etc.).

En el Capítulo 7 de estas Recomendaciones se explica cómo se debe realizar el análisis de los costes de explotación.

## **CAPÍTULO 7**

### **MEJORA Y REHABILITACIÓN DE LAS INSTALACIONES**

#### **7.1 Introducción**

En el capítulo anterior se ha expuesto la necesidad de llevar a cabo un mantenimiento preventivo (que incluye además del mantenimiento propiamente dicho las inspecciones y las comprobaciones de los parámetros generales de la instalación) y la importancia que tiene analizar los costes de explotación de forma periódica.

Pero en ocasiones, para el correcto funcionamiento de la instalación, ya no es suficiente con realizar el correcto mantenimiento de ésta, sino que es necesario llevar a cabo actuaciones de rehabilitación y mejora. En general, bien aislada o simultáneamente, esto puede ser debido a alguna de las tres causas siguientes:

- Incumplimiento de parámetros exigidos por la normativa.
- Desviación significativa de los costes de explotación sobre los previstos.
- Actuaciones en la instalación, o empleo de elementos justificados por avances tecnológicos, que implican una disminución significativa de los costes de explotación.

En este capítulo se analiza cuándo se considera que está justificado mejorar y rehabilitar una instalación existente, teniendo en cuenta que se refiere a actuaciones que o bien afectan a la totalidad de la instalación o bien a un número importante de elementos de ella. Pueden ser actuaciones de bajo coste (estabilizadores-reductores de flujo, cambio de elementos auxiliares, etc.) o bien actuaciones de mayor coste que impliquen, por ejemplo, cambio de la totalidad de las luminarias, ejecución de apantallamientos, etc. Pero en todos los casos tienen un coste económico superior al del mantenimiento y su realización debe estar justificada desde el punto de vista económico.

#### **7.2 Evaluación del estado de la instalación**

El primer paso para considerar si es necesaria una rehabilitación o mejora de la instalación es evaluar el estado de la misma.

El estado de la instalación vendrá determinado por las inspecciones y comprobaciones periódicas (ya sean obligatorias o no) y por el análisis de los costes de explotación.

##### **7.2.1 Revisiones periódicas. Incumplimiento de parámetros**

En este apartado no se procederá a evaluar las inspecciones de determinados elementos cuyos fallos entrarían dentro de lo que se ha denominado mantenimiento casual (por ejemplo, las comprobaciones de las tierras de la instalación y su resistencia óhmica, el funcionamiento de los elementos de protección, etc.), sino que se realizará la evaluación de los parámetros generales establecidos por estas Recomendaciones, que son los siguientes:

- Para el alumbrado de túneles se cumplirán los requisitos que figuran en estas Recomendaciones relativos a ratios o índices de eficiencia energética, como ya se ha explicado en el Capítulo 4.
- Dispondrán de un sistema de mando, accionamiento y regulación de los regímenes de iluminación, tal y como se ha definido en el Capítulo 3.

Una vez analizados los requisitos anteriores, se estará en disposición de conocer la necesidad o no de mejorar o rehabilitar la instalación existente para poder cumplir adecuadamente con los parámetros exigidos. Si se concluye que una actuación de este tipo es necesaria, debe llevarse a cabo un estudio pormenorizado de las posibles soluciones a adoptar para corregir los defectos de la instalación, determinando para cada una de ellas su coste total, incluyendo ejecución de las obras y explotación.

### 7.2.2 Análisis de los costes de explotación

Como ya se ha indicado en el capítulo anterior, es necesario un análisis periódico de los costes de explotación. Normalmente se hará un análisis global de todos los costes con una periodicidad al menos anual.

En general, estos costes están compuestos por cuatro conceptos:

- Costes de consumo energético.
- Coste de las operaciones de mantenimiento preventivo.
- Costes de mantenimiento casual o extraordinario.
- Costes de las operaciones de mantenimiento derivadas de las inspecciones y comprobaciones del mantenimiento preventivo, y por tanto no previstas (no incluye el coste de las operaciones incluidas en el mantenimiento preventivo).

El análisis de los costes de explotación debe incluir dos aspectos básicos:

- Determinar las desviaciones respecto a los costes previstos.
- Determinar las disminuciones que podrían conseguirse en estos costes como consecuencia de determinadas actuaciones de mejora y rehabilitación (por ejemplo la construcción de pantallas en las bocas de los túneles, el empleo de estabilizadores-reductores, la sustitución de luminarias por otras más eficientes, programas de gestión mejorados, etc.).

En resumen, al igual que en el apartado anterior se trataría de realizar un estudio pormenorizado de las posibles soluciones a adoptar para corregir las desviaciones en los costes de explotación o bien para conseguir las posibles disminuciones de éstos, determinando para cada una de ellas el importe de la inversión necesaria.

## 7.3 Actuaciones de rehabilitación y mejora

En este apartado se enumeran las actuaciones más usuales de rehabilitación y mejora que pueden realizarse en una instalación de iluminación.

### 7.3.1 Actuaciones para el cumplimiento de los parámetros recomendados

#### 7.3.1.1 Eficiencia energética

Con respecto a la eficiencia energética de una instalación, hay dos aspectos a tener en cuenta:

1. La evaluación de la adecuación del nivel de iluminación existente en cada momento en el interior del túnel a las necesidades fijadas por el nivel de iluminación en el exterior del túnel.
2. La progresividad de la regulación del flujo luminoso a lo largo de los distintos tramos del túnel (umbral, transición, interior, etc.), destacando además la reducción al mínimo necesario de:

- La potencia total instalada para cada régimen y para cada tramo del túnel.
- El número de puntos de luz de cada tramo en base a los resultados lumínicos.
- El control sobre el accionamiento de los distintos regímenes, provocado por el dispositivo detector de luminancia de la boca de entrada, y la preservación del calibrado de dicho instrumento.

En relación con el primer aspecto, se analizará el nivel de iluminación que corresponda a cada tramo y régimen del túnel en función de lo establecido en estas Recomendaciones, independientemente del que tenga en el momento de su análisis. Pueden darse dos casos, aunque el segundo será muy improbable:

- En el primer caso, si el nivel de iluminación establecido en las Recomendaciones es inferior al existente, se estudiará todo el abanico de posibilidades de rehabilitación, incluyendo la disminución de puntos de luz, la disminución de la potencia de cada punto de luz o la variación del flujo luminoso o potencia de cada fuente de luz.
- En el segundo caso, si el nivel de iluminación fijado por las Recomendaciones es superior al existente, se analizarán también las soluciones más eficientes a adoptar, que normalmente consistirán en aumentar la potencia de cada punto de luz o en emplear otras fuentes de luz más eficientes.

Así por ejemplo, en los sistemas de mando de los distintos encendidos de los diferentes regímenes se utilizará preferentemente el luminancímetro de control para provocar el disparo o apagado de cada régimen en función de la cantidad de luz natural en el exterior del túnel, sustituyéndose otros elementos menos adecuados para esta función, como las células fotoeléctricas.

Con el segundo aspecto se pretende fomentar que se adopten sistemas de regulación progresiva del flujo luminoso de las fuentes de luz, que son aplicables tanto a las lámparas fluorescentes como a las de vapor de sodio de alta presión para las que se disponga de balastos electrónicos regulables y a los LED.

En este sentido, se llevará a cabo:

- El análisis de la potencia total instalada y del número de puntos de luz de la instalación existente. Deberá compararse con la solución o soluciones alternativas, considerando los siguientes parámetros:
  - Tipo de fuente de luz.
  - Potencia de la fuente de luz de cada punto.
  - Separación entre puntos de luz.
- En cuanto al empleo de elementos de regulación de consumo y flujo luminoso, habrá que valorar la flexibilidad de las fuentes de luz, tales como la fluorescencia o los LED, que permiten la variación de su flujo luminoso entre límites más amplios (desde un 10% a un 100%), mientras que la lámpara de sodio alta presión admite una flexibilidad menor en cuanto al límite inferior de su flujo luminoso, obteniéndose un menor margen de ahorro.

### 7.3.2 Actuaciones para mejora de los costes de explotación

En este apartado se enumeran las actuaciones cuya finalidad es mejorar los costes de explotación, ya sea porque se han desviado respecto a los previstos o porque se han estudiado actuaciones que los pueden disminuir de forma apreciable.

Normalmente y dado el avance constante de la técnica, los nuevos elementos que se empleen en sustitución de los existentes supondrán una reducción en los costes de explotación.

Los tipos de actuaciones que pueden llevarse a cabo para corregir las desviaciones de los costes de explotación sobre los previstos son:

- Sustitución de fuentes de luz.
- Sustitución de elementos eléctricos auxiliares.
- Instalación de estabilizadores-reductores de flujo.

Los tipos de actuaciones que pueden llevarse a cabo para disminuir los costes de explotación son:

- Construcción de pantallas traslúcidas en bocas para conseguir una transición lumínica natural.
- Sustitución de luminarias por otras más eficientes.
- Sustitución de elementos auxiliares por otros más eficientes o regulables.
- Integración de la iluminación en el programa de gestión centralizada del túnel.

#### **7.4 Análisis económico de las actuaciones de rehabilitación y mejora**

Se realizará un estudio económico comparativo de las alternativas contempladas para la rehabilitación y mejora de una instalación existente que permita estimar la rentabilidad de cada una de ellas y facilite la toma de decisiones. Dicho estudio debe llevarse a cabo de acuerdo con lo establecido en el Capítulo 4.

El estudio económico determinará el VAN, la TIR y el periodo de retorno de cada alternativa. Como idea orientativa, en general se consideran muy interesantes aquellas actuaciones de rehabilitación y mejora con rentabilidades superiores al 15% y periodos de retorno comprendidos entre 4 y 7 años, aunque siempre deberán tenerse en cuenta las disponibilidades presupuestarias y los ahorros globales obtenidos.

## **CAPÍTULO 8**

### **ILUMINACIÓN Y MEDIOAMBIENTE**

#### **8.1 Introducción**

En el caso de la iluminación de túneles y su afección al medio ambiente, existen aspectos que son muy diferentes de los del alumbrado a cielo abierto, tal y como sucede con la contaminación lumínica. Al ser un túnel un espacio cerrado, la propia cavidad impide que la luz emitida por la instalación se proyecte hacia el hemisferio superior, a menos que exista un fallo en los sistemas de mando y control de los regímenes y se dé la circunstancia de que durante las horas nocturnas esté encendido un régimen de días soleados, nublados o incluso crepuscular, en cuyo caso una gran cantidad de luz podría escapar en las bocas del túnel hacia el hemisferio superior.

Por el contrario, en los túneles hay que tener en cuenta que la iluminación dirigida a zonas que no son la superficie a iluminar (por ejemplo, iluminación dirigida prioritariamente hacia los hastiales) disminuye la eficiencia de la instalación, por lo que conviene revisar periódicamente la orientación de las fuentes de luz.

Dado que las dos circunstancias anteriores tienen más que ver con la funcionalidad de la instalación que con el medio ambiente, a continuación se analizan solo aquellos aspectos que pueden verse más directamente implicados desde el punto de vista medioambiental, como son sus componentes y el modo en que están diseñados y fabricados. Dichos aspectos son:

- El diseño con condicionantes ecológicos de los elementos componentes de la instalación.
- La producción de residuos contaminantes o tóxicos y la gestión de dichos residuos
- La exigencia de reducción del CO<sub>2</sub> generado aplicando la mayor eficiencia energética a los productos que la utilizan en su funcionamiento.
- La eficiencia energética.
- La regulación continua de los niveles lumínicos que es más adecuada que la regulación por escalones.

De muchos de estos aspectos existen directivas europeas, leyes y normas nacionales que establecen una serie de exigencias armonizadas entre los diferentes países europeos miembros de la CE y que deben ser conocidas por todos aquellos que tengan relación con las instalaciones de iluminación, ya sea como productores, vendedores de dichos elementos componentes o como usuarios de las instalaciones.

Dado el objeto y ámbito de estas Recomendaciones, aquí solo se tratarán los aspectos más directamente relacionados con las actuaciones contempladas en las mismas. Del resto, en general solo se deberá exigir su cumplimiento a las empresas y personas que intervengan en la realización de las instalaciones.

#### **8.2 Contaminación medioambiental**

La mayoría de los aspectos que tienen incidencia ambiental ya están convenientemente regulados mediante directivas europeas que exigen el cumplimiento de una serie de requisitos a lo largo de todo el proceso y las cuales están transpuestas o en proceso de transposición al ordenamiento jurídico español.

### 8.2.1 Diseño ecológico aplicable a los productos que utilizan energía

En interés del desarrollo sostenible debe fomentarse la mejora continua del impacto medioambiental general de los productos empleados en las instalaciones de iluminación, especialmente mediante la determinación de unos requisitos relacionados con su diseño. El diseño ecológico de los productos como enfoque preventivo está destinado a obtener el mejor comportamiento medioambiental posible de los productos, manteniendo sus cualidades funcionales.

A este respecto deberá aplicarse la Directiva Europea 2006/32/CE, que recoge las exigencias que deben satisfacerse a la hora de diseñar productos para su aplicación en determinadas instalaciones, tales como las de alumbrado de túneles teniendo en cuenta una serie de aspectos primordiales. Parte de esta directiva se ha transpuesto al ordenamiento jurídico español mediante la Ley 2/2011, de Economía Sostenible.

En la misma se establece que los productos que utilizan energía consumen una gran proporción de los recursos naturales y de energía de la comunidad y además tienen otros impactos importantes en el medio ambiente.

En su artículo 6 define de forma clara y precisa que los productos a instalar deberán poseer Marcado CE con su Declaración de Conformidad, porque de esta manera se garantiza que los mismos cumplen con los requisitos establecidos en dicha directiva y demás normativa de la Unión Europea.

En los anexos de la citada directiva se recogen métodos para establecer requisitos genéricos de diseño ecológico, tales como:

- Selección y uso de materias primas.
- Fabricación y embalaje.
- Transporte y distribución.
- Instalación y mantenimiento.
- Utilización.
- Fin de vida útil.

Y para evaluar el potencial de mejora de los aspectos medioambientales, se utilizarán los parámetros siguientes:

- Peso y volumen del producto.
- Utilización de materiales procedentes de actividades de reciclado.
- Consumo de energía y otros recursos a lo largo del ciclo de vida.
- Utilización de sustancias clasificadas como peligrosas para la salud o el medio ambiente.
- Cantidad y naturaleza de consumibles necesarios para un mantenimiento y utilización adecuados.
- Facilidad de reutilización y reciclado.
- Incorporación de componentes usados.
- Extensión de la vida útil.
- Cantidad de residuos generados.
- Emisiones a la atmósfera.
- Emisiones al agua.
- Emisiones al suelo.

Por último, también hay que mencionar la Directiva Europea 2000/55/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 18 de septiembre de 2000, relativa a los requisitos de eficiencia energética de los balastos de lámparas fluorescentes, que regula las condiciones que tienen que cumplir éstos, cuya finalidad es estabilizar la corriente de las fuentes de luz de descarga en gases, exigiendo que posean el marcado CE.

En base a estas consideraciones y a su aplicación racional y eficiente, hay que destacar las ventajas de las nuevas tecnologías de iluminación (LED) en su utilización en las instalaciones de alumbrado de túneles, ya que además de ser muy eficientes (en la actualidad ya semejantes a las fuentes de luz convencionales más eficaces como las lámparas de sodio de alta presión), tienen una larga duración de vida (mayor que la de las demás fuentes de luz) carecen de los residuos tóxicos más comunes en las lámparas de descarga tradicionales (vapor de mercurio, fluorescencia, halogenuros metálicos, e incluso gran parte de las lámparas de vapor de sodio alta presión), pues no contienen mercurio, que es un material con gran incidencia ambiental, mientras las tradicionales sí.

#### 8.2.2 Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE)

Este aspecto está regulado por la Directiva Europea 2002/96/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de enero de 2003, sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos. Sus objetivos son, en primer lugar, prevenir la generación de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) y, además, fomentar la reutilización, el reciclado y otras formas de valorización de dichos residuos, a fin de reducir su eliminación. Asimismo se pretende mejorar el comportamiento medioambiental de todos los agentes que intervienen en el ciclo de vida de los aparatos eléctricos y electrónicos y en particular, de aquellos agentes (productores, instaladores, usuarios, etc.) directamente implicados en el tratamiento de los residuos derivados de estos aparatos.

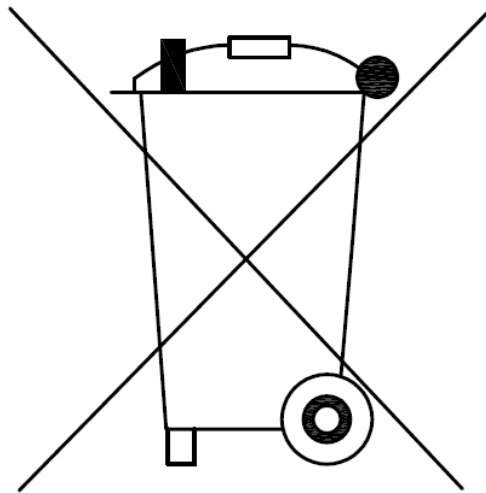
En su artículo 5, dicha directiva ordena la recogida selectiva como condición para reducir al mínimo la eliminación de RAEE como residuos urbanos no seleccionados, asegurar el tratamiento y reciclado específico de los RAEE y alcanzar el nivel deseado de protección de la salud humana y del medio ambiente de la Comunidad. Los consumidores deben contribuir activamente al éxito de dicha recogida y debe animárseles en este sentido.

Por último, en el Anexo I A de esta directiva se recogen las categorías de aparatos eléctricos y electrónicos incluidos en el ámbito de aplicación de aquella, y en la categoría 5 se relacionan los aparatos de alumbrado:

- Luminarias para lámparas fluorescentes con exclusión de las luminarias de hogares particulares.
- Lámparas fluorescentes rectas.
- Lámparas fluorescentes compactas.
- Lámparas de descarga de alta intensidad, incluidas las lámparas de sodio de alta presión y las lámparas de halogenuros metálicos.
- Lámparas de sodio de baja presión.
- Otros aparatos de alumbrado utilizados para difundir o controlar luz con exclusión de las bombillas de filamentos.

En el Anexo IV se establece el símbolo para marcar aparatos eléctricos y electrónicos, que indica la recogida selectiva de aparatos eléctricos y electrónicos y es el contenedor de basura tachado, tal como aparece representado a continuación. Este símbolo se estampará de manera visible, legible e indeleble.





**Figura 8.1. Símbolo para marcar aparatos eléctricos y electrónicos.**

Además existe también la Directiva Europea 2002/95/CE de 27 de enero de 2003, mucho más particularizada, sobre restricciones a la utilización de determinadas sustancias peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos.

En conclusión, se debe controlar y asegurar que durante todo el periodo de vida de una instalación de iluminación de túneles se cumplen todas las exigencias medioambientales.

### **8.3 Eficiencia del uso final de la energía**

Con el objeto de fomentar la eficiencia del uso final de la energía en los Estados miembros de la Comunidad Europea, se promulgó la Directiva Europea 2006/32/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 5 de abril de 2006, sobre la eficiencia del uso final de la energía y los servicios energéticos, y cuya transposición al ordenamiento jurídico español se llevó a cabo mediante el Reglamento de Eficiencia Energética.

La citada directiva establece como objetivo general de ahorro de energía que:

*Los Estados miembros fijarán y se propondrán alcanzar un objetivo orientativo nacional general de ahorro energético del 9% para el noveno año de aplicación de la presente Directiva, que se conseguirá mediante la prestación de servicios energéticos y el establecimiento de otras medidas de mejora de la eficiencia energética. Los Estados miembros adoptarán las medidas razonables, practicables y rentables con el fin de contribuir al logro del citado objetivo.*

En el artículo 5 de dicha directiva se establece la importancia de la eficiencia del uso final de la energía en el sector público, adjudicándole un papel ejemplar de cara a los ciudadanos y/o las empresas, según proceda.

De entre los mecanismos que se establecen para poder controlar el uso racional de la energía, la directiva propugna la necesidad de las auditorías energéticas.

Además, esta Directiva establece que, sin perjuicio de lo regulado en la legislación nacional y comunitaria sobre contratación pública, los Estados miembros se asegurarán de que el

sector público aplique al menos dos requisitos de la siguiente lista en el contexto de la función de ejemplaridad propia del sector público, según lo mencionado anteriormente:

- Requisitos relativos al uso de instrumentos financieros para los ahorros de energía, incluida la contratación de eficiencia energética, que estipulen la realización de ahorros de energía mensurables y predeterminados (incluso en el caso de que las administraciones públicas hayan externalizado responsabilidades).
- Requisitos para la compra de equipo basada en listas de especificaciones de productos energéticamente eficientes de diversas categorías de equipos que deben ser elaboradas por las autoridades o los organismos a que se refiere el artículo 4, apartado 4, utilizando, en su caso, el análisis de coste minimizado de ciclo de vida o métodos comparables para asegurar la rentabilidad.
- Requisitos para la adquisición de equipos con un consumo de energía eficiente en todos los modos, incluido en el modo de espera, utilizando, en su caso, el análisis de coste minimizado de ciclo de vida o métodos comparables para asegurar la rentabilidad.
- Requisitos para la sustitución o retroadaptación de los equipos existentes por los equipos mencionados en el segundo y tercer punto.
- Requisitos relativos a la utilización de auditorías energéticas y a la aplicación de las recomendaciones sobre rentabilidad resultantes.

En consecuencia estas indicaciones deben tenerse en cuenta en la ejecución de las instalaciones de iluminación de túneles, que es el objeto de estas Recomendaciones.

Además es necesario volver a recordar que la mejora de la eficiencia energética en túneles también se puede conseguir mediante la implantación de un sistema de regímenes continuo en vez de uno por escalones.

#### **8.4 Normativa sobre protección del medio ambiente**

Además de lo establecido en la normativa general, desde el punto de vista medioambiental también hay que tener en consideración la siguiente:

- Directiva 2002/96/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 27 de enero de 2003 sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.
- Directiva 2002/95 sobre restricciones de sustancias peligrosas en aparatos eléctricos.
- Directiva 2006/32/CE sobre la eficiencia del uso final de la energía y servicios energéticos.
- Directiva 2006/32/CE por la que se insta un marco para el establecimiento de requisitos de diseño ecológico aplicables a los productos que utilizan energía.
- Directiva 2000/55/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 18 de septiembre de 2000, relativa a los requisitos de eficiencia energética de los balastos de lámparas fluorescentes.
- Ley 10/1998 DE 21 de abril, sobre Residuos
- Real Decreto 208/2005 de 25 de febrero, sobre aparatos eléctricos y electrónicos y la gestión de residuos.
- Real Decreto 1369/2007 de 19 de octubre, relativo al establecimiento de requisitos de diseño ecológico aplicables a los productos que utilizan energía.

**ANEJOS**



## **ÍNDICE**

ANEJO 1. TÉRMINOS Y DEFINICIONES

ANEJO 2. INVENTARIO

ANEJO 3. CÁLCULOS LUMINOTÉCNICOS

ANEJO 4. CÁLCULOS ELÉCTRICOS

ANEJO 5. CUADROS ELÉCTRICOS

ANEJO 6. EJEMPLOS PRÁCTICOS BASADOS EN INSTALACIONES REALIZADAS

ANEJO 7. ANÁLISIS ECONÓMICO



## ***ANEJO 1. TÉRMINOS Y DEFINICIONES***





# ÍNDICE

1. OBJETO.....	1
2. RELACIÓN DE TÉRMINOS.....	1



## **1. OBJETO**

En las Recomendaciones para la Iluminación de Túneles se utilizan numerosos términos técnicos. Algunos de estos términos quedan explicados en el mismo documento pero otros muchos no vienen definidos en él.

El objeto de este anejo es definir, sin ánimo de ser exhaustivos, aquellos términos técnicos más directamente relacionados con la iluminación, la electricidad y la eficiencia energética que se han utilizado en las Recomendaciones.

## **2. RELACIÓN DE TÉRMINOS**

### **Alumbrado a contraflujo**

Alumbrado en el que la luz incide sobre los objetos desde una dirección opuesta al tráfico. Está caracterizado por utilizar luminarias que muestran una distribución de intensidad luminosa que es asimétrica en relación al plano normal a la dirección del tráfico, en la que la intensidad luminosa máxima está orientada contra la dirección del tráfico. El término hace referencia solamente a la dirección de desplazamiento normal.

### **Alumbrado de base o permanente**

Fracción del alumbrado del túnel que se encuentra en funcionamiento permanentemente.

### **Alumbrado de emergencia**

Fracción del alumbrado del túnel que es mantenida en condiciones de emergencia. Puede ser de dos tipos: alumbrado de seguridad, para resolver un fallo del suministro normal de energía eléctrica a las luminarias del túnel y alumbrado de emergencia de evacuación, para facilitar la salida inmediata de los ocupantes de los vehículos en el interior del túnel, en caso de un incidente que provoque un incendio.

### **Alumbrado de guiado de emergencia contra incendios**

Alumbrado que proporciona el guiado visual en caso de incendios con existencia de humo.

### **Alumbrado de refuerzo**

Fracción del alumbrado del túnel que no es permanente y que se enciende en función de la luminancia existente en la boca de entrada del túnel.

### **Alumbrado simétrico**

Alumbrado en el que la luz incide igualmente sobre los objetos en direcciones a favor y en contra del tráfico. Está caracterizado por utilizar luminarias que muestran una distribución de intensidad luminosa que es simétrica en relación al plano normal a la dirección del tráfico.

### **Arrancador**

Dispositivo que, por sí mismo o en combinación con otros componentes del circuito, genera impulsos de tensión para cebar una lámpara de descarga sin precaldeado de los electrodos.

## **Balasto**

Dispositivo conectado entre la alimentación y la fuente de luz, que sirve para limitar la corriente de la misma a un valor determinado.

## **Campo visual**

Lo que se puede ver teniendo la cabeza y los ojos inmóviles.

## **Clase de alumbrado**

Conjunto de requisitos fotométricos que deben cumplirse para satisfacer las necesidades visuales de un grupo de usuarios de la vía pública en distintos tipos de áreas y alrededores.

## **Clase de túnel**

Clase que se le asigna a un túnel de acuerdo con una clasificación basada en la intensidad, tipo y composición del tráfico que circula por él y su guiado visual.

## **Coefficiente de poder revelador (k)**

Relación entre la luminancia en la zona de umbral  $L_{th}$  y la luminancia en la zona de acceso.

$$L_{th} = k \cdot L_{20}$$

Siendo:

- $k$  = Coeficiente de poder revelador.
- $L_{th}$  = Luminancia en la zona de umbral ( $cd/m^2$ ).
- $L_{20}$  = Luminancia en la zona de acceso ( $cd/m^2$ ).

Es adimensional.

## **Coefficiente de revelado de contrastes ( $q_c$ ).**

El coeficiente de revelado de contrastes  $q_c$  en un lugar específico del túnel, es la relación entre la luminancia de la superficie de la calzada y la luminancia vertical en ese lugar.

$$q_c = \frac{L}{E_v}$$

Siendo:

- $q_c$  = Coeficiente de revelado de contrastes.
- $L$  = Luminancia de la superficie de la calzada ( $cd/m^2$ ).
- $E_v$  = Iluminancia vertical ( $lx$ ).

Es adimensional.

## **Cromaticidad**

Grado de diferencia existente entre un color y un gris de su misma luminosidad y claridad, que se corresponde con la saturación del color percibido. También llamado croma.

## **CUPS (Código Universal de Punto de Suministro).**

Código identificador de un punto de suministro de energía. Va encabezado por la secuencia ES más otros 20 caracteres, cifras o letras.

## **Diagrama polar de intensidad luminosa**

Representación mediante curvas polares de los valores de las intensidades luminosas en candelas (cd) correspondientes a un flujo nominal de 1.000 lúmenes (lm), medidas generalmente sobre los planos verticales siguientes: 0°-180°, 90°-270° y plano de máxima intensidad.

## **Distancia de parada (D<sub>p</sub>)**

Distancia total recorrida por un vehículo obligado a detenerse tan rápidamente como le sea posible, medida desde su situación en el momento de aparecer el objeto que motiva la detención. Comprende la distancia recorrida durante los tiempos de percepción, reacción y frenado. Se calcula mediante la expresión:

$$D_p = \frac{V \cdot t_p}{3,6} + \frac{V^2}{254 \cdot (f_l + i)}$$

Donde:

- D<sub>p</sub> = Distancia de parada (m).
- V = Velocidad (km/h).
- f<sub>l</sub> = Coeficiente de rozamiento longitudinal rueda-pavimento (adimensional).
- i = Inclinación de la rasante (tanto por uno).
- t<sub>p</sub> = Tiempo de percepción y reacción (s).

La distancia de parada D<sub>p</sub>, que a menudo ha de ser evaluada para el correcto diseño del alumbrado, es la suma de dos distancias.

- La cubierta durante el tiempo de percepción y reacción, X<sub>0</sub>.
- La cubierta durante el tiempo de frenado, X.

Si u es la velocidad de desplazamiento, constante al comienzo de la acción de parada:

$$X_0 = u \cdot t_0$$

Donde t<sub>0</sub> es el tiempo de reacción (normalmente se toman 2 s).

La distancia X puede ser calculada comparando el impulso para un tiempo dt con el momento:

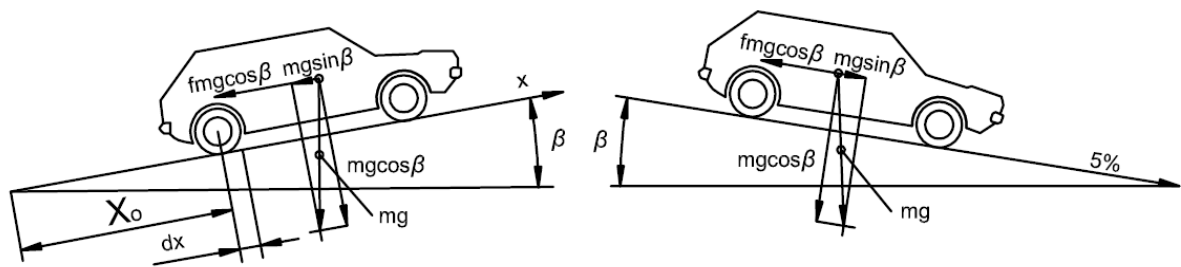


Figura 1. Fuerzas que actúan sobre un vehículo con diferentes pendientes o rampas.

$$-(f \cdot m \cdot g \cdot \cos \beta \pm m \cdot g \cdot \sin \beta) \cdot dt = m \cdot du$$

Donde:

- f = Coeficiente de fricción neumático-pavimento.
- m = Masa del vehículo.
- g = Aceleración de la gravedad.

El signo (+) debe ser considerado para una pendiente ascendente y el signo (-) para una pendiente descendente.

El tiempo dt puede ser expresado como dx/u. Introduciendo la pendiente s = tan beta resulta:

$$\frac{-\cos \beta \cdot g \cdot (f \pm s) \cdot dx}{u} = du$$

$$dx = \frac{u}{\cos \beta \cdot g \cdot (f \pm s)} du$$

Siendo cos beta siempre próximo a la unidad, puede ser despreciado.

Integrando el miembro de la izquierda entre la distancia 0 y X, el miembro de la derecha tiene que ser integrado entre la velocidad u y la velocidad 0. Así:

$$\int_0^x dx = - \int_u^0 \frac{u}{g \cdot (f \pm s)} du$$

La integración del miembro de la derecha es imposible porque el coeficiente de fricción f es una función desconocida de la velocidad y de otros parámetros que dependen de la velocidad, tales como las condiciones atmosféricas, el estado de los neumáticos y otros.

Pero suponiendo f como una constante frente a u se obtiene:

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

Con esta hipótesis puede usarse dicha fórmula para determinar X si el coeficiente de fricción es evaluado por ensayos prácticos y recogido en un gráfico en función de la velocidad.

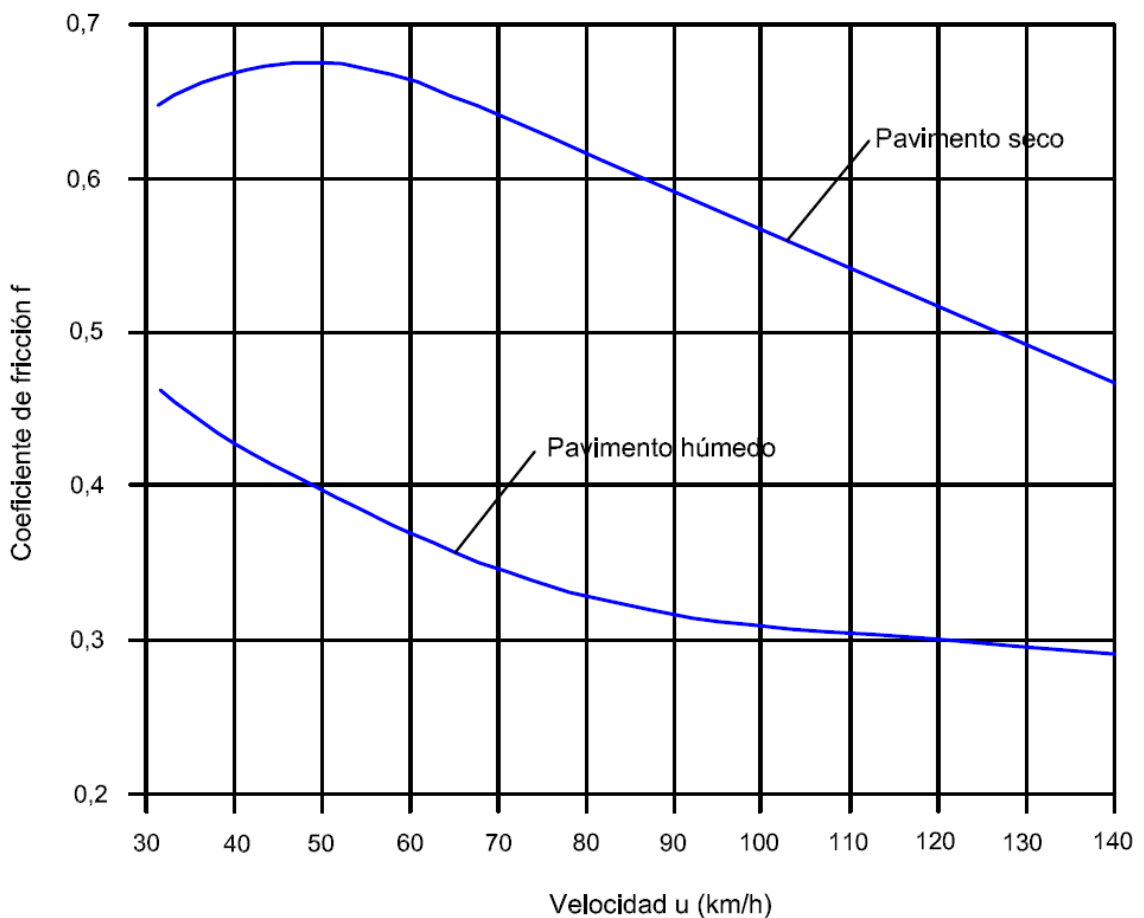


Figura 2. Diagramas típicos del coeficiente de fricción en función de la velocidad para pavimento seco y húmedo.

Sumando la distancia de reacción y la distancia de frenado se obtiene la fórmula general de la distancia de parada.

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

En todas las fórmulas anteriores (excepto en la primera y en la figura 2, donde u se expresa en km/h), u se expresa en m/s, X en m,  $t_0$  en s. y g es igual a  $9,81 \text{ m/s}^{-2}$ .

Sin ningún valor particular,  $t_0$  puede suponerse igual a 2 s al tratarse de tramos iluminados, y por tanto, con buena percepción, y f tomada a partir de la curva de la figura 2 para pavimento húmedo como función de la velocidad de diseño.

### Efecto agujero negro

Sensación mediante el cual la entrada del túnel se presenta como un agujero negro para el conductor, en cuyo interior no puede distinguir ningún objeto. Se produce debido a que la luminancia ambiental en el exterior durante el día es mucho mayor que en la entrada.

### Efecto flicker

Sensación de parpadeo molesta e incómoda producida por las variaciones periódicas de la luminancia en el interior del túnel.

### Efecto muro

Sensación de estrechez que percibe el conductor cuando circula a través del túnel debido al color oscuro de las paredes y que hace que se aleje de éstas.

### Eficiencia energética de una instalación de alumbrado

Relación entre el producto de la superficie iluminada por la iluminancia media en servicio de la instalación y la potencia activa total instalada.

Los índices o ratios de eficiencia energética de la instalación se calculan de acuerdo con las siguientes expresiones:

$$\varepsilon_{\text{POT}} = \frac{W_{\text{instalada}}}{S}$$
$$\varepsilon_{\text{CONSUMO}} = \frac{C_{\text{anual}}}{S}$$

Siendo:

- $W_{\text{instalada}}$  = Potencia media total instalada para el régimen días soleados en todo el túnel.
- $S$  = Superficie total del túnel, tomando como anchura la de la calzada más los arcones.
- $C_{\text{anual}}$  = Consumo anual por tramo de túnel, incluyendo todas las luminarias en un determinado tramo.

Estos ratios dependen de la longitud y tipo de túnel (unidireccional o bidireccional), de su tráfico, de la orientación de las bocas y de la latitud en la que está ubicado.

La eficiencia energética propia de las luminarias se calcula de acuerdo con la fórmula:

$$\varepsilon = \varepsilon_L \cdot f_m \cdot f_u \left[ \frac{\text{m}^2 \cdot \text{lux}}{W} \right]$$

Donde:

- $\varepsilon_L$  = Eficiencia de las lámparas y equipos auxiliares ( $\text{lm/W} = \text{m}^2 \text{ lx/W}$ ).
- $f_m$  = Factor de mantenimiento de la instalación (valores por unidad).
- $f_u$  = Factor de utilización de la instalación (valores por unidad).

### Flujo luminoso ( $\Phi$ )

Potencia emitida por una fuente luminosa en forma de radiación visible y evaluada según su capacidad de producir sensación luminosa, teniendo en cuenta la variación de la sensibilidad del ojo con la longitud de onda. Se expresa en lm (lúmenes).



## **Fotometría**

Ciencia que describe la transferencia de energía o potencia que es capaz de estimular el sistema visual del detector desde una fuente a dicho detector, admitiendo la validez del modelo geométrico de trayectorias y la conservación de la energía a lo largo de un tubo de rayos, es decir, los fenómenos de interferencia y difracción no se consideran significativos.

### **Fuente de luz**

Elemento generador de luz.

### **Grado de protección (de las envolventes del material eléctrico)**

Nivel de protección que debe presentar la envolvente de los materiales eléctricos frente a los impactos mecánicos y la penetración de agua o una parte del cuerpo humano o de un objeto cogido por una persona y, simultáneamente, contra la penetración de objetos sólidos extraños, según la norma UNE 20-324-93, Grados de protección proporcionados por las envolventes, y la norma UNE-EN 50102, Grados de protección proporcionados por las envolventes de materiales eléctricos contra los impactos mecánicos externos.

Para cada uno de estos conceptos se establecen unos índices de protección en función del nivel de estanqueidad y robustez que proporcione una envolvente.

### **Guiado visual**

Medios ópticos y geométricos que aseguran que el conductor de un vehículo recibe una información adecuada en el trayecto de la carretera dentro del túnel. Se refiere en particular a aspectos perceptivos y el guiado óptico a aspectos geométricos. El guiado visual se utiliza como término general incluyendo el guiado óptico también.

### **Iluminancia horizontal en un punto de una superficie (E)**

Cociente entre el flujo luminoso incidente sobre un elemento de la superficie que contiene el punto y el área de ese elemento. Se expresa en lx (lux).

La expresión de la iluminancia horizontal en un punto P, en función de la intensidad luminosa que incide en dicho punto, definida por las coordenadas (c,γ) en la dirección del mismo, y de la altura h de montaje de la luminaria, es la siguiente:

$$E = \frac{[I(c, \gamma) \cdot \cos^3 \gamma]}{h^2}$$

### **Iluminancia media horizontal (E<sub>m</sub>)**

Valor medio de la iluminancia horizontal en la superficie considerada. Se expresa en lx (lux).

### **Iluminancia mínima horizontal (E<sub>min</sub>)**

Valor mínimo de la iluminancia horizontal en la superficie considerada. Se expresa en lx (lux).

### **Iluminancia semicilíndrica (en un punto) ( $E_{sc}$ )**

Flujo luminoso total que incide sobre una superficie curvada de un semicilindro muy pequeño, dividido por el área de la superficie curvada del semicilindro. La dirección de la normal sobre el área posterior plana dentro del semicilindro debe ser la dirección de orientación del semicilindro. Se expresa en lx (lux).

### **Iluminancia semicilíndrica mínima (en un plano situado por encima de un área de vía pública) ( $E_{sc,min}$ )**

La menor iluminancia semicilíndrica en un plano a una altura de 1,5 m por encima de un área de una vía pública. Se expresa en lx (lux).

### **Iluminancia semiesférica (en un punto en un área de vía pública) ( $E_{hs}$ )**

El flujo luminoso sobre una pequeña semiesfera con una base horizontal dividido por el área de la superficie de la semiesfera. Se expresa en lx (lux).

### **Iluminancia semiesférica media (en un área de vía pública) ( $E_{hs}$ )**

Iluminancia semiesférica promediada sobre un área de calzada. Se expresa en lx (lux).

### **Iluminancia vertical en un punto de una superficie**

La iluminancia vertical en un punto P, en función de la intensidad luminosa que incide en dicho punto y la altura h de montaje de la luminaria, es la siguiente:

$$E = \frac{[I(c, \gamma) \cdot \sin \gamma \cos^2 \gamma]}{h^2}$$

### **Iluminancia vertical mínima (en un plano vertical situado por encima de un área de una vía pública) ( $E_{v,min}$ )**

La menor iluminancia vertical en un plano a una altura especificada por encima del área de una vía pública. Se expresa en lx (lux).

### **Incremento de umbral (TI)**

Medida de la pérdida de visibilidad causada por el deslumbramiento incapacitivo de las luminarias de una instalación de alumbrado viario.

### **Índice de deslumbramiento (GR)**

Es el índice que caracteriza el nivel de deslumbramiento (Glare Rating), mediante la formulación empírica reflejada en la norma CIE 112:94 según la siguiente expresión:

$$GR = 27 + 24 \cdot \log \left( \frac{L_V}{L_{VE}^{0.9}} \right)$$

Siendo:

- $L_v$  = Luminancia de velo debida a las (n) luminarias ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ).
- $L_{ve}$  = Luminancia de velo denominada equivalente, producida por el entorno ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ).

### **Intensidad luminosa (I)**

Es el flujo luminoso por unidad de ángulo sólido. Esta magnitud tiene característica direccional. Se expresa en cd (candela).

### **Luminancia de la zona de acceso ( $L_{20}$ )**

Luminancia media contenida en un campo cónico de visión, que subtiende un ángulo de  $20^\circ$  ( $2 \times 10^\circ$ ) con el vértice en la posición del ojo de un conductor que se aproxima y orientado a la boca del túnel a un punto situado a una altura de  $\frac{1}{4}$  de la boca del túnel. La  $L_{20}$  es percibida desde un punto situado a una distancia igual a la distancia de parada a partir del portal del túnel en el centro del carril o línea de tráfico pertinente.

### **Luminancia en la zona interior ( $L_{in}$ )**

La luminancia interior  $L_{in}$  en un lugar específico de dicha zona del túnel, es la luminancia media de la superficie de calzada en ese lugar. Se expresa en  $\text{cd}/\text{m}^2$ .

### **Luminancia en la zona de umbral ( $L_{th}$ )**

La luminancia en la zona de umbral  $L_{th}$  en un lugar específico de dicha zona del túnel, es la luminancia media de la superficie de la calzada en ese lugar. Se expresa en  $\text{cd}/\text{m}^2$ .

### **Luminancia en la zona de transición**

La luminancia en un lugar específico de dicha zona del túnel, es la luminancia media en la superficie de la calzada en ese lugar. Se expresa en  $\text{cd}/\text{m}^2$ .

### **Luminancia de velo ( $L_v$ )**

Luminancia uniforme equivalente resultante de la luz que incide sobre el ojo de un observador y que produce el velado de la imagen en la retina, disminuyendo de este modo la facultad que posee el ojo para apreciar los contrastes. Se expresa en  $\text{cd}/\text{m}^2$ .

La luminancia de velo se debe a la incidencia de la luz emitida por una luminaria sobre el ojo de un observador en el plano perpendicular a la línea de visión, dependiendo asimismo del ángulo comprendido entre el centro de la fuente deslumbrante y la línea de visión, así como del estado fisiológico del ojo del observador.

La luminancia de velo  $L_v$  responde a la siguiente expresión:

$$L_v = K \cdot \left( \frac{E_g}{\theta^2} \right)$$

Siendo:

- K = Constante que depende fundamentalmente de la edad del observador y, aunque es variable, se adopta como valor medio 10 si los ángulos se expresan en grados, y  $3 \cdot 10^{-3}$  si se expresan en radianes.

- $E_g$  = Iluminancia sobre la pupila, en un plano perpendicular a la dirección visual y tangente al ojo del observador ( $I_x$ ).
- $\Theta$  = Ángulo entre el centro de la fuente deslumbrante y la línea de visión, es decir, ángulo formado por la dirección visual del observador (grados o radianes).

Para el conjunto total de una instalación de alumbrado público habrá que tener en cuenta todas las luminancias de velo para cada luminaria, considerando además que la primera luminaria a tener en cuenta es la que forma  $20^\circ$  en ángulo de alzada con la horizontal, es decir:

$$L_v = K \cdot \sum_{i=1}^{i=n} \frac{E_g}{\theta^2}$$

Siendo:

- $i$  = Primera luminaria cuyo ángulo de alzada con la horizontal es  $20^\circ$ , siendo válida la expresión para  $1,5^\circ < \theta < 30^\circ$ .

### **Luminancia en un punto de una superficie (L)**

Intensidad luminosa por unidad de superficie reflejada por la misma en la dirección del ojo del observador. Se expresa en  $cd/m^2$ .

La expresión de la luminancia en un punto P, en función de la intensidad luminosa que incide en dicho punto, de la altura  $h$  de montaje de la luminaria y de las características de reflexión del pavimento  $r(\beta, \tan \gamma)$ , es la siguiente:

$$L = \frac{[I(c, \gamma) \cdot r(\beta, \tan \gamma)]}{h^2}$$

### **Luminancia media de superficie de calzada de una vía pública ( $L_m$ )**

Valor medio de la luminancia de la superficie de la vía pública promediada sobre la calzada. Se expresa en  $cd/m^2$ .

### **Luminancímetro**

Instrumento para medir luminancias.

### **Luminancímetro de control**

Luminancímetro situado a una distancia igual a la distancia de parada de la boca del túnel, orientado en dirección a ella y con un campo de medición de  $20^\circ$ , mediante el cual se disparan los diferentes regímenes de alumbrado del túnel.

### **Luminaria**

Aparato que distribuye, filtra o transforma la luz emitida por una o varias lámparas y que, además de los accesorios necesarios para fijarlas, protegerlas y conectarlas al circuito eléctrico de alimentación, contiene en su caso los equipos auxiliares necesarios para su funcionamiento (balasto, reactancia y arrancador).

## **Luminosidad**

Atributo de la sensación visual según la cual una superficie parece emitir más o menos luz.

## **Pantalla para luz natural, paralúmenes**

Dispositivos que transmiten una parte de la luz natural ambiente y que puede ser aplicado para el alumbrado en la zona de umbral y/o en la zona de entrada del túnel.

## **Pantalla que no deja pasar el sol**

Dispositivo construido de tal modo que la luz solar directa no puede alcanzar nunca la superficie de la calzada o las paredes bajo dicha pantalla.

## **Porcentaje de visión a través**

Relación existente entre la superficie de la boca de salida y la superficie de la boca de entrada de un túnel, medidas ambas sobre una imagen del portal de entrada del túnel realizada a una distancia de éste igual a la distancia de parada.

## **Portal**

Parte de la construcción del túnel que corresponde al comienzo o al final de la parte cubierta del túnel o, cuando se usan pantallas solares, al comienzo o al final de éstas.

## **Potencia activa (P)**

Capacidad de un circuito para realizar un proceso de transformación de la energía eléctrica en trabajo. Por tanto, es la potencia realmente consumida por los circuitos. Se expresa en vatios (W).

$$P = V \cdot I \cdot \cos \alpha$$

Siendo:

- V = Tensión (V).
- I = Intensidad (A).
- $\alpha$  = Ángulo de desfase entre la tensión y la intensidad.

## **Potencia contratada**

Potencia que suscribe el cliente con la empresa de suministro de energía eléctrica en función de la potencia de los elementos conectados.

## **Potencia instalada**

Suma de las potencias de todos los elementos de una instalación.

## **Potencia reactiva (Q)**

Es la encargada de generar el campo magnético que requieren para su funcionamiento los equipos inductivos. No es una potencia realmente consumida en la instalación, ya que no produce trabajo útil debido a que su valor medio es nulo. Aparece en instalaciones eléctricas en las que existen bobinas o condensadores. Se expresa en voltiamperios reactivos (VAr).

### **Protección diferencial**

Acción mediante la cual se protege a las personas de las derivaciones causadas por faltas de aislamiento entre los conductores activos y tierra o la masa de los elementos de la instalación. Se suele realizar a través de un interruptor diferencial, que consta de dos bobinas colocadas en serie con los conductores de alimentación de corriente y que producen campos magnéticos opuestos y un núcleo o armadura que mediante un dispositivo mecánico adecuado puede accionar unos contactos.

### **Protección magnetotérmica**

Acción mediante la cual se puede interrumpir la corriente eléctrica de un circuito cuando éste sobrepasa ciertos valores máximos. Se suele realizar a través de un interruptor magnetotérmico, que consta de un electroimán y una lámina bimetálica, conectadas en serie y por las que circula la corriente que va hacia la carga.

### **Red de tierra**

Circuito eléctrico formado por electrodos o picas, conductores conectados a dichos electrodos, bornes de puesta a tierra y conductores de protección que se emplea en las instalaciones eléctricas para evitar el paso de corriente al usuario por un fallo del aislamiento de los conductores activos.

La puesta a tierra es una unión de todos los elementos metálicos que, mediante cables de sección suficiente entre las partes de una instalación y un conjunto de electrodos, permite la desviación de corrientes de falta o de las descargas de tipo atmosférico y consigue que no se pueda dar una diferencia de potencial peligrosa en los edificios, instalaciones y superficie próxima al terreno.

### **Reflectancia**

Capacidad de una superficie para reflejar la luz.

### **Régimen de alumbrado**

Cada uno de los escalones de iluminación en los que puede funcionar la instalación de alumbrado de un túnel, en función de la luminancia existente en la boca de entrada.

### **Rendimiento de color**

Capacidad de una fuente de luz artificial para reproducir los colores, siendo la referencia la luz del sol. Se mide a través del índice de rendimiento de color.

### **Rendimiento de una luminaria ( $\eta$ )**

Es la relación entre el flujo luminoso total procedente de la luminaria y el flujo luminoso emitido por la lámpara o lámparas instaladas en la luminaria. Carece de unidades.

### **Sensibilidad espectral**

Eficacia relativa de la detección de una radiación en función de la frecuencia o longitud de onda de dicha radiación.

## **Sistema óptico**

En una luminaria es el encargado de controlar, dirigir y distribuir la luz de la forma establecida y adecuada.

## **Tiempo de adaptación**

Tiempo que tarda el ojo humano en acostumbrarse a un nuevo nivel de iluminación, ya sea mayor o menor al que existía anteriormente. Se expresa en s (segundos).

## **Unidad de punto de luz**

Dispositivo existente en cada punto de luz que permite al sistema de control del túnel controlar y tener información de la instalación de alumbrado a nivel de cada punto de luz.

## **Uniformidad global de luminancias ( $U_0$ )**

Relación entre la luminancia mínima y la media de la superficie de la calzada. Carece de unidades.

## **Uniformidad longitudinal de luminancias ( $U_L$ )**

Relación entre la luminancia mínima y la máxima en el mismo eje longitudinal de los carriles de circulación de la calzada, adoptando el menor valor de todos ellos. Carece de unidades.

## **Uniformidad media de iluminancias ( $U_m$ )**

Relación entre la iluminancia mínima y la media de la superficie de la calzada. Carece de unidades.

## **Uniformidad general de iluminancias ( $U_g$ )**

Relación entre la iluminancia mínima y la máxima de la superficie de la calzada. Carece de unidades.

## **Visibilidad**

Término utilizado para apreciar cualitativamente la facilidad, rapidez y precisión para detectar o identificar visualmente un objeto u obstáculo.

## **Visión escotópica**

Visión del ojo normal adaptado a niveles de luminancia inferiores a algunas centésimas de candela por metro cuadrado. Es la visión que corresponde a la noche cerrada, actuando únicamente los bastones (células fotosensibles de la periferia de la retina). La sensibilidad diferencial al contraste  $S_C$  es muy pequeña y, en consecuencia, resulta muy elevado el contraste umbral de luminancias  $C_U$  que se precisa para ver los objetos.

La visión escotópica se caracteriza porque necesita un tiempo de adaptación a las impresiones luminosas, disminuye brutalmente la agudeza visual y existe muy poca nitidez. Se carece de percepción de colores, con muy débil velocidad de distribución de contrastes y pérdida de evaluación de distancias.

## **Visión fotópica**

Visión del ojo normal adaptado a niveles de luminancia de al menos varias candelas por metro cuadrado. Para niveles de luminancia superiores a 3 ó 4  $\text{cd/m}^2$  actúa la visión fotópica o diurna, funcionando los conos (células fotosensibles del centro de la retina en su triple variedad de azules, verdes y rojos). La sensibilidad diferencial al contraste  $S_C$  es alta y, por tanto, el contraste umbral de luminancias  $C_U$  que se precisa para ver los objetos es bajo. La visión fotópica permite la percepción con gran nitidez y elevada agudeza visual, óptima visión de los colores y velocidad elevada de distinción de contrastes.

## **Visión mesópica**

Visión intermedia entre la visión fotópica y la escotópica. La visión mesópica o crepuscular actúa en el intervalo comprendido entre algunas centésimas y varias candelas por metro cuadrado (aproximadamente  $10^{-3}$  y 3 ó 4  $\text{cd/m}^2$ ), funcionando entremezcla dos conos y bastones.

La visión mesópica se ejercita en los periodos transitorios del alba y del ocaso del sol, en la conducción nocturna con la ayuda de luz de cruce (0,2 a 0,3  $\text{cd/m}^2$ ) y luz larga o de carretera y en las calzadas dotadas de alumbrado público.

La visión mesópica se caracteriza por la existencia de reducción en la agudeza visual; disminución de la sensibilidad diferencial de contraste  $S_C$ ; precisándose un elevado contraste umbral de luminancias  $C_U$  para la visibilidad de obstáculos; alteración importante en la apreciación de distancias (visión binocular deficiente); percepción limitada de obstáculos laterales; y, por último, visión cromática rara e insólita.

Se caracteriza porque necesita un tiempo de adaptación a las impresiones luminosas, disminuye brutalmente la agudeza visual y existe muy poca nitidez. Se carece de percepción de colores, con muy débil velocidad de distribución de contrastes y pérdida de evaluación de distancias.

## **Visión periférica**

Capacidad para detectar los objetos más allá del cono de visión de mayor claridad, es decir, con un ángulo mayor de  $12^\circ$ .

## **Zona de acceso**

Parte de la carretera a cielo abierto, situada inmediatamente fuera (enfrente) de la boca del túnel, que cubre la distancia a la que, un conductor que se aproxima, debe ser capaz de ver en el interior del túnel. La zona de acceso comienza en un punto situado frente al portal a una distancia igual a la distancia de parada y termina en la boca del túnel, con una longitud mínima igual a la distancia de parada.

## **Zona de entrada**

Zona constituida por la zona de umbral y la zona de transición.

## **Zona de salida**

Parte del túnel en la que, durante el día, la visión del conductor que se aproxima a la misma está influida predominantemente por la elevada luminancia exterior del túnel. Comienza al final de la zona interior y termina en el portal de salida del túnel, con una longitud mínima igual a la distancia de seguridad o de parada.



### **Zona de transición**

Parte del túnel que sigue inmediatamente después de la zona de umbral. Comienza al final de la zona de umbral y termina al comienzo de la zona interior. En la zona de transición el nivel de iluminación disminuye progresivamente desde el nivel existente al final de la zona de umbral al nivel de la zona interior del túnel.

### **Zona de umbral**

La zona de umbral es la primera parte del túnel, directamente después del portal. Comienza en la boca del túnel y su longitud es igual a la distancia de parada.

### **Zona interior**

Parte del túnel que sigue directamente después a la zona de transición. Comienza al final de la zona de transición y termina al comienzo de la zona de salida.



## ***ANEJO 2. INVENTARIO***



# ÍNDICE

1. OBJETO.....	1
2. CODIFICACIÓN Y RELACIÓN DE FICHAS.....	1
3. INSTRUCCIONES PARA CUMPLIMENTAR LAS FICHAS DE INVENTARIO.....	1
Ficha 0 – Identificación.....	1
Ficha 1 – Características generales.....	3
Ficha 2 – Acometida.....	3
Ficha 3 – Cuadro de mando.....	3
Ficha 4a – Puntos de luz interiores.....	4
Ficha 4b – Puntos de luz exteriores.....	5
Ficha 5 – Conductor.....	5
Ficha 6 – Elementos de control.....	6
4. FICHAS DE INVENTARIO.....	6
Ficha 0 – Identificación.....	7
Ficha 1 – Características generales.....	8
Ficha 2 – Acometida.....	9
Ficha 3 – Cuadro de mando.....	10
Ficha 4a – Puntos de luz interiores.....	12
Ficha 4b – Puntos de luz exteriores.....	13
Ficha 5 – Conductor.....	14
Ficha 6 – Elementos de control.....	15



## 1. OBJETO

En el capítulo 6 de las Recomendaciones para la Iluminación de Túneles se aconseja que, antes de redactar un Plan de Mantenimiento, se realice un inventario de los sistemas y elementos componentes de la instalación que son susceptibles de mantenimiento o que puedan precisar operaciones de conservación.

El objeto de este anejo es establecer las directrices que se deben tener en cuenta en la realización de dicho inventario, definiendo los elementos a inventariar, su codificación y las características que se deben incluir.

## 2. CODIFICACIÓN Y RELACIÓN DE FICHAS

Cada instalación tendrá asociado un código identificativo que constará de seis partes separadas por guiones y dos fichas (0 y 1). Así, cada elemento que forme parte de dicha instalación tendrá asociado otra ficha y otro código cuyas cinco primeras partes coincidirán con las del código de la instalación, de forma que conociendo el código del elemento se pueda saber a qué instalación pertenece.

El código identificativo constará de seis partes separadas por guiones:

- Código de la demarcación de carreteras.
- Código postal provincial.
- Carretera.
- Punto kilométrico (p.k.) inicial del túnel.
- Tipo de túnel.
- Número de siete dígitos reservados para los elementos de la instalación.

Por ejemplo, 13-28-A1-92,092-U-1334097

En cuanto a las fichas de inventario, cada elemento tendrá asociadas las siguientes fichas:

- Instalación: Ficha – 0 y Ficha – 1.
- Acometida: Ficha – 2.
- Cuadro de mando: Ficha – 3.
- Puntos de luz (grupo de características homogéneas): Ficha – 4a y Ficha – 4b.
- Conductores: Ficha – 5.
- Elementos de control: Ficha – 6.

## 3. INSTRUCCIONES PARA CUMPLIMENTAR LAS FICHAS DE INVENTARIO

A continuación se dan las indicaciones para cumplimentar los campos de las fichas de inventario.

### Ficha 0 – Identificación

- Código: se introducirá como sigue:
  - Demarcación. Se introducirá un código identificativo de la demarcación de carreteras correspondiente de acuerdo con la siguiente tabla:

Tabla 1. Códigos identificativos de las distintas Demarcaciones de Carreteras del Estado.

Demarcación	Código
Andalucía Occidental	01
Andalucía Oriental	02
Aragón	03
Asturias	04
Cantabria	05
Castilla La-Mancha	06
Castilla y León Occidental	07
Castilla y León Oriental	08
Cataluña	09
Extremadura	10
Galicia	11
La Rioja	12
Madrid	13
Murcia	14
Valencia	15

- Provincia. Se introducirá el código postal provincial.
- Carretera. Se designará de acuerdo con la denominación de la Red de Carreteras del Estado, con un número de 2+4 dígitos (XXYYYY), siendo XX el nombre de la carretera, por ejemplo N o A, e YYYY el número de la carretera, por ejemplo 630a.
- Punto kilométrico (p.k.) inicial del túnel: se introducirá el p.k. de inicio del túnel en la calzada derecha. Con cuatro cifras y tres decimales, separados por una coma, por ejemplo 1154,568.
- Tipo de túnel. Bidireccional (B) o unidireccional (U).
- Número de siete dígitos: 0000000.

Por ejemplo: 13-28-A1-92,092-U-0000000.

- Potencia instalada.
- Potencia contratada.
- Consumo teórico.
- Breve descripción. Se deberá realizar una breve descripción de la instalación, indicando si existe iluminación exterior, además de los distintos circuitos y los intervalos de luminancia de funcionamiento de cada uno de ellos.
- Relación de elementos asociados. Se deberá incluir el número de unidades de cada uno de los elementos siguientes:
  - Acometidas.
  - Conductores principales.
  - Cuadros de mando.
  - Conductores secundarios.
  - Puntos de luz: se deberán especificar los códigos los puntos de luz inicial y final, tanto interiores como exteriores.
  - Elementos de control.
- Plano de situación. Se deberá incluir un plano con la situación de la instalación.



## **Ficha 1 – Características generales**

- Código. Se designará de la misma forma que en la Ficha 0 – Identificación.
- Características del tráfico. Intensidad media diaria de tráfico (IMD).
- Acometidas:
  - Número total. Se introducirá el número de acometidas que suministren energía a la instalación de alumbrado del túnel.
  - CUPS. Se introducirá el código universal de cada punto de suministro.
- Cuadros de mando:
  - Número total. Se introducirá el número de cuadros de mando incluidos en la instalación.
- Conductores:
  - Tipos de canalizaciones: 1 (en bandeja), 2 (grapada), 3 (otros).
- Puntos de luz:
  - Número total. Se introducirá el número de puntos de luz incluidos en la instalación.
  - Iluminación exterior: 1 (Sí), 2 (No).
  - Tipos de fuente de luz: 1 (vapor de sodio alta presión), 2 (LED), 3 (otros).
  - Potencias: se introducirán las distintas potencias de los puntos de luz incluidos en la instalación.
- Planos. Se incluirán planos a escala adecuada en función de la longitud del túnel.

## **Ficha 2 – Acometida**

- Código:
  - Las cinco primeras partes se designarán de la misma forma que en la Ficha 0 – Identificación.
  - Número de siete dígitos: X000000, siendo X el número de la acometida. Se nombrarán primero las existentes en la calzada derecha y por orden creciente de pp.kk. Las existentes en la calzada izquierda se nombrarán por orden decreciente de pp.kk.

Por ejemplo: 13-28-A1-92,092-U-3000000.

- Datos de suministro:
  - CUPS. Se introducirá el código universal de puntos de suministro.
  - Potencia máxima.

## **Ficha 3 – Cuadro de mando**

- Código:
  - Las cinco primeras partes se designarán de la misma forma que en la Ficha 0 – Identificación.
  - Número de siete dígitos: XY<sub>1</sub>Y<sub>2</sub>0000, siendo X el número de la acometida que le suministra energía, Y<sub>1</sub> (un dígito) el número de conductor principal, de acuerdo con lo dispuesto en la Ficha 4 – Conductores e Y<sub>2</sub> el número de cuadro (un dígito), siendo Y<sub>1</sub>=Y<sub>2</sub>.

Por ejemplo: 13-28-A1-92,092-U-3220000.

- Denominación. Se deberá introducir el nombre o número del cuadro de mando cuando difiera del código de identificación.

- Características:
  - Tipología: 1 (estabilización-reducción en cabecera de línea), 2 (control punto a punto).
- Datos de cálculo:
  - Nivel de reducción. Se deberán introducir los % de reducción posibles.
- Componentes principales:
  - Control de encendido y gestión:
    - Luminancímetro de control: 1 (Sí), 2 (No).
    - Equipo de gestión centralizada: 1 (Sí), 2 (No).
    - Otros: 1 (Sí), 2 (No).
  - Protecciones generales:
    - Protecciones magnetotérmicas. Se deberá introducir la intensidad, polaridad, sensibilidad, marca y modelo.
    - Protecciones diferenciales. Se deberá introducir la intensidad, polaridad, marca y modelo.
  - Regulación de flujo: 1 (hasta 30 kva), 2 (30-60 kva), 3 (más de 60 kva)
  - Sistema de ahorro de energía:
    - Tipo de funcionamiento: 1 (estático), 2 (dinámico)
  - Circuitos de salida:
    - Protecciones magnetotérmicas. Se deberá introducir la intensidad, polaridad, sensibilidad, marca y modelo.
    - Protecciones diferenciales. Se deberá introducir la intensidad, polaridad, marca y modelo.
    - Tipo de canalización: 1 (directamente enterrada), 2 (bajo tubo), 3 (otros)

#### **Ficha 4a - Puntos de luz interiores**

- Códigos de los puntos de luz asociados a esta ficha: se introducirán los códigos de todos los puntos de luz de características homogéneas de acuerdo con lo que se expone a continuación:
  - Las cinco primeras partes se designarán de la misma forma que en la Ficha 0 – Identificación.
  - Número de siete dígitos: XYYZTTT, siendo X el número de acometida, Y y Z los números de los conductores principal y secundario, de acuerdo con la Ficha 4 – Conductores y TTT el número del punto de luz. Se asignará el número más bajo al punto de luz que se encuentre más cerca del cuadro de mando.

Por ejemplo: 13-28-A1-92,092-U-3224028.

- Características:
  - Disposición: 1 (Cenital), 2 (Bilateral al tresbolillo), 3 (Bilateral pareada), 4 (Unilateral).
  - Circuito al que pertenece: 1 (Pleno sol), 2 (Nublado), 3 (Crepuscular), 4 (Nocturno)
- Elementos:
  - Fuentes de luz:
    - Tipo: 1 (vapor de sodio alta presión), 2 (LED), 3 (otros).
    - Potencia. Se introducirá la potencia de la lámpara.
    - Equipos eléctricos compatibles: 1 (electrónico), 2 (inducción); 1 (regulable), 2 (no regulable); Admite IP: 1 (Sí), 2 (No).
  - Luminaria/proyector:
    - Tipo: 1 (vial asimétrica abierta), 2 (vial asimétrica cerrada), 3 (proyector), 4 (otros).
    - Nº de fuentes de luz que aloja: 1 (monolámpara), 2 (bilámpara).

- Soportes:
  - Tipo: 1 (lira), 2 (anclaje directo), 3 (otro tipo).
- Equipo eléctrico auxiliar:
  - Tipo: 1 (balasto inductivo), 2 (balasto de doble nivel), 3 (balasto electrónico), 4 (fuente de alimentación (LED)).
  - Incorporado a luminaria: 1 (Sí), 2 (No).
  - Datos eléctricos: impedancia, pérdidas...

#### **Ficha 4b - Puntos de luz exteriores**

- Códigos de los puntos de luz asociados a esta ficha: se introducirán los códigos de todos los puntos de luz de características homogéneas de acuerdo con lo que se expone a continuación:
  - Las cinco primeras partes se designarán de la misma forma que en la Ficha 0 – Identificación.
  - Número de siete dígitos: XYYZTTT, siendo X el número de acometida, Y y Z los números de los conductores principal y secundario, de acuerdo con la Ficha 4 – Conductores y TTT el número del punto de luz. Se asignará el número más bajo al punto de luz que se encuentre más cerca del cuadro de mando.

Por ejemplo: 13-28-A1-92,092-U-3224028.

- Características:
  - Disposición: 1 (unilateral), 2 (bilateral pareada), 3 (bilateral tresbolillo), 4 (axial).
- Elementos:
  - Fuentes de luz:
    - Tipo: 1 (vapor de sodio alta presión), 2 (LED), 3 (otros).
    - Potencia: se introducirá la potencia de la lámpara.
    - Equipos eléctricos compatibles: 1 (electrónico), 2 (inducción); 1 (regulable), 2 (no regulable); Admite IP: 1 (Sí), 2 (No).
  - Luminaria:
    - Tipo: 1 (vial asimétrica abierta), 2 (vial asimétrica cerrada), 3 (proyector), 4 (otros).
    - Nº de fuentes de luz que aloja: 1 (monolámpara), 2 (bilámpara).
  - Soportes:
    - Tipo: 1 (báculo), 2 (brazo), 3 (columna), 4 (mural o sobre pared), 5 (otros).
  - Equipo eléctrico auxiliar:
    - Tipo: 1 (balasto inductivo), 2 (balasto de doble nivel), 3 (balasto electrónico), 4 (fuente de alimentación (LED)).
    - Incorporado a luminaria: 1 (Sí), 2 (No).
    - Datos eléctricos: impedancia, pérdidas...
  - Arqueta:
    - Tapa: 1 (Sí), 2 (No).

#### **Ficha 5 - Conductor**

- Código:
  - Las cinco primeras partes se designarán de la misma forma que en la Ficha 0 – Identificación.
  - Número de siete dígitos: dependerá de si el conductor es principal o secundario, llamando conductor principal al que conecta la acometida con el cuadro de mando y conductor secundario al que conecta el cuadro de mando con los puntos de luz.

- Si es principal: XY00000, siendo X el número de la acometida e Y el número de conductor principal. Se nombrarán en sentido antihorario partiendo del norte, asignando a la primera línea el número 1. Si dos líneas presentan el mismo trazado, se asignará el número más bajo a la más corta.

Por ejemplo: 13-28-A1-92,092-U-3200000.

- Si es secundario: XYYZ000, siendo X e Y iguales a los del apartado anterior y Z el número de conductor secundario. Los conductores secundarios se nombrarán en sentido antihorario partiendo del norte, asignando a la primera línea el número 1. Si dos líneas presentan el mismo trazado, se asignará el número más bajo a la más corta. Por ejemplo: 13-28-A1-92,092-U-3225000.
- Tipo: 1 (principal), 2 (secundario).
- Circuito al que pertenece: 1 (Pleno sol), 2 (Nublado), 3 (Crepuscular), 4 (Nocturno).
- Características:
  - Tipo de conductor: 1 (cobre), 2 (aluminio), 3 (otros).
  - Sección: se introducirá la sección del conductor, en mm<sup>2</sup>.
  - Tipo de canalización: 1 (directamente enterrada), 2 (bajo tubo), 3 (otros).
- Arquetas: Se nombrarán asignando el número 1 a la que se encuentre más cerca del cuadro de mando.
  - Arqueta 1:
    - Tipo: 1 (cruce de calzada), 2 (cambio de dirección).
    - Tapa: 1 (Sí), 2 (No).
  - Arqueta 2:
    - Tipo: 1 (cruce de calzada), 2 (cambio de dirección).
    - Tapa: 1 (Sí), 2 (No).
  - Arqueta 3...
- Planos: a escala adecuada en función de la longitud del túnel. Deberán incluir el trazado del conductor y la ubicación de las distintas arquetas.

#### **Ficha 6 – Sistema de Control**

- Código:
  - Las cinco primeras partes se designarán de la misma forma que en la Ficha 0 – Identificación
  - Número de siete dígitos: dependerá del tipo de Control.
- Tipo de Control: Autónomo (en la propia Fuente de luz), Telegestión (en Centro de Mando o Punto a Punto).
- Características
  - Localización del equipo de Control: 1 (En la Luminaria), 2 (En el Cuadro de Mando)
  - Tipo de Conexión: 1 (Punto a Punto por Red Eléctrica), 2 (Wireless por GPRS), 3 (Fibra Óptica), 4 (Radio)
  - Protocolo de Comunicación: 1/10 v., DALI, LONWORKS, etc...
  - Fabricante: Marca y Modelo de los equipos instalados.
  - Características particulares del equipo: Documentación adicional particular y específica del equipo instalado y de Plataforma de Monitorización y Control de la Información si existe (PROGRAMA).
- Planos: a escala adecuada en función de la longitud del túnel. Deberán incluir los equipos electrónicos instalados en cada elemento y la ubicación de los mismos.

#### **4. FICHAS DE INVENTARIO**

A continuación se adjuntan las fichas-tipo para la realización del inventario.

# INVENTARIO

## INSTALACIÓN DE ALUMBRADO DE UN TÚNEL

### FICHA 0 - Identificación

- Código.
- Fecha de la última actualización de la información.
- Potencia instalada.
- Potencia contratada.
- Consumo teórico.
- Breve descripción.
- Relación de elementos asociados:
  - Acometidas.
  - Conductores principales.
  - Cuadros de mando.
  - Conductores secundarios.
  - Puntos de luz.
- Plano de situación.
- Observaciones.

## INVENTARIO

### INSTALACIÓN DE ALUMBRADO DE UN TÚNEL

#### FICHA 1 - Características generales

- Código.
- Fecha de puesta en servicio de la instalación.
- Fecha de la última actualización de la información.
- Características del tráfico.
- Luminancias ( $\text{cd/m}^2$ ):
  - Media.
  - Máxima.
  - Mínima:
- Iluminancias (lx):
  - Media.
  - Máxima.
  - Mínima.
- Consumo teórico (kWh):
- Acometidas:
  - N° total.
  - CUPS.
  - Compañías suministradoras.
  - Potencia instalada (kW).
  - Potencia contratada (kW).
  - Consumo previsto (kWh).
  - N° contadores potencia activa.
  - N° contadores potencia reactiva.
- Cuadros de mando:
  - Número total.
  - Tipos de regulación.
- Conductores:
  - N° de conductores distintos.
  - N° de secciones distintas.
  - Longitud total (km).
  - Tipos de canalización.
- Puntos de luz:
  - Número total.
  - Iluminación exterior.
  - N° de soportes distintos.
  - N° de luminarias o proyectores distintos.
  - N° de lámparas distintas.
  - N° de equipos eléctricos auxiliares distintos.
- Planos.
- Observaciones.

## INVENTARIO

### INSTALACIÓN DE ALUMBRADO DE UN TÚNEL

#### FICHA 2 - Acometida

- Código.
- Punto kilométrico (p.k.).
- Margen.
- Fecha de la última revisión.
- Fecha de la última sustitución.
- Último elemento sustituido.
- Fecha de la última actualización de la información.
- Datos de suministro:
  - CUPS.
  - Dirección de facturación.
  - Compañía distribuidora.
  - Compañía comercializadora.
  - Periodo de contrato.
  - Potencia autorizada (kW).
  - Potencia contratada P-1 (kW).
  - Potencia contratada P-2 (kW).
  - Potencia contratada P-3 (kW).
  - Potencia máxima.
  - Nº de contador de potencia activa.
  - Nº de contador de potencia reactiva.
  - Referencia equipo de medida.
  - Propiedad del equipo de medida.
  - Telemedida.
  - Fecha alta suministro.
  - Instalador autorizado.
- Características técnicas:
  - Tipo de suministro.
  - Sección de la acometida.
  - Tipo de conductor.
- Observaciones.

## INVENTARIO

### INSTALACIÓN DE ALUMBRADO DE UN TÚNEL

#### FICHA 3 - Cuadro de mando

- Código.
- Fecha de la última revisión.
- Fecha de última sustitución.
- Último elemento sustituido.
- Fecha de la última actualización de la información.
- Punto kilométrico (p.k.).
- Margen: 1 (Derecha), 2 (Izquierda).
- Código de la acometida que suministra energía.
- Denominación.
- Características:
  - Material.
  - Marca (fabricante).
  - Modelo.
  - Tipología.
  - Vida útil.
- Datos de cálculo:
  - Longitud de circuito asociado.
  - Longitud de viales iluminados.
  - Superficie de viales iluminados.
  - N° de puntos de luz.
  - Potencia total instalada.
  - Nivel de reducción.
- Componentes principales:
  - Control de encendido y gestión:
    - Luminancímetro de control.
    - Equipo de gestión centralizada.
  - Protecciones generales:
    - Interruptores generales.
    - Protecciones magnetotérmicas.
    - Protecciones diferenciales.
  - Regulación de flujo.
  - Contactores o relés:
    - Número.
    - Polaridad.
    - Intensidad.
    - Marca.
  - Luminancímetro:
    - Tipo.
    - Marca.
    - Modelo.



- Sistema de ahorro de energía:
  - Marca.
  - Modelo.
  - Tipo de funcionamiento.
  - Hora de encendido en régimen nominal.
  - Hora de cambio a régimen reducido.
- Circuitos de salida:
  - Nombre o número.
  - Tipo.
  - Módulos de protección diferencial.
  - Protecciones magnetotérmicas.
  - Protecciones diferenciales.
  - Contactores.
  - Tipo de conductor.
  - Sección del conductor.
  - Tipo de canalización.
- Planos y esquemas.
- Observaciones.

## INVENTARIO

### INSTALACIÓN DE ALUMBRADO DE UN TÚNEL

#### FICHA 4a - Puntos de luz interiores

- Códigos de los puntos de luz asociados a esta ficha.
- Fecha de la última revisión.
- Fecha de última sustitución.
- Último elemento sustituido.
- Fecha de la última actualización de la información.
- Características:
  - Disposición.
  - Circuito al que pertenece.
  - Contrato.
- Elementos:
  - Fuentes de luz:
    - Tipo.
    - Marca (fabricante).
    - Modelo.
    - Potencia (W).
    - Altura de montaje (m).
    - Vida útil (h).
    - Reducción de tensión admisible (%).
    - Equipos eléctricos compatibles.
  - Luminaria/proyector:
    - Tipo.
    - Marca (fabricante).
    - Modelo.
    - Nº de fuentes de luz que aloja.
    - Año de fabricación.
  - Soporte:
    - Tipo.
    - Altura.
    - Material.
    - Marca (fabricante).
    - Modelo.
  - Equipo eléctrico auxiliar:
    - Tipo.
    - Incorporado a luminaria.
    - Datos eléctricos.
- Observaciones.

## INVENTARIO

### INSTALACIÓN DE ALUMBRADO DE UN TÚNEL

#### FICHA 4b - Puntos de luz exteriores

- Códigos de los puntos de luz asociados a esta ficha.
- Fecha de la última revisión.
- Fecha de última sustitución.
- Último elemento sustituido.
- Fecha de la última actualización de la información.
- Características:
  - Disposición.
  - Contrato.
- Elementos:
  - Fuentes de luz:
    - Tipo.
    - Marca (fabricante).
    - Modelo.
    - Potencia (W).
    - Altura de montaje (m).
    - Vida útil (h).
    - Reducción de tensión admisible (%).
    - Equipos eléctricos compatibles.
  - Luminaria:
    - Tipo.
    - Marca (fabricante).
    - Modelo.
    - Nº de fuentes de luz que aloja.
    - Año de fabricación.
  - Soporte:
    - Tipo.
    - Altura.
    - Material.
    - Marca (fabricante).
    - Modelo.
  - Equipo eléctrico auxiliar:
    - Tipo.
    - Incorporado a luminaria.
    - Datos eléctricos.
  - Arqueta:
    - Dimensiones.
    - Tapa.
- Observaciones.

# INVENTARIO

## INSTALACIÓN DE ALUMBRADO DE UN TÚNEL

### FICHA 5 - Conductor

- Código.
- Fecha de la instalación.
- Fecha de la última revisión.
- Fecha de la última sustitución.
- Último elemento sustituido.
- Fecha de la última actualización de la información.
- Tipo.
- Circuito al que pertenece.
- Características:
  - Tipo de conductor.
  - Tipo de aislamiento.
  - Tipo de canalización.
  - Sección (mm<sup>2</sup>).
  - Vida útil (h).
  - Fabricante.
- Observaciones.
- Planos.

## INVENTARIO

### INSTALACIÓN DE ALUMBRADO DE UN TÚNEL

#### FICHA 6 – SISTEMA DE CONTROL

- Código.
- Fecha de la instalación.
- Fecha de la última revisión.
- Fecha de la última sustitución.
- Último elemento sustituido.
- Fecha de la última actualización de la información.
- Tipo de Control.
- Características:
  - Localización del Equipo de Control.
  - Tipo de Conexión.
  - Tipo de Protocolo de comunicación.
  - Fabricante (Marca y Modelo).
  - Características particulares del equipo.
- Observaciones.
- Planos.



## ***ANEJO 3. CÁLCULOS LUMINOTÉCNICOS***





# ÍNDICE

1.	OBJETO.....	1
2.	REGLAS DE CÁLCULO.....	1
3.	PARTICULARIDADES DEL SISTEMA DE ALUMBRADO A CONTRAFLUJO.....	2
4.	CONVENIOS.....	2
5.	COMPONENTES DIRECTAS PROCEDENTES DE LAS LUMINARIAS.....	3
	5.1 En la superficie de la calzada.....	4
	5.2 En las paredes.....	4
6.	INTERREFLEXIÓN.....	5
7.	UNIFORMIDAD LONGITUDINAL EN LA ZONA DE TRANSICIÓN.....	7
8.	CÁLCULO DEL INCREMENTO DE UMBRAL.....	7
9.	CÁMPOS DE CÁLCULO.....	8
10.	COMPROBACIÓN DEL BALANCE DE FLUJO.....	8



## 1. OBJETO

Los cálculos luminotécnicos en el alumbrado de túneles son una extensión del cálculo para el alumbrado de carreteras a cielo abierto, pero se deben tener en cuenta los siguientes aspectos adicionales:

- Un túnel es un espacio parcialmente cerrado, por lo que debería tenerse en cuenta la interreflexión entre las distintas superficies, normalmente la superficie de la calzada o carretera, paredes y techos.
- Se deben evaluar criterios de calidad adicionales tales como la luminancia de la pared y el coeficiente de revelado de contrastes.
- La separación entre luminarias no suele ser constante y además pueden aplicarse flujos luminosos diferentes de las fuentes de luz dentro de un túnel.
- Los campos de cálculo pueden ser mayores que los límites dados por el intervalo del ángulo de observación de  $0,5^\circ$  a  $1,5^\circ$  dados para tablas de reflexión de la superficie de la calzada. Debe aplicarse una posición de observador que simule los ojos del conductor de un vehículo en movimiento.
- En la zona de transición los valores recomendados para la luminancia de la calzada y de las paredes varían en sentido longitudinal. Por lo tanto se deben reconsiderar las definiciones para uniformidad longitudinal e incremento de umbral.

En el capítulo 4 de las Recomendaciones para la Iluminación de Túneles se establece que el Anejo de Cálculo Luminotécnico de un proyecto de iluminación debe incluir los cálculos correspondientes a la determinación de los parámetros luminotécnicos necesarios según las publicaciones 189:2010 y 140:2000 de la CIE, que son los siguientes:

- Luminancia de la superficie de la calzada.
- Iluminancia de la superficie de la calzada.
- Luminancia de pared  $L_w$  en ambas paredes (hasta una altura de 2 m).
- Iluminancia de pared  $E_w$  (vector normal al plano de la superficie de la pared) en ambas paredes.
- Iluminancia vertical  $E_v$  (vector normal del plano de evaluación vertical paralelo al eje longitudinal de la calzada y dirigido hacia el conductor) a una altura de 10 cm. sobre la superficie de la calzada.

El objeto de este anejo es explicar cómo se deben calcular estos parámetros, describiendo los conceptos necesarios y los métodos de cálculo de cada uno de ellos, de acuerdo con lo expuesto en las publicaciones mencionadas anteriormente.

## 2. REGLAS DE CÁLCULO

El nivel de luminancia medio de la superficie de la calzada y de las paredes debería ser calculado solamente para zonas en las que el nivel es constante, es decir, la primera parte de la zona de umbral y la zona interior. A lo largo de las zonas con luminancia variable, es decir, la segunda parte de la zona de umbral, la zona de transición y la zona de salida, es más útil calcular la media transversal de la luminancia de la calzada y de las paredes en cada eje de cálculo transversal, con el fin de comprobar la disminución del nivel de luminancia a lo largo de estas zonas.

Actualmente, de forma frecuente no hay disponibles suficientes datos de reflexión bidireccional para las superficies en los túneles. Las tablas de reflexión de la superficie de la calzada están definidas solamente para un ángulo de observación ( $1^\circ$  por debajo de la

horizontal) y para superficies de pared solo se conocen normalmente unos pocos valores aislados (por ejemplo  $\rho_{diff}$  y  $\rho_{0/45}$ ). Por ello el cálculo de la luminancia de la pared y todas las interreflexiones no puede hacerse de un modo que corresponda correctamente con la realidad. Si se dispone de tablas de reflexión bidireccional, pueden ser aplicadas (no existe norma para tales tablas y no se ha recomendado previamente ningún procedimiento de cálculo).

Para instalaciones típicas de alumbrado de túneles los componentes de interreflexión de la luminancia de la superficie de la carretera y de la pared son de aproximadamente un orden de magnitud menor que los componentes directos procedentes de las luminarias. Por lo tanto la exactitud en el cálculo de la interreflexión no es crítica.

La suposición más simple para obtener valores aproximados de la luminancia de la pared y de la interreflexión desde la superficie de la calzada y de las paredes es la aplicación de una reflexión difusa de acuerdo con la ley de Lambert.

### **3. PARTICULARIDADES DEL SISTEMA DE ALUMBRADO “A CONTRAFLUJO”**

Cuando se utilizan luminarias de un sistema a contraflujo y la reflexión de la superficie de la calzada y de las paredes es parcialmente especular, el uso de esta suposición puede conducir a valores de cálculo que son significativamente diferentes a los valores reales medidos en un sistema de alumbrado de túnel existente.

Éste es también el caso para la evaluación de los componentes de interreflexión de la luminancia vertical, necesaria para confirmar el rendimiento de los sistemas de alumbrado a contraflujo. En instalaciones a contraflujo, el componente directo de luminancia vertical que procede de las luminarias es pequeño comparado con los componentes indirectos que proceden de la superficie de paredes y de calzada. Para obtener un valor suficientemente preciso para el coeficiente de revelado de contrastes  $L_r/E_v$ , el cálculo de los componentes indirectos de la iluminancia vertical debe incluir dichas contribuciones de calzada y paredes.

### **4. CONVENIOS**

El nadir del sistema de coordenadas es fijado en el portal del túnel, por ejemplo en el borde derecho de la calzada o en cualquier otro punto conveniente y en la superficie de la carretera. La coordenada  $x$  indica la distancia desde el portal en la dirección de conducción, la coordenada  $z$  indica la altura sobre el plano de superficie de la carretera.

- Normalmente las superficies de la pared deben ser simplificadas para el cálculo, ya que en la práctica pueden ser muy complicadas. Para túneles con sección transversal rectangular la pared se puede aproximar mediante rectángulos, mientras que en túneles con sección tipo bóveda éstas se pueden aproximar mediante superficies cilíndricas.
- Las luminarias deberían ser consideradas normalmente como fuentes puntuales. Las fuentes de gran superficie pueden ser divididas en un número finito de fuentes puntuales con la misma distribución de intensidad relativa. Los datos de las luminarias deberían darse en tablas de distribución de intensidad luminosa relativa (cd/klm).

## 5. COMPONENTES DIRECTAS PROCEDENTES DE LAS LUMINARIAS

El cálculo de la componente directa de la luminancia procedente de las luminarias debería basarse en las reglas de la publicación CIE 140-2000 [2].

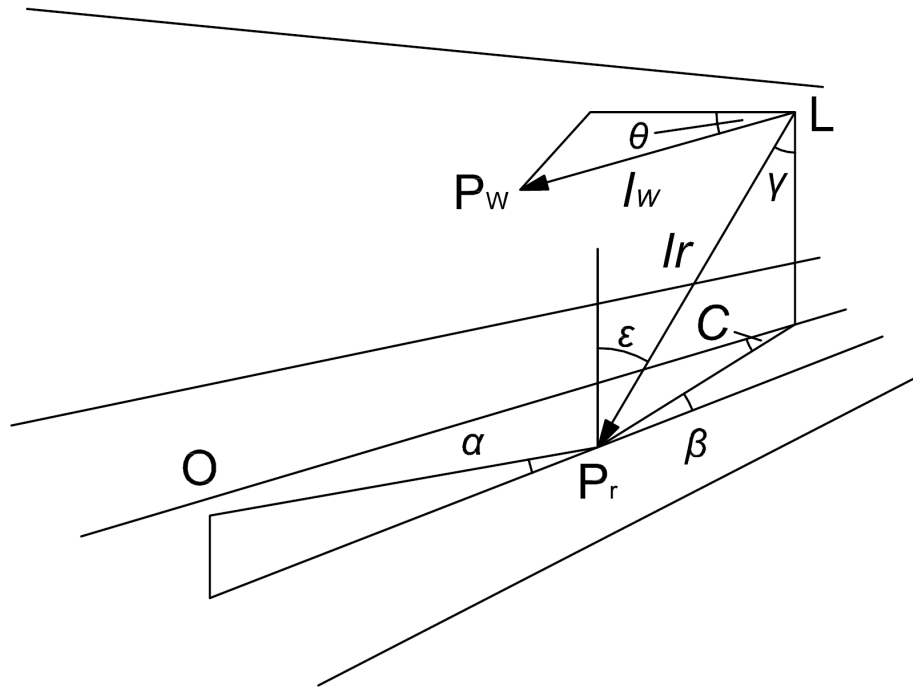


Figura 1. Geometría para luminancia y cálculos de iluminación de acuerdo con la publicación CIE 140-2000 [2].

Donde:

- $P_r$  = Punto de cálculo en la calzada.
- $P_w$  = Punto de cálculo en la pared.
- L = Luminaria.
- O = Posición del observador.
- $C, \gamma$  = Coordenadas angulares de la tabla I.
- $\beta, \gamma$  = Coordenadas angulares de la tabla R.
- $\epsilon$  = Ángulo que forman el vector de intensidad luminosa y el vector perpendicular a la superficie de la calzada.
- $\theta$  = Ángulo que forman el vector de intensidad luminosa y el vector perpendicular a la superficie de la pared.
- $\alpha$  = Ángulo de observación ( $1^\circ$ ).

## 5.1 En la superficie de la calzada

La luminancia de la carretera  $L_r$  viene dada por:

$$L_r = \frac{r(\beta, \gamma) - E_r}{\cos^3 \epsilon} = \frac{r(\beta, \gamma) \cdot I_r(C, \gamma)}{d_r^2 \cdot \cos^3 \epsilon}$$

Donde:

- $r$  = Coeficiente de luminancia reducido.
- $\beta, \gamma$  = Coordenadas angulares de la tabla R.
- $E_r$  = Iluminancia horizontal en el punto P.
- $d_r$  = Distancia desde la luminaria L al punto P, en la carretera.
- $I_r$  = Intensidad luminosa en la dirección  $L_p$ .
- $C, \gamma$  = Coordenadas angulares del vector de intensidad luminosa a la calzada.
- $\epsilon$  = Ángulo entre el vector de intensidad luminosa y el vector perpendicular a la superficie de la calzada.

La iluminancia horizontal  $E_r$  en el punto P es:

$$E_r = \frac{I_r(C, \gamma)}{d_r^2} \cos \epsilon$$

Donde:

- $d_r$  = Distancia desde la luminaria L al punto P, en la calzada.
- $I_r$  = Intensidad luminosa en la dirección LP.
- $C, \gamma$  = Coordenadas angulares del vector de intensidad luminosa a la calzada.
- $\epsilon$  = Ángulo que forman el vector de intensidad luminosa y el vector perpendicular a la superficie de la calzada.

La iluminancia vertical  $E_v$  en el centro del objeto estándar (punto  $P_r$ , 10 cm. por encima del punto de carretera  $P_r$ ) viene dada por:

$$E_v = \frac{I_0(C, \gamma)}{d_0^2} \cos \theta$$

Donde:

- $d_0$  = Distancia desde la luminaria L al centro del objeto estándar.
- $I_0$  = Intensidad luminosa en la dirección  $LP_{r0}$ .
- $C, \gamma$  = Coordenadas angulares del vector de intensidad luminosa al punto  $P_{r0}$ .
- $\theta$  = Ángulo entre el vector de intensidad luminosa y el sentido de conducción (no mostrada en la Figura 1).

## 5.2 En las paredes

La luminancia e iluminancia de la pared son calculadas como sigue:

– Iluminancia de la pared:

$$E_w = \frac{I_w(C', \gamma)}{d_w^2} \cos \theta$$

– Luminancia de la pared:

$$L_w = \frac{\rho_{dif} \cdot E_w}{\pi} = \frac{\rho_{dif} \cdot I_w(C', \gamma)}{\pi \cdot d_w^2} \cos \theta$$

Donde:

- $d_w$  = Distancia desde la luminaria L al punto  $P_w$  en la pared.
- $I_w$  = Intensidad luminosa en la dirección  $LP_w$
- $C', \gamma'$  = Coordenadas angulares del vector de intensidad luminosa a la pared.
- $\rho_{dif}$  = Reflexión difusa de la pared.

Nota 1: Si existen tablas de reflexión disponibles para las paredes, deberían usarse fórmulas similares a las ecuaciones para la luminancia de la calzada y la iluminancia de la calzada.

Nota 2: Los ángulos de observación para las paredes son dependientes de la posición lateral del observador (coordenada y).

## 6. INTERREFLEXIÓN

Como se ha mencionado anteriormente los componentes de la interreflexión son en la mayoría de los casos de un orden de magnitud menor que los componentes directos procedentes de las luminarias (excepto la iluminancia vertical en instalaciones con alumbrado a contraflujo). Por ello no es necesario utilizar términos de orden más elevado que la primera reflexión. En la figura 2 se muestra un ejemplo de la secuencia de cálculo de la interreflexión.

Para el cálculo, un elemento de área  $dF$  de la primera superficie iluminada actúa como una fuente secundaria para iluminar la segunda superficie con una intensidad luminosa  $I_r$  (figura 3).

Actualmente no existe un procedimiento universal para el cálculo de las interreflexiones, por lo que no se describe ningún procedimiento en el presente anejo.

Como se ha mostrado en la figura 3, el flujo luminoso total reflejado por los elementos de superficie es descrito por las intensidades luminosas de una fuente puntual situada en su centro.

El cálculo de la cantidad total de los componentes indirectos conduce a una integración numérica sobre el área total iluminada de las superficies reflectantes.

Como se ha mencionado anteriormente, el cálculo de los valores de interreflexión para la iluminancia vertical en un túnel con alumbrado a contraflujo es la parte más crítica. En primer lugar, el factor de reflexión ha de ser cuidadosamente determinado.

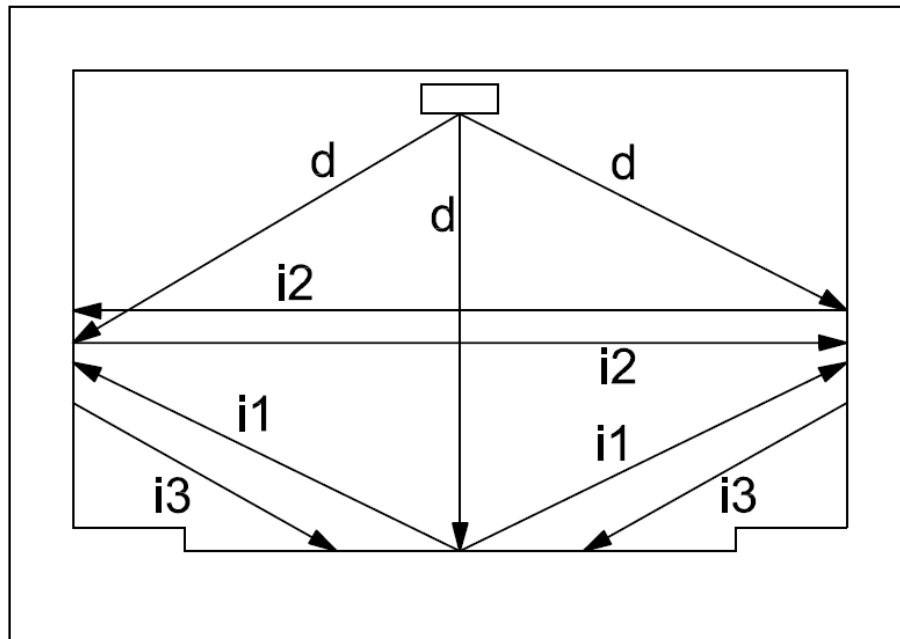


Figura 2. Secuencia de cálculo de interreflexión (solo ejemplar).

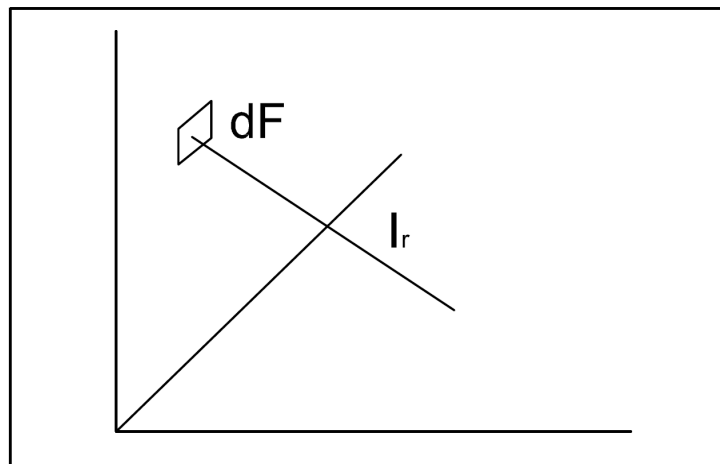


Figura 3. Cálculo de interreflexión.

El segundo problema es la formación de sombras de la zona de calzada situada enfrente del objeto (figura 4). Las luminarias del sistema a contraflujo emiten su luz principalmente en sentido contrario al movimiento del tráfico. Por ello la calzada situada enfrente del objeto se encuentra sombreada. Debido a las cortas distancias y a la ley de la inversa del cuadrado, la parte más próxima de la calzada da la mayor contribución a la iluminancia vertical sobre el objeto. Despreciando el efecto de formación de sombra da como resultado valores de iluminancia vertical que son demasiado elevados. La evaluación correcta de la formación de sombra sería el cálculo del área sombreada sobre la calzada para cada luminaria con coordenadas  $x$  mayores que el objeto.



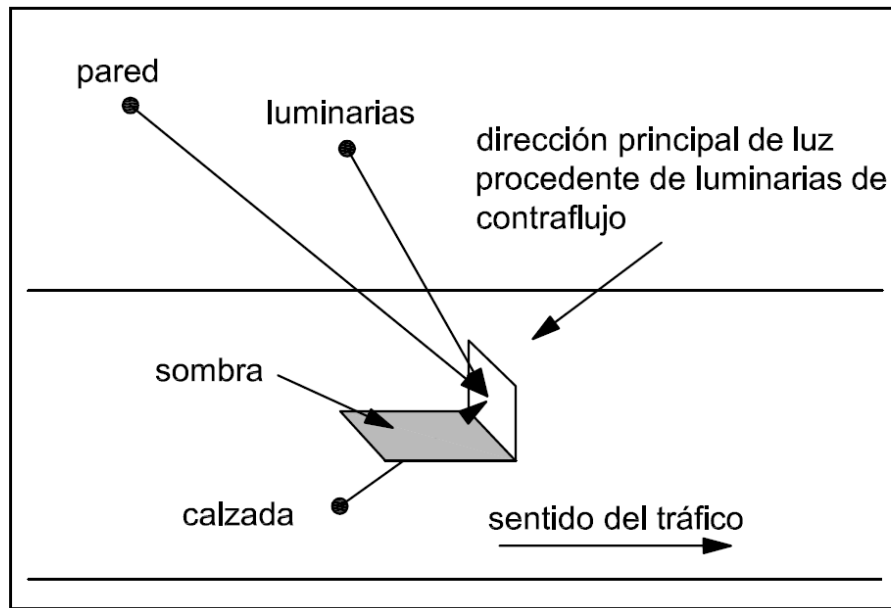


Figura 4. Iluminancia vertical sobre el objeto.

## 7. UNIFORMIDAD LONGITUDINAL EN LA ZONA DE TRANSICIÓN

La definición real de uniformidad longitudinal a partir de la publicación CIE 140-2000 [2] es solo válida para secciones con valores de luminancia constantes en la dirección de conducción, como en la primera parte de la zona de umbral y en la zona interior. En estas zonas, la uniformidad de luminancia longitudinal es calculada como en carreteras a cielo abierto, de acuerdo con la publicación CIE 140-2000 [2].

En la segunda parte de la zona de umbral y en la zona de transición la luminancia recomendada es variable y depende de la distancia desde el portal. El cálculo de la uniformidad longitudinal basado en los valores variables calculados en estas zonas no es significativo.

## 8. CÁLCULO DEL INCREMENTO DE UMBRAL

En las zonas de umbral y de transición no hay normalmente secciones con un nivel de luminancia constante de longitud suficiente para permitir un cálculo (desde la luminaria más próxima situada a  $20^\circ$  sobre el observador a la posición del punto para la luminancia de calzada a 60 m).

El cálculo del incremento de umbral en las zonas de umbral y de transición debería ser llevado a cabo desde cada punto de observación longitudinal de la cuadrícula de cálculo para un observador en movimiento.

En la zona interior con una luminancia de superficie de calzada constante en la dirección del eje de la carretera el incremento de umbral debería ser calculado del mismo modo que en el alumbrado de carreteras a cielo abierto.

## 9. CAMPOS DE CÁLCULO

Los campos de cálculo deberían ser elegidos siguiendo las mismas reglas generales que en la publicación CIE 140-2000 [2] (cuadrícula regular de dos dimensiones con muestreo equidistante de un periodo entre dos luminarias). Esto no puede realizarse en cada sección del alumbrado del túnel:

- En la zona de umbral, las distancias entre luminarias son normalmente más cortas que en carreteras a cielo abierto.
- En la zona de transición, si se ha realizado con separación variable entre luminarias, la regla de muestreo equidistante de periodo de luminancia no puede ser satisfecha.
- Excepto para túneles cortos, la longitud del campo de cálculo necesaria es normalmente más larga que el campo dado por los límites angulares recomendados de observación ( $0,5^{\circ}$ - $1,5^{\circ}$ ) y no es aplicable el cálculo con un punto de observación fijo. Por ello debería aplicarse el principio de observador en movimiento.

Se recomienda que:

- La distancia longitudinal entre los puntos de la cuadrícula de cálculo esté entre 2 y 3 m.
- El número de puntos de cuadrícula en sentido transversal sea de 3 puntos por carril o cualquier número mayor e impar.
- Para el cálculo de secciones del túnel con niveles de alumbrado constante (primera parte de la zona de umbral, zona interior), el número de puntos de la cuadrícula en sentido longitudinal sea 7 o más y que el número de puntos de cálculo N en sentido longitudinal y el número de separación entre luminarias n no tengan un divisor común, para evitar el escaneado múltiple de la separación entre luminarias con resolución menor.
- Para el cálculo de las contribuciones indirectas, la contribución directa debería ser calculada sobre un área auxiliar lo suficientemente grande enfrente y por detrás de la cuadrícula de cálculo.

## 10. COMPROBACIÓN DEL BALANCE DE FLUJO

En un espacio completamente cerrado la suma de los flujos luminosos emitidos por todas las luminarias es igual a la suma de todos los flujos directos sobre todas las superficies interiores. Los flujos luminosos sobre las superficies encerradas tienen que ser evaluados a partir de las distribuciones de iluminancia directa calculada en todas las superficies circundantes (incluyendo la sección transversal de entrada y salida). Si la diferencia entre la suma del flujo luminoso emitido por las luminarias y la suma calculada del flujo luminoso sobre las superficies circundantes es significativa, ha de asumirse que los cálculos están sujetos a errores considerables. Estos errores son en su mayoría provocados por la invalidez parcial de la ley de la inversa del cuadrado, pero podrían ser también debidos a un número insuficiente de puntos de cálculo o a una distribución inapropiada de puntos de cálculo con relación a las luminarias.

**PROYECTO 1**  
**ANEJO.....CÁLCULOS LUMINOTÉCNICOS**



## **1. Objeto**

En las Recomendaciones para la Iluminación de Túneles se establece que los proyectos de instalaciones que se redacten deben incluir los cálculos luminotécnicos correspondientes a la alternativa seleccionada.

El objeto de este anejo es exponer dichos cálculos luminotécnicos.

## **2. Resultados de cálculo**

A continuación se adjuntan los resultados obtenidos.



# Túnel

Partner for Contact:  
Order No.:  
Company:  
Customer No.:

Fecha: 05.11.2012  
Proyecto elaborado por:

**Índice**

<b>Túnel</b>	
Portada del proyecto	1
Índice	2
Lista de luminarias	3
<b>IZT7 1x1 ST 400 55500 1950 E40/ 1950</b>	
Hoja de datos de luminarias	4
<b>IZT7 1x1 ST 150 17500 1950 E40/ 1950</b>	
Hoja de datos de luminarias	5
<b>Umbral I</b>	
Resultados luminotécnicos	6
<b>Recuadros de evaluación</b>	
<b>Recuadro de evaluación Calzada 1</b>	
Sumario de los resultados	7
<b>Observador</b>	
<b>Observador 1</b>	
Isolíneas (L)	8
<b>Observador 2</b>	
Isolíneas (L)	9
<b>Transición 1</b>	
Resultados luminotécnicos	10
<b>Recuadros de evaluación</b>	
<b>Recuadro de evaluación Calzada 1</b>	
Sumario de los resultados	11
<b>Observador</b>	
<b>Observador 1</b>	
Isolíneas (L)	12
<b>Observador 2</b>	
Isolíneas (L)	13

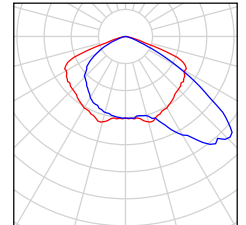


Proyecto elaborado por  
Teléfono  
Fax  
e-Mail

## Túnel / Lista de luminarias

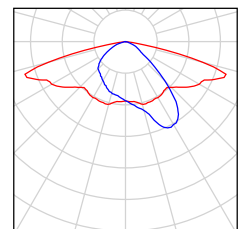
14 Pieza IZT7 1x1 ST 150 17500 1950 E40/ 1950  
N° de artículo:  
Flujo luminoso (Luminaria): 13650 lm  
Flujo luminoso (Lámparas): 17500 lm  
Potencia de las luminarias: 165.0 W  
Clasificación luminarias según CIE: 100  
Código CIE Flux: 34 76 98 100 78  
Lámpara: 1 x 1 ST 150 17500 1950 E40 (Factor de corrección 1.000).

Dispone de una imagen de la luminaria en nuestro catálogo de luminarias.



146 Pieza IZT7 1x1 ST 400 55500 1950 E40/ 1950  
N° de artículo:  
Flujo luminoso (Luminaria): 44955 lm  
Flujo luminoso (Lámparas): 55500 lm  
Potencia de las luminarias: 430.0 W  
Clasificación luminarias según CIE: 100  
Código CIE Flux: 39 73 96 100 82  
Lámpara: 1 x 1 ST 400 55500 1950 E40 (Factor de corrección 1.000).

Dispone de una imagen de la luminaria en nuestro catálogo de luminarias.

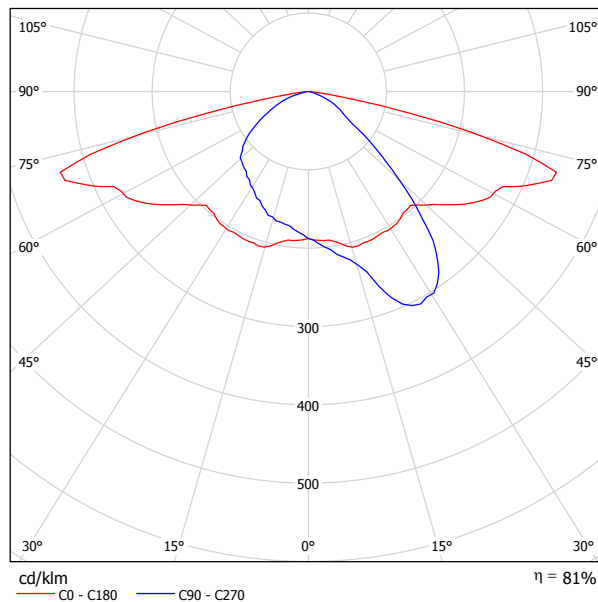


Proyecto elaborado por  
Teléfono  
Fax  
e-Mail

## IZT7 1x1 ST 400 55500 1950 E40/ 1950 / Hoja de datos de luminarias

Emisión de luz 1:

Dispone de una imagen de la luminaria en nuestro catálogo de luminarias.



Clasificación luminarias según CIE: 100  
Código CIE Flux: 39 73 96 100 82

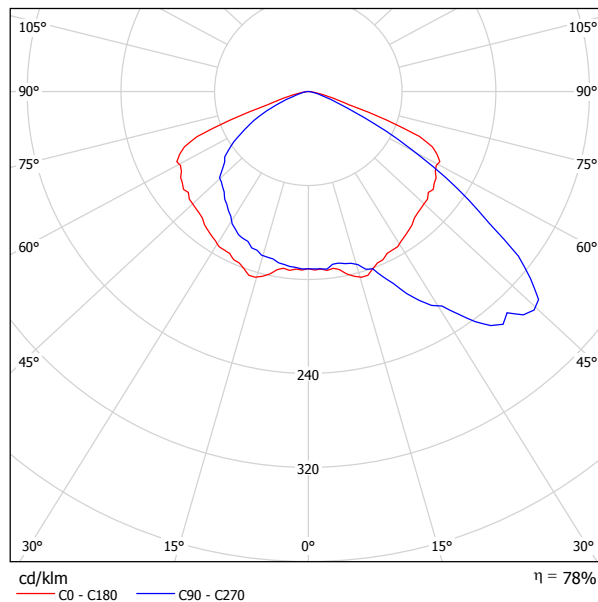
Para esta luminaria no puede presentarse ninguna tabla UGR porque carece de atributos de simetría.

Proyecto elaborado por  
Teléfono  
Fax  
e-Mail

## IZT7 1x1 ST 150 17500 1950 E40/ 1950 / Hoja de datos de luminarias

Emisión de luz 1:

Dispone de una imagen de la luminaria en nuestro catálogo de luminarias.

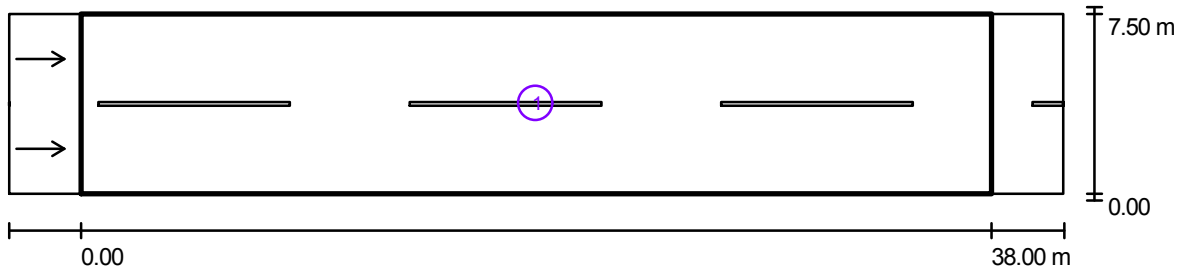


Clasificación luminarias según CIE: 100  
Código CIE Flux: 34 76 98 100 78

Para esta luminaria no puede presentarse ninguna tabla UGR porque carece de atributos de simetría.

Proyecto elaborado por  
Teléfono  
Fax  
e-Mail

### Umbral I / Resultados luminotécnicos



Factor mantenimiento: 0.70

Escala 1:315

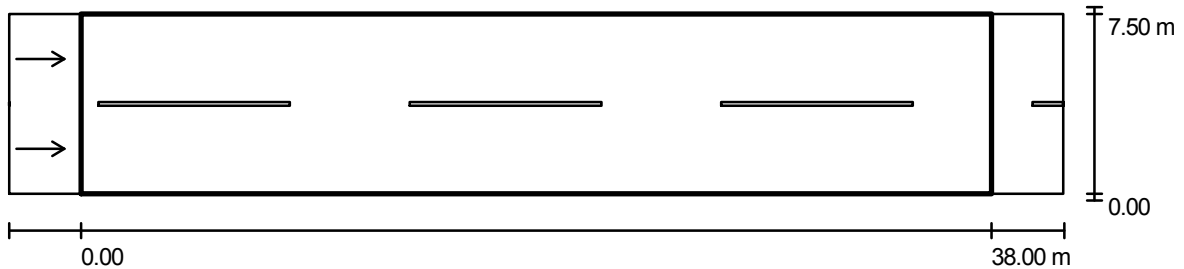
#### Lista del recuadro de evaluación

- 1 Recuadro de evaluación Calzada 1  
 Longitud: 38.000 m, Anchura: 7.500 m  
 Trama: 13 x 6 Puntos  
 Elemento de la vía pública respectivo: Calzada 1.  
 Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070  
 Clase de iluminación seleccionada: ME4a

$L_m$ [cd/m <sup>2</sup> ]	U0	UI	TI [%]	SR
150.19	0.92	0.99	/	0.51

Proyecto elaborado por  
Teléfono  
Fax  
e-Mail

### Umbral I / Recuadro de evaluación Calzada 1 / Sumario de los resultados



Factor mantenimiento: 0.70

Escala 1:315

Trama: 13 x 6 Puntos

Elemento de la vía pública respectivo: Calzada 1.

Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070

Clase de iluminación seleccionada: ME4a

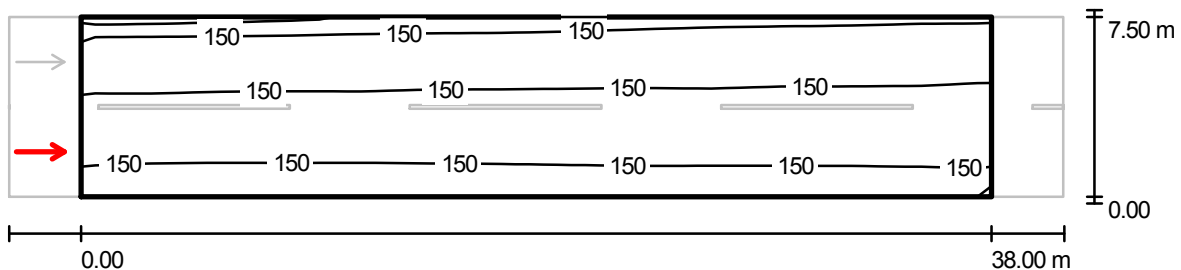
$L_m$ [cd/m <sup>2</sup> ]	U0	UI	TI [%]	SR
150.19	0.92	0.99	/	0.51

**Observador respectivo (2 Pieza):**

N°	Observador	Posición [m]	$L_m$ [cd/m <sup>2</sup> ]	U0	UI	TI [%]
1	Observador 1	(-60.000, 1.875, 1.500)	150.19	0.92	0.99	/
2	Observador 2	(-60.000, 5.625, 1.500)	150.20	0.92	0.99	/

Proyecto elaborado por  
Teléfono  
Fax  
e-Mail

**Umbral I / Recuadro de evaluación Calzada 1 / Observador 1 / Isolíneas (L)**



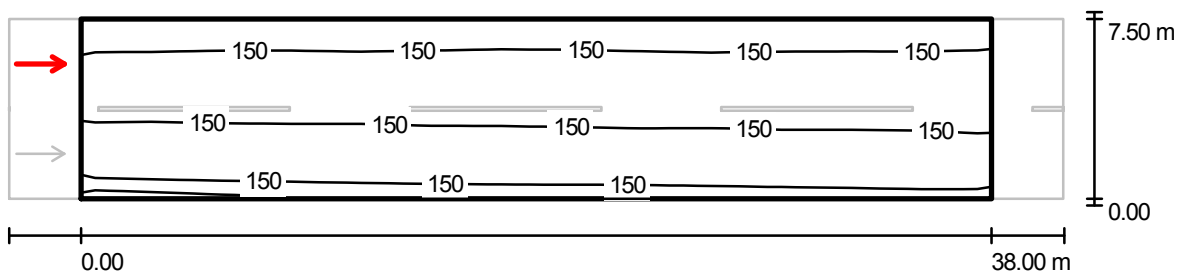
Valores en Candela/m<sup>2</sup>, Escala 1 : 315

Trama: 13 x 6 Puntos  
Posición del observador: (-60.000 m, 1.875 m, 1.500 m)  
Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070

$L_m$ [cd/m <sup>2</sup> ]	U0	UI	TI [%]
150.19	0.92	0.99	/

Proyecto elaborado por  
Teléfono  
Fax  
e-Mail

**Umbral I / Recuadro de evaluación Calzada 1 / Observador 2 / Isolíneas (L)**



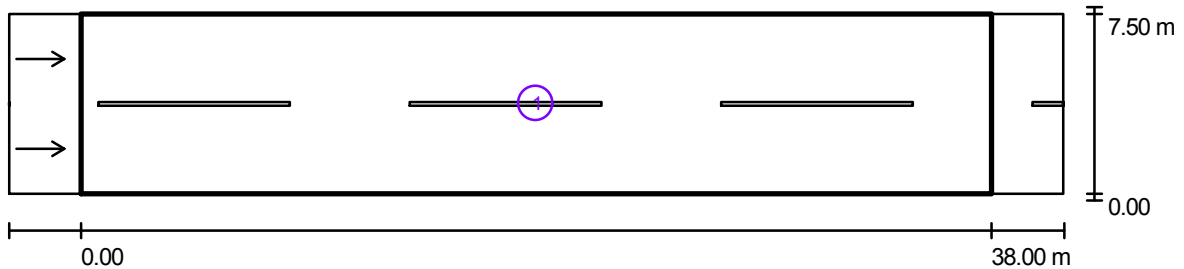
Valores en Candela/m<sup>2</sup>, Escala 1 : 315

Trama: 13 x 6 Puntos  
Posición del observador: (-60.000 m, 5.625 m, 1.500 m)  
Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070

$L_m$ [cd/m <sup>2</sup> ]	U0	UI	TI [%]
150.20	0.92	0.99	/

Proyecto elaborado por  
Teléfono  
Fax  
e-Mail

### Transición 1 / Resultados luminotécnicos



Factor mantenimiento: 0.70

Escala 1:315

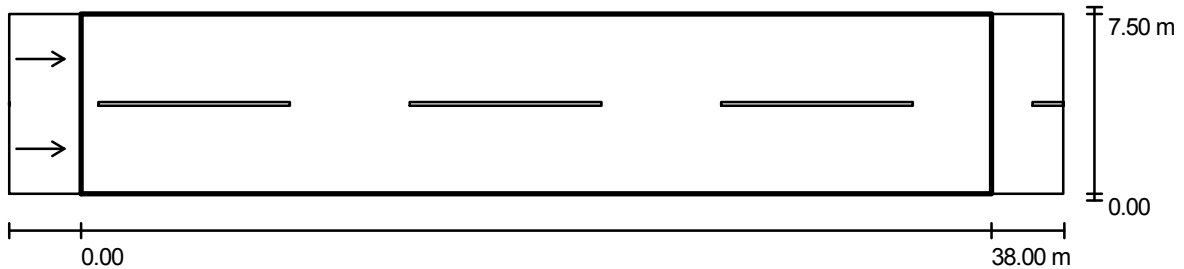
#### Lista del recuadro de evaluación

- 1 Recuadro de evaluación Calzada 1  
 Longitud: 38.000 m, Anchura: 7.500 m  
 Trama: 13 x 6 Puntos  
 Elemento de la vía pública respectivo: Calzada 1.  
 Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070  
 Clase de iluminación seleccionada: ME4a

$L_m$ [cd/m <sup>2</sup> ]	U0	UI	TI [%]	SR
67.72	0.92	0.98	/	0.51



**Transición 1 / Recuadro de evaluación Calzada 1 / Sumario de los resultados**



Factor mantenimiento: 0.70

Escala 1:315

Trama: 13 x 6 Puntos

Elemento de la vía pública respectivo: Calzada 1.

Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070

Clase de iluminación seleccionada: ME4a

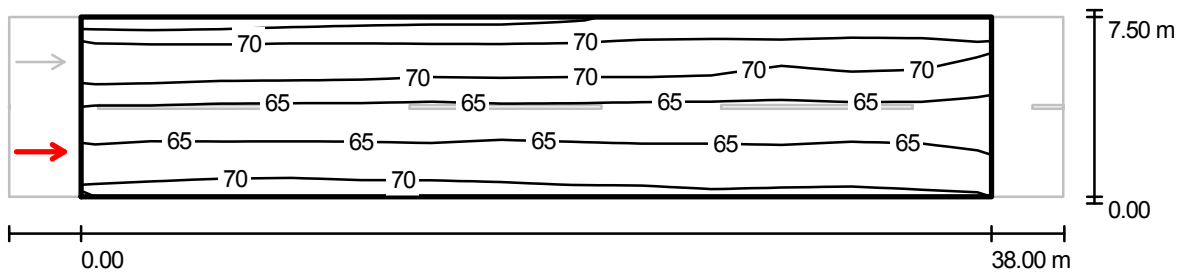
$L_m$ [cd/m <sup>2</sup> ]	U0	UI	TI [%]	SR
67.72	0.92	0.98	/	0.51

**Observador respectivo (2 Pieza):**

N°	Observador	Posición [m]	$L_m$ [cd/m <sup>2</sup> ]	U0	UI	TI [%]
1	Observador 1	(-60.000, 1.875, 1.500)	67.72	0.92	0.98	/
2	Observador 2	(-60.000, 5.625, 1.500)	67.73	0.92	0.98	/

Proyecto elaborado por  
Teléfono  
Fax  
e-Mail

**Transición 1 / Recuadro de evaluación Calzada 1 / Observador 1 / Isolíneas (L)**



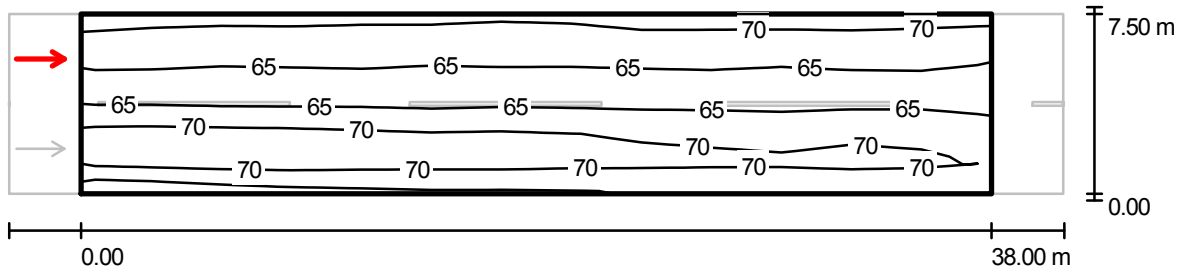
Valores en Candela/m<sup>2</sup>, Escala 1 : 315

Trama: 13 x 6 Puntos  
Posición del observador: (-60.000 m, 1.875 m, 1.500 m)  
Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070

$L_m$ [cd/m <sup>2</sup> ]	U0	UI	TI [%]
67.72	0.92	0.98	/

Proyecto elaborado por  
Teléfono  
Fax  
e-Mail

**Transición 1 / Recuadro de evaluación Calzada 1 / Observador 2 / Isolíneas (L)**



Valores en Candela/m<sup>2</sup>, Escala 1 : 315

Trama: 13 x 6 Puntos  
Posición del observador: (-60.000 m, 5.625 m, 1.500 m)  
Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070

$L_m$ [cd/m <sup>2</sup> ]	U0	UI	TI [%]
67.73	0.92	0.98	/



## ***ANEJO 4. CÁLCULOS ELÉCTRICOS***



# ÍNDICE

1. OBJETO.....	1
2. EXPRESIONES DE CÁLCULO.....	1
2.1 Intensidades.....	1
2.2 Fórmulas caída de tensión.....	2
2.3 Fórmula conductividad eléctrica.....	2
2.4 Fórmulas sobrecarga.....	3
2.5 Fórmulas cortocircuito.....	3
2.6 Fórmulas resistencia tierra.....	5
2.6.1 Placa enterrada.....	5
2.6.2 Pica vertical.....	5
2.6.3 Conductor enterrado horizontalmente.....	6
2.6.4 Asociación en paralelo de varios electrodos.....	6
2.7 Instalaciones máximas admisibles.....	6
2.8 Dimensionado de tubos y canales.....	6





## 1. OBJETO

En el capítulo 4 de las Recomendaciones para la Iluminación de Túneles se establece que los proyectos que se redacten deben incluir un anejo de cálculos eléctricos que justifique el cálculo de:

- Potencia instalada y potencia de cálculo.
- Intensidad de la línea.
- Sección de los conductores.
- Caída de tensión.
- Intensidad de cortocircuito.
- Resistencia de puesta a tierra.
- Potencia instalada por m<sup>2</sup>.
- Consumo energético por m<sup>2</sup>.

El objeto de este anejo es describir los métodos de cálculo que deben emplearse y exponer un ejemplo de anejo para que sirva de referencia.

## 2. EXPRESIONES DE CÁLCULO

### 2.1 Cálculo de intensidades

Las intensidades se determinan según el criterio de caída de tensión, que es el determinante para instalaciones con líneas eléctricas de larga longitud, como en este caso.

La circulación de corriente a través de los conductores, ocasiona una pérdida de potencia transportada por el cable y una caída de tensión o diferencia entre las tensiones en el origen y extremo de la canalización. Esta caída de tensión debe ser inferior a los límites marcados por el REBT en cada parte de la instalación, con el objeto de garantizar el funcionamiento de los receptores alimentados por el cable.

Dicha pérdida de potencia, es debido a que todos los conductores, sea cual sea su naturaleza, ofrecen una resistencia al paso de los electrones.

La resistencia equivalente de un conductor se calcula en función de la resistividad del material del cual está formado, la sección del conductor y su longitud.

$$R = \rho \cdot (L / S)$$

Siendo:

- $\rho$  = Resistividad del material (Ohm·m·mm<sup>2</sup>).
- S = Sección del conductor (mm<sup>2</sup>).
- L = Longitud del conductor (m).

Los materiales empleados como conductor en las instalaciones del túnel son cobre de resistividad de 0.017857  $\Omega \cdot m \cdot mm^2$ , y aluminio con una resistividad de 0.028571  $\Omega \cdot m \cdot mm^2$ .

Puesto que la longitud del conductor no la podemos variar, para un mismo material e intensidad, el único modo de disminuir la resistencia y con ello la caída de tensión, es aumentando la sección del conductor.

A la dependencia de la resistencia del conductor, en el cálculo de caídas de tensión, se le añade la intensidad, rigiéndose dicha tensión por la ley de Ohm ( $V=RxI$ ), quedando como fórmulas para el cálculo las siguientes:

## 2.2 Fórmulas caída de tensión

Se emplearán las siguientes:

### -Sistema trifásico

$$I = \frac{P_C}{1,732 \cdot U \cdot \cos j} \quad [\text{A, amperios}]$$

$$e = 1,732 \cdot I \cdot \left[ \left( \frac{L \cdot \cos j}{k \cdot S \cdot n} \right) + \left( \frac{X_U \cdot L \cdot \sin j}{1000 \cdot n} \right) \right] \quad [\text{V, voltios}]$$

### - Sistema monofásico

$$I = \frac{P_C}{U \cdot \cos j} \quad [\text{A, amperios}]$$

$$e = 2 \cdot I \cdot \left[ \left( \frac{L \cdot \cos j}{k \cdot S \cdot n} \right) + \left( \frac{X_U \cdot L \cdot \sin j}{1000 \cdot n} \right) \right] \quad [\text{V, voltios}]$$

Donde:

- $P_C$  =Potencia de cálculo en vatios.
- $L$  =Longitud de cálculo en metros.
- $e$  = Caída de tensión en voltios.
- $K$  = Conductividad.
- $I$  =Intensidad en amperios.
- $U$  = Tensión de servicio en voltios (trifásica ó monofásica).
- $S$  = Sección del conductor en  $\text{mm}^2$ .
- $\cos j$  = Coseno de  $j$ .factor de potencia.
- $n$  =  $N^\circ$  de conductores por fase.
- $X_U$  = Reactancia por unidad de longitud en  $\text{mW/m}$ .

## 2.3 Fórmula conductividad eléctrica

$$K = \frac{1}{r}$$

$$r = r_{20} \cdot [1 + a \cdot (T - 20)]$$

$$T = T_0 + \left[ (T_{\text{MAX}} - T_0) \cdot \left( \frac{I}{I_{\text{MAX}}} \right)^2 \right]$$

Siendo:

- $K$  = Conductividad del conductor a la temperatura  $T$ .
- $r$  = Resistividad del conductor a la temperatura  $T$ .
- $r_{20}$  = Resistividad del conductor a  $20^{\circ}\text{C}$ .
  - $\text{Cu} = 0,018$ .
  - $\text{Al} = 0,029$ .
- $a$  = Coeficiente de temperatura.
  - $\text{Cu} = 0,00392$ .
  - $\text{Al} = 0,00403$ .
- $T$  = Temperatura del conductor ( $^{\circ}\text{C}$ ).
- $T_0$  = Temperatura ambiente ( $^{\circ}\text{C}$ ).
  - Cables enterrados =  $25^{\circ}\text{C}$ .
  - Cables al aire =  $40^{\circ}\text{C}$ .
- $T_{\text{max}}$  = Temperatura máxima admisible del conductor ( $^{\circ}\text{C}$ ).
  - XLPE, EPR =  $90^{\circ}\text{C}$ .
  - PVC =  $70^{\circ}\text{C}$ .
- $I$  = Intensidad prevista por el conductor (A).
- $I_{\text{max}}$  = Intensidad máxima admisible del conductor (A).

## 2.4 Fórmulas sobrecargas

$$I_b \leq I_n \leq I_z$$

$$I_z \leq 1,45 \cdot I_n$$

Donde:

- $I_b$  = Intensidad utilizada en el circuito.
- $I_z$  = Intensidad admisible de la canalización según la norma UNE 20-460/5-523
- $I_n$  = Intensidad nominal del dispositivo de protección. Para los dispositivos de protección regulables,  $I_n$  es la intensidad de regulación escogida.
- $I_z$  = Intensidad que asegura efectivamente el funcionamiento del dispositivo de protección. En la práctica  $I_z$  se toma igual a:
  - La intensidad de funcionamiento en el tiempo convencional, para los interruptores automáticos ( $1,45 I_n$  como máximo).
  - La intensidad de fusión en el tiempo convencional, para los fusibles ( $1,6 I_n$ ).

## 2.5 Fórmulas cortocircuito

$$I_{\text{pcc1}} = \frac{C_t \cdot U}{\sqrt{3} \cdot Z_t}$$

Siendo:

- $I_{\text{pcc1}}$  = Intensidad permanente de c.c. en inicio de línea en kA.
- $C_t$  = Coeficiente de tensión.
- $U$  = Tensión trifásica en V.
- $Z_t$  = Impedancia total en mohm, aguas arriba del punto de c.c. (sin incluir la línea o circuito en estudio).

$$I_{pccF} = (C_t \cdot U_F) / (2 \cdot Z_t)$$

Siendo:

- $I_{pccF}$  = Intensidad permanente de c.c. en fin de línea en kA.
- $C_t$  = Coeficiente de tensión.
- $U_F$  = Tensión monofásica en V.
- $Z_t$  = Impedancia total en mohm, incluyendo la propia de la línea o circuito (por tanto es igual a la impedancia en origen mas la propia del conductor o línea).

La impedancia total hasta el punto de cortocircuito será:

$$Z_t = \sqrt{(R_t^2 + X_t^2)}$$

Siendo:

- $R_t = R_1 + R_2 + \dots + R_n$  (suma de las resistencias de las líneas aguas arriba hasta el punto de c.c.).
- $X_t = X_1 + X_2 + \dots + X_n$  (suma de las reactancias de las líneas aguas arriba hasta el punto de c.c.).

$$R = \frac{L \cdot 1000 \cdot C_R}{K \cdot S \cdot n} \quad [\text{mohm, miliohmios}]$$

$$X = \frac{X_U \cdot L}{n} \quad [\text{mohm, miliohmios}]$$

Siendo:

- $R$  = Resistencia de la línea en mohm.
- $X$  = Reactancia de la línea en mohm.
- $L$  = Longitud de la línea en m.
- $C_R$  = Coeficiente de resistividad, extraído de condiciones generales de c.c.
- $K$  = Conductividad del metal.
- $S$  = Sección de la línea en mm<sup>2</sup>.
- $X_U$  = Reactancia de la línea, en mohm por metro.
- $N$  = N<sup>o</sup> de conductores por fase.

$$t_{mcicc} = \frac{C_c \cdot S^2}{I_{pccF}^2}$$

Siendo:

- $t_{mcicc}$  = Tiempo máximo en segundos que un conductor soporta una  $I_{pcc}$ .
- $C_c$  = Constante que depende de la naturaleza del conductor y de su aislamiento.
- $S$  = Sección de la línea en mm<sup>2</sup>.
- $I_{pccF}$  = Intensidad permanente de c.c. en fin de línea en A.

$$t_{ficc} = \frac{\text{constante fusible}}{I_{pcc} F^2}$$

Siendo:

- $t_{ficc}$  = Tiempo de fusión de un fusible para una determinada intensidad de cortocircuito.
- $I_{pcc} F$  = Intensidad permanente de c.c. en fin de línea en A.

$$L_{MAX} = \frac{0,8 \cdot U_F}{2 \cdot I_{F5} \cdot \sqrt{\left(\frac{1,5}{k \cdot S \cdot n}\right)^2 + \left(\frac{X_U}{1000 \cdot n}\right)^2}}$$

Siendo:

- $L_{MAX}$  = Longitud máxima de conductor protegido a c.c. (m) (para protección por fusibles).
- $U_F$  = Tensión de fase (V).
- $K$  = Conductividad.
- $S$  = Sección del conductor (mm<sup>2</sup>).
- $X_U$  = Reactancia por unidad de longitud (mohm/m). En conductores aislados suele ser 0,1.
- $n$  = N° de conductores por fase.
- $C_t$  = 0,8. Coeficiente de tensión.
- $C_R$  = 1,5. Coeficiente de resistencia.
- $I_{F5}$  = Intensidad de fusión en amperios de fusibles en 5 s.

Curvas válidas. (para protección de interruptores automáticos dotados de relé electromagnético):

- CURVA B:  $I_{MAG} = 5 I_n$ .
- CURVA C:  $I_{MAG} = 10 I_n$ .
- CURVA D Y MA:  $I_{MAG} = 20 I_n$ .

## 2.6 Fórmulas resistencia tierra

### 2.6.1 Placa enterrada

$$R_T = \frac{0,8 \cdot r}{P}$$

Siendo:

- $R_T$  = Resistencia de tierra (Ohm).
- $r$  = Resistividad del terreno (Ohm·m).
- $P$  = Perímetro de la placa (m).

### 2.6.2 Pica vertical

$$R_T = \frac{r}{L}$$

Siendo:

- $R_T$  = Resistencia de tierra (Ohm)
- $r$  = Resistividad del terreno (Ohm·m)
- $L$  = Longitud de la pica (m)

### 2.6.3 Conductor enterrado horizontalmente

$$R_T = \frac{2 \cdot r}{L}$$

Siendo:

- $R_T$  = Resistencia de tierra (Ohm)
- $r$  = Resistividad del terreno (Ohm·m)
- $L$  = Longitud del conductor (m)

### 2.6.4 Asociación en paralelo de varios electrodos

$$R_T = \frac{1}{\left(\frac{L_C}{2 \cdot r} + \frac{L_P}{r} + \frac{P}{0,8 \cdot r}\right)}$$

Siendo:

- $R_T$  = Resistencia de tierra (Ohm)
- $r$  = Resistividad del terreno (Ohm·m)
- $L_C$  = Longitud total del conductor (m)
- $L_P$  = Longitud total de las picas (m)
- $P$  = Perímetro de las placas (m)

## 2.7 Instalaciones máximas admisibles

Las instalaciones máximas admisibles para cada sección de conductor dependiendo de si es cobre o aluminio se establecen con el criterio de densidad de corriente.

Con objeto de cumplir lo prescrito en el REBT y en particular las instrucciones ITC-BT-07, ITC-BT-09 y ITC-BT-19.

## 2.8 Dimensionado de tubos y canales

El dimensionado de los tubos y canales se realizará conforme a la instrucción ITC-ST-21 del REBT.

Si no es posible, el dimensionado de los tubos y canales se realizará multiplicando por 3 la sección total de los conductores para determinar la medida comercial, en su defecto se escogerá la inmediatamente superior.

## ***ANEJO 5. CUADROS ELÉCTRICOS***





# ÍNDICE

1. OBJETO.....	1
2. REQUISITOS DE CALIDAD.....	1
3. GARANTÍA.....	1
4. DOCUMENTACIÓN A SUMINISTRAR CON CADA CUADRO.....	1
5. ENSAYOS A REALIZAR PARA LA FABRICACIÓN.....	1
5.1 Ensayos tipo (realizados sobre los armarios tipo y válido para toda lagama).....	1
5.2 Ensayos de rutina (realizados para cada uno de los armarios).....	1
6. IDENTIFICACIÓN DE LOS CUADROS DE ALUMBRADO.....	2
7. CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS.....	2
7.1 Dimensiones máximas.....	2
7.2 Envolverte exterior.....	2
7.3 Módulo de acometida.....	3
7.4 Módulo de mando y protección.....	3
7.5 Módulo del equipo estabilizador reductor.....	3
7.6 Módulo del Sistema de Mando y Control Centralizado.....	4
8. PLANOS Y ESQUEMAS.....	5



## **1. OBJETO**

El objeto de este Anejo es definir las condiciones que deben cumplir los cuadros de mando en cuanto a requisitos de calidad, características constructivas, identificación o garantía, así como proporcionar planos, esquemas de mando y esquemas de potencia.

## **2. REQUISITOS DE CALIDAD**

Los requisitos de calidad que deben cumplir los cuadros eléctricos son los siguientes:

- Construidos en serie por fabricantes homologados según ISO 9000/2000, según Directivas Europeas y que dispongan de marcado CE.
- Deben cumplir además todo lo prescrito en el actual REBT Real Decreto 842/2002.
- Deben cumplir las Normas Particulares del Ministerio de Fomento.
- Todos los cuadros deben estar listos para funcionar, programados y verificados en fábrica, incluso las comunicaciones.

## **3. GARANTÍA**

Los cuadros eléctricos deben tener una garantía de mantenimiento mínima de dos años sin coste para todo tipo de averías, incluidas las producidas por descargas atmosféricas, con la única excepción de las producidas por desastres naturales, actos de vandalismo o uso indebido.

## **4. DOCUMENTACIÓN A SUMINISTRAR CON CADA CUADRO**

- Esquema eléctrico de potencia y mando (en hoja plastificada atornillada en interior de la puerta). Instrucciones de conexionado, verificación y puesta en tensión.
- Manual de puesta en marcha con instrucciones de programación de los terminales de control, equipo estabilizador reductor, comunicaciones GSM, etc.
- Hoja de verificación y manual del contador.
- Hoja de garantía.

## **5. ENSAYOS EXIGIBLES EN LA FABRICACIÓN**

### **5.1 Ensayos tipo (realizados sobre los armarios tipo y válidos para toda la gama)**

- Verificación de los límites de calentamiento.
- Verificación del grado de protección.

### **5.2 Ensayos de rutina (realizados para cada uno de los armarios)**

- Inspección de todos los conjuntos.
- Inspección de cableado.
- Verificación de prueba en vacío, en tensión.
- Verificación de funcionamiento eléctrico.

- Verificación de comprobación mecánica del aparellaje.
- Verificación de la resistencia de aislamiento.

## **6. IDENTIFICACIÓN DE LOS CUADROS DE ALUMBRADO**

La identificación de los cuadros de alumbrado se hará de la siguiente forma:

- Identificación exterior en los cuadros de la marca del fabricante.
- Etiqueta identificativa en el interior de cada cuadro con los siguientes datos:
  - Marcado C.E.
  - Número de fabricación.
  - Tensión de trabajo.
  - Potencia nominal.
  - Verificación del control de calidad.
  - Fecha de fabricación.

## **7. CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS**

### **7.1 Dimensiones máximas**

Los cuadros, bancadas y accesorios tendrán las dimensiones máximas definidas en los planos esquemáticos de cada modelo.

### **7.2 Envoltente exterior:**

Las características mínimas que debe cumplir la envoltente exterior son las siguientes:

- Grado de protección mínimo:
  - Módulo caja de seccionamiento SEC400: IP 55, IK 10 (módulo opcional según acometida Cia).
  - Módulos de acometida, mando y control: IP 55, IK 10.
  - Módulo de estabilizador – reductor: IP 55 IK 10.
- Plancha de acero inoxidable: calidad mínima Norma AISI-304 de 2 mm. de espesor.
- Tejadillo vierte aguas para la protección contra la lluvia.
- Cerraduras de triple acción con empuñadura antivandálica ocultable con soporte para bloqueo por candado.
- Llaves: Módulo de Compañía JIS 20. Módulos abonado y regulador de flujo tipo JIS 20.
- Cáncamos de transporte desmontables para colocación de tornillo enrasado una vez situado el cuadro eléctrico.
- Plantilla de acero inoxidable para instalar rasante en la cimentación con anclaje reforzado y con pernos M16 adaptable a los cuadros.
- Bancada de 300 mm. de acero inoxidable para montaje sobre plantilla con pernos M16 (opcional).
- Puertas plegadas en su perímetro para mayor rigidez, con espárragos roscados M4 para conexiones del conductor de tierra.
- Juntas de neopreno liso alojadas en canales, contra las que cierran las puertas.

### **7.3 Módulo de acometida**

Las características mínimas que debe cumplir el módulo de acometida son las siguientes:

- Acometida según las normas de la compañía eléctrica.
- Equipo de medida de tarifa unificada normalizado por la compañía eléctrica.
- Equipo de medida con comunicaciones con el sistema de control con Bus 485.

### **7.4 Módulo de mando y protección**

Las características mínimas que debe cumplir el módulo de mando y protección son las siguientes:

- Todo el aparellaje estará protegido con cajas de doble aislamiento IP55.
- El aparellaje deberá ser de primeras marcas y fabricantes certificados por el Ministerio de Fomento.
- Analizador de redes (opcional).
- Interruptor general curva ICPM hasta 63 A. y curva C de 80 a 160 A.
- Contactor general 63 A. hasta 37 kW, 125 A hasta 60 kW y 160 A. hasta 80 kW para arranque AC-3.
- Conmutador by-pass manual para puenteo del regulador de flujo de la intensidad adecuada.
- Dispondrán, según modelos, de hasta 6, 9 y 12 líneas de alimentación a puntos de luz que estarán protegidas individualmente con corte omnipolar contra sobrecargas y cortocircuitos con interruptores magnetotérmicos de 15 kA. de poder de corte y contra corrientes de defecto a tierra con diferenciales de rearme automático de 300 mA. de sensibilidad.
- Tanto los magnetotérmicos como los diferenciales de rearme automático dispondrán de contactos auxiliares para señalización de disparo a través del sistema de control centralizado.
- Descargadores contra sobretensiones transitorias de clase II (opcionales en zonas con riesgo de descargas atmosféricas).
- Alumbrado interior con portalámparas estanco.
- Toma de corriente para uso de mantenimiento.
- Finales de carrera para señalización puertas abiertas.
- Cableado de entrada de la sección indicada por la compañía suministradora y de salidas de sección mínima de 6 mm<sup>2</sup>.
- Prensaestopas de poliamida PG-29 para cada línea de salida.
- Bornes de conexión de líneas de salidas de mínimo 35 mm<sup>2</sup>.

### **7.5 Módulo del equipo estabilizador reductor**

Las características mínimas que debe cumplir el regulador de flujo-estabilizador son las siguientes:

- Los equipos estabilizadores reductores cumplirán como mínimo los requisitos técnicos IDAE-CEI adaptados al estado de la técnica, conforme a las Normas o Especificaciones AENOR EA-0032:2007 (requisitos generales y de seguridad) y EA-0033:2008 (requisitos de funcionamiento), de conformidad con lo recogido en el artículo 15 del Reglamento de E.E.I.A.E. En consecuencia deben cumplir los requisitos técnicos mínimos siguientes:

- Estabilizador-reductor de tensión completamente estático sin elementos electromecánicos.
- Potencia nominal desde 15 hasta 80 kva.
- Tensión de entrada 3 x 400 / 230 V.  $\pm$  10%.
- Tensión de salida estabilizada: Para cada fase regulada mínimo de 200 a 230 V.  $\pm$  2,5%.
- Tensión de salida reducida: Para cada fase regulada mínimo 175 a 200 V.  $\pm$  2,5%
- El estabilizador-reductor estará aislado de la estructura del armario.
- Dispondrá de protecciones contra contactos directos con grado de aislamiento Clase II
- Comunicaciones con el sistema de control con Bus 485.

## 7.6 Módulo del sistema de mando y control centralizado

- Los centros de mando deben disponer de terminales de control y comunicaciones.
- Deben disponer de los accesorios eléctricos y el cableado auxiliar necesario para el correcto funcionamiento del control centralizado.
- El sistema debe ser abierto, multipuesto, sin gastos de programa informático, con el mínimo coste de explotación.
- Las características de los terminales de control centralizado serán:
  - Dispondrán de comunicaciones compatibles con módems GSM/GPRS.
  - Deben disponer como mínimo de los siguientes elementos:
    - Reloj astronómico con cálculo diario del orto y ocaso y cambio automático de la hora de invierno/verano. Posibilidad de corrección de  $\pm$ 120 minutos sobre las horas de orto y ocaso. Reserva de marcha 10 años.
    - Relés de salida programables independientemente según el reloj astronómico o a horas fijas:
      - Salida 1: Relé de salida astronómico.
      - Salida 2: Relé de salida para ahorro energético.
      - Salida 3: Relé de salida especial, astronómico o programable.
    - Entradas de tensión e intensidad trifásica para medida de tensión, intensidad, potencia activa y reactiva, factor de potencia y contadores de energía activa y reactiva y de horas de funcionamiento.
    - Entradas digitales por contactos libres de tensión para registro de los disparos de las protecciones, selector de manual - 0 - automático, finales de carrera de puertas, etc.
    - Entradas analógicas 4-20 mA. para control de luminosidad, temperatura, etc.
    - Salidas digitales complementarias a base de relé y contactos libres de tensión.
    - Registros: Memoria RAM para almacenar históricos como mínimo de un mes de funcionamiento de la instalación.
    - Canal de comunicación RS232 o RS 485 optoaislado para comunicaciones externas.
    - Canal de comunicación RS485 optoaislado para conexión a otros elementos del sistema.
    - Montaje sobre raíl DIN 35 mm.
    - Luxómetro o célula fotoeléctrica
  - Características de los terminales de comunicación GSM
    - Módems dual 900/1800 Mhz. GSM.
    - Conectividad GPRS.
    - Mensajes SMS.
    - Puerto de comunicaciones RS-485.

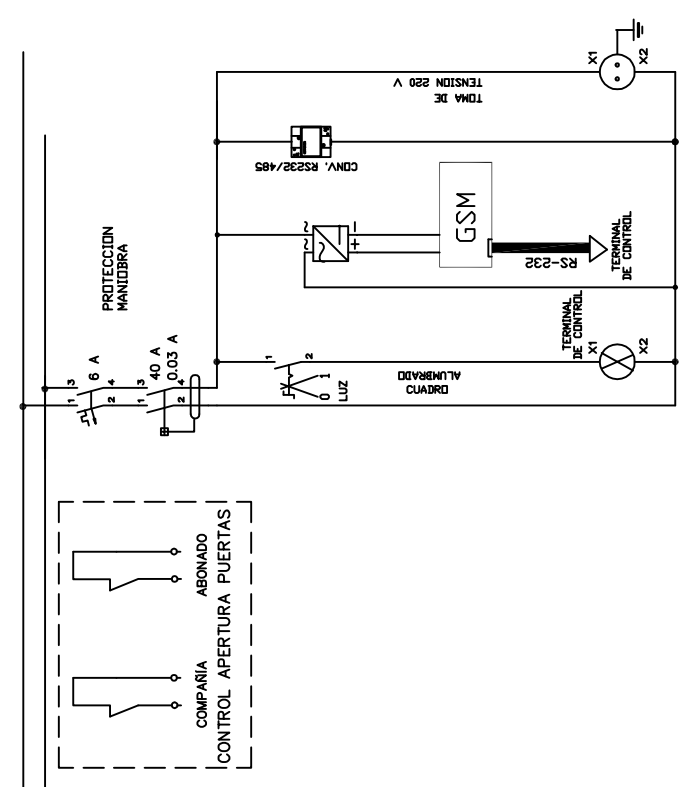
## **8. PLANOS Y ESQUEMAS**

A continuación se adjuntan planos topográficos, esquemas de potencia y esquemas de mando de los tres tipos de cuadros de alumbrado contemplados, que son los siguientes:

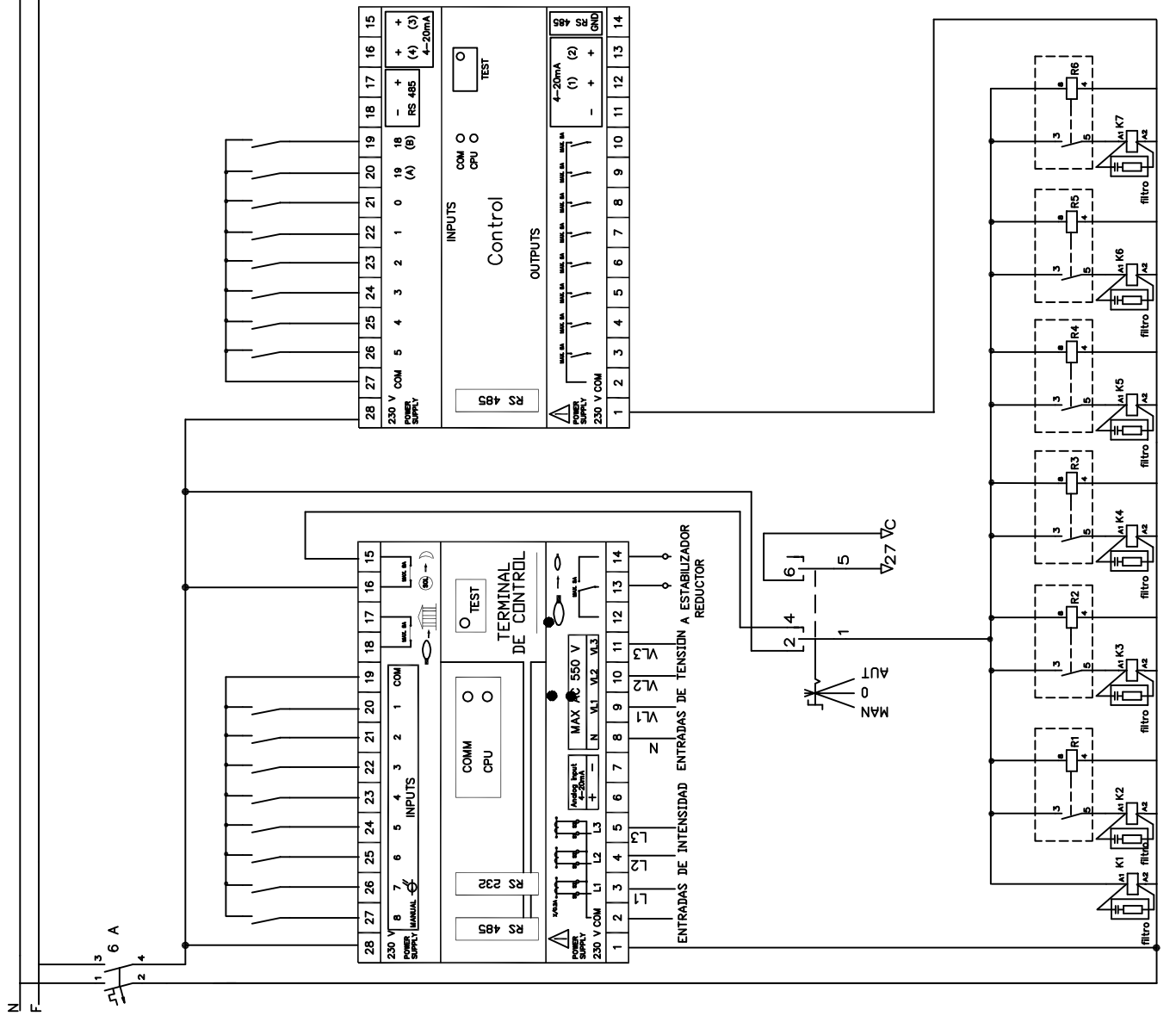
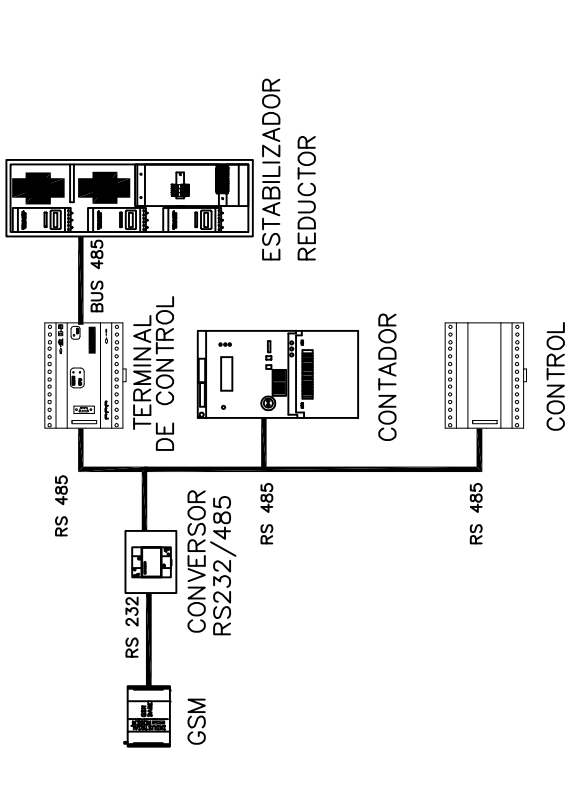
- Tipo I: Hasta 37 kW. 400 V. Hasta 6 salidas con diferenciales rearmables.
- Tipo II: Hasta 37 kW. 400 V. Hasta 9 salidas con diferenciales rearmables.
- Tipo II: Hasta 80 kW. 400 V. Hasta 12 salidas con diferenciales rearmables.

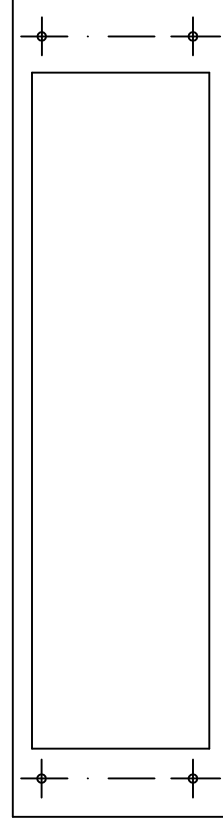
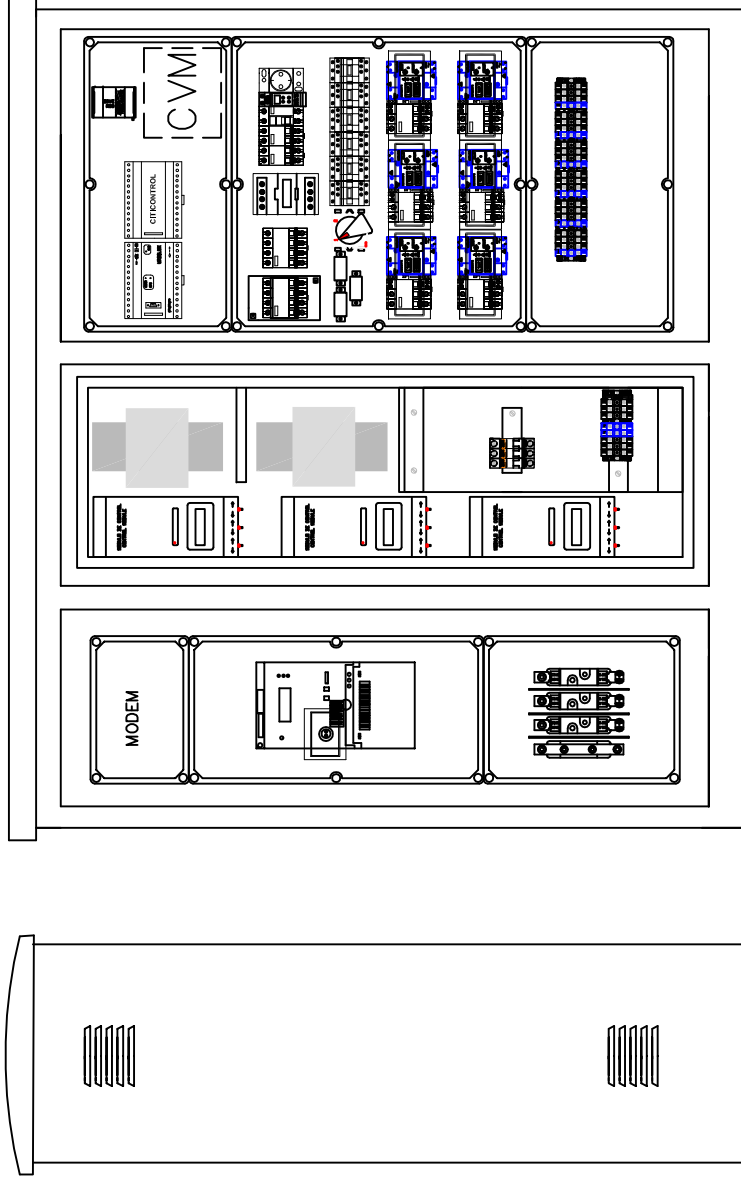




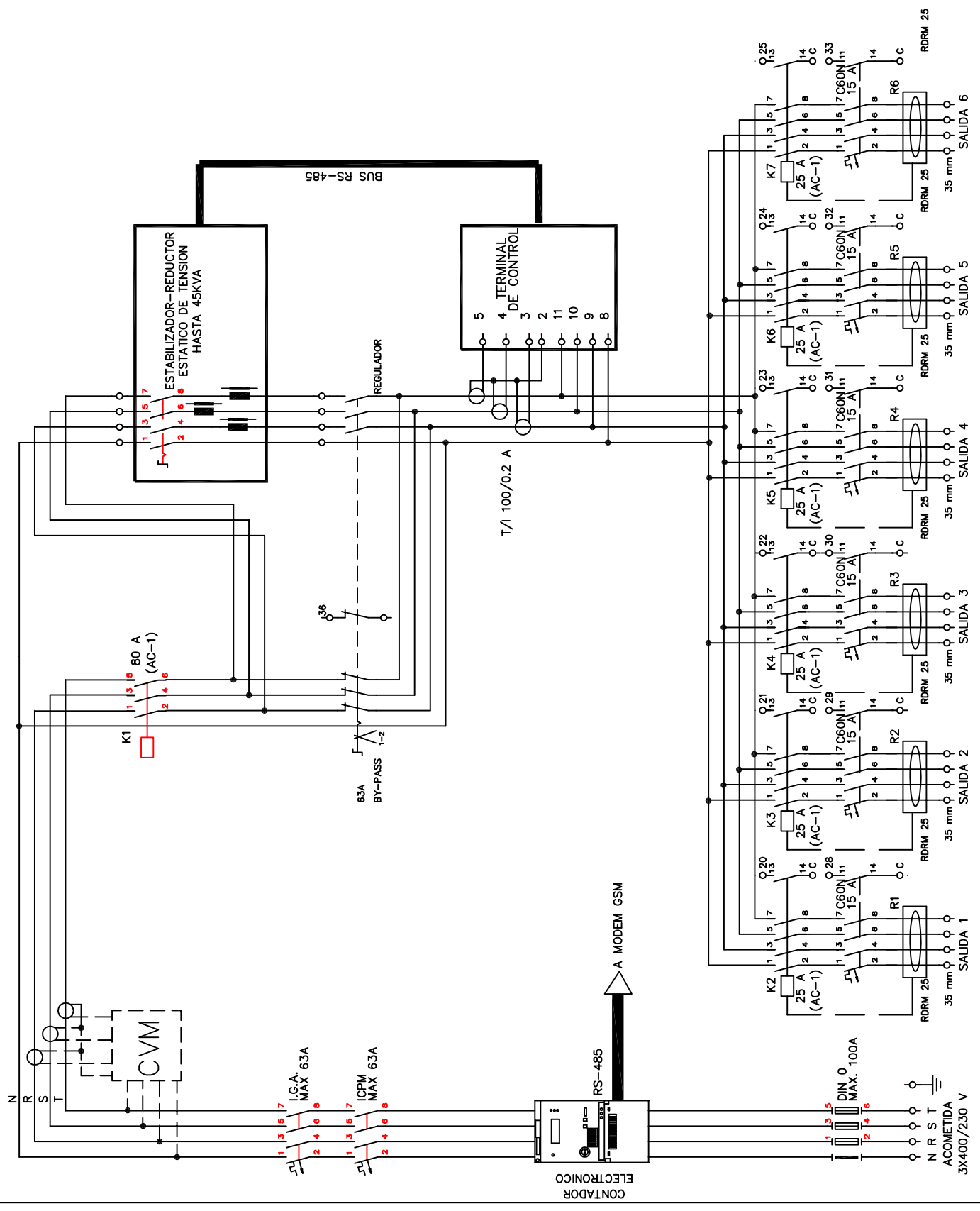


SISTEMA DE COMUNICACIONES

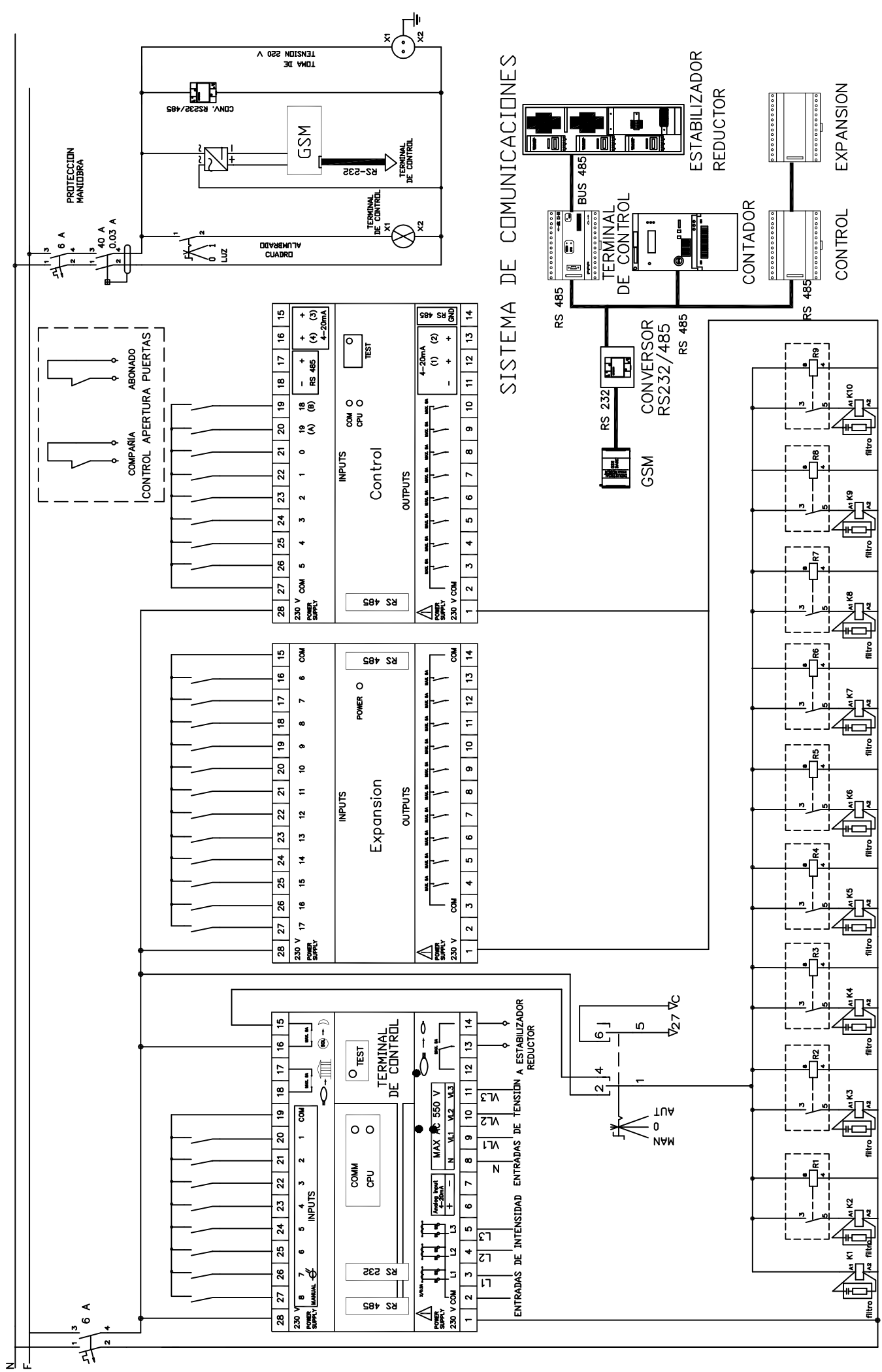




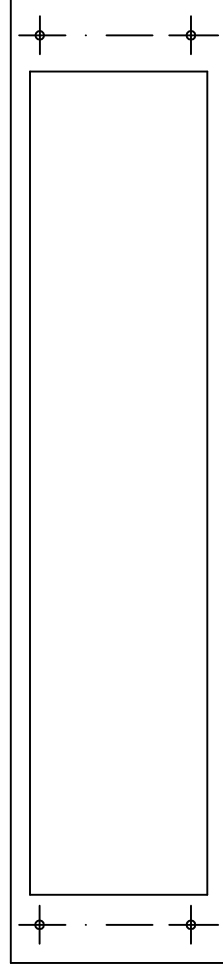
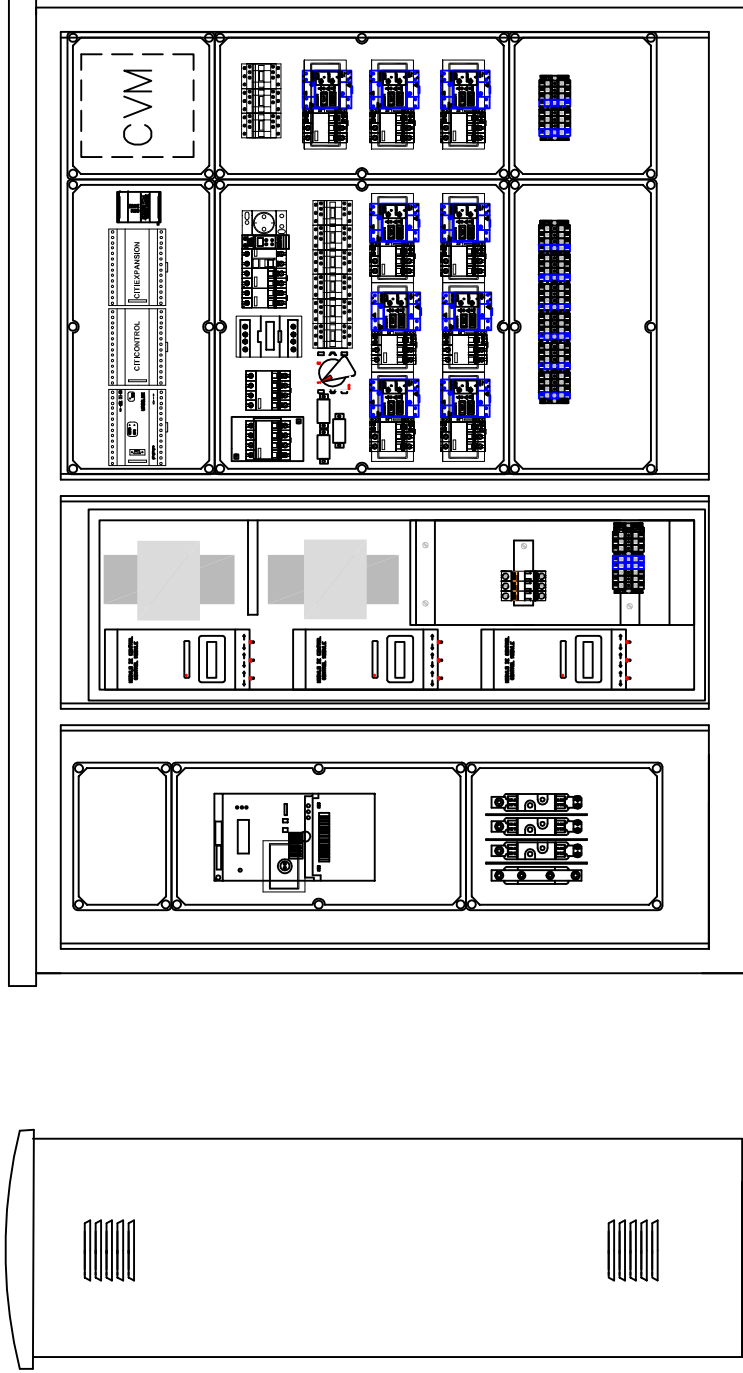
CALCULADO	CLIENTE:		DESIGNACION	CUADRO TIPO I	HOJA N° 1 / 1	
	DIBUJADO	TITULO				TOPOGRAFICO Y DIMENSIONES
	COMPROBADO	MOPU				
	D.A.N.	10/06				
	J.U.P.	10/06				



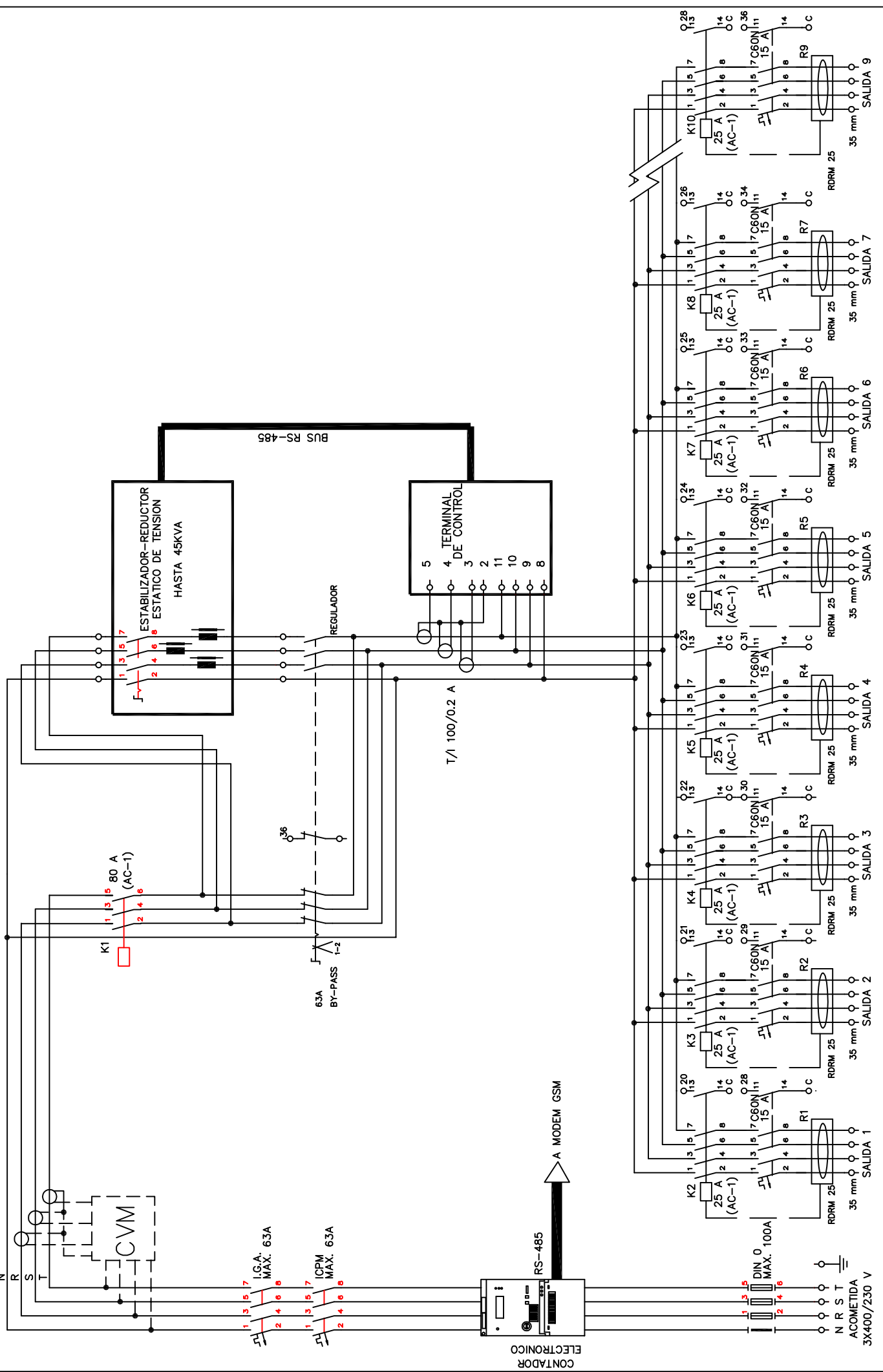
CALCULADO DIBUJADO COMPROBADO	CLIENTE -----	N°	DESIGNACION	HOJA N°
	TITULO	MOPU	CUADRO TIPO I	PLANO N°
	ESQUEMA DE POTENCIA			



SISTEMA DE COMUNICACIONES

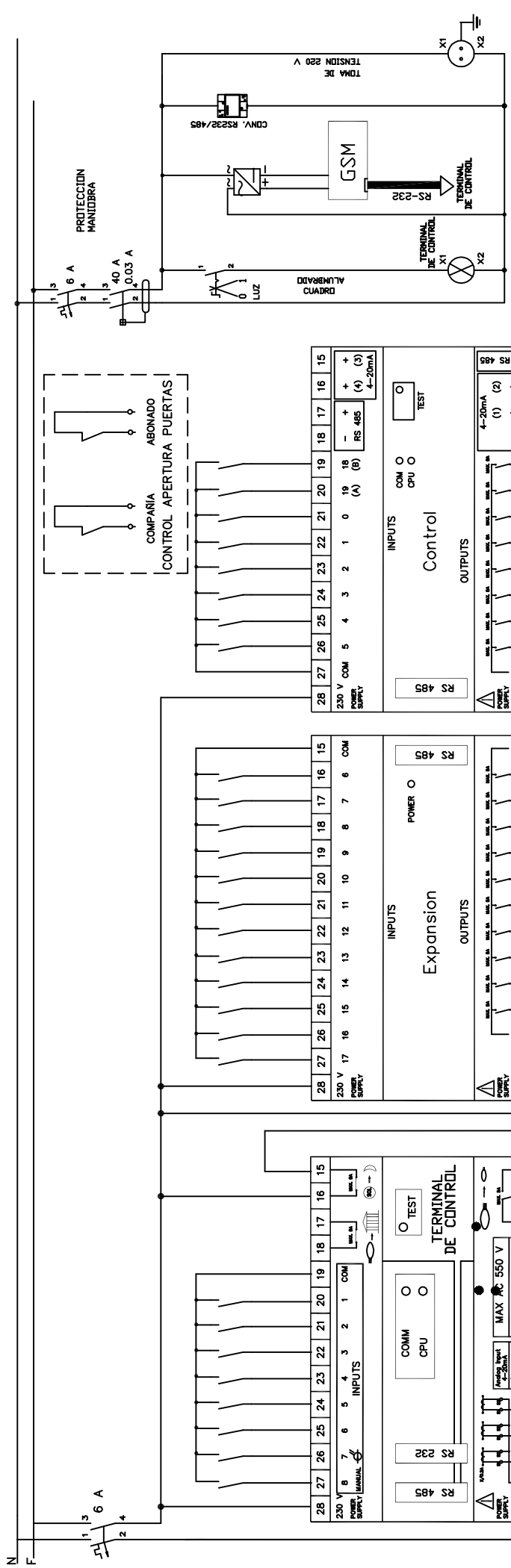


CALCULADO	CLIENTE:	DESIGNACION	HOJA N°
			1 / 1
			PLANO N°
DIBUJADO	MOPU	CUADRO TIPO II	TOPOGRAFICO Y DIMENSIONES
COMPROBADO			
TITULO			

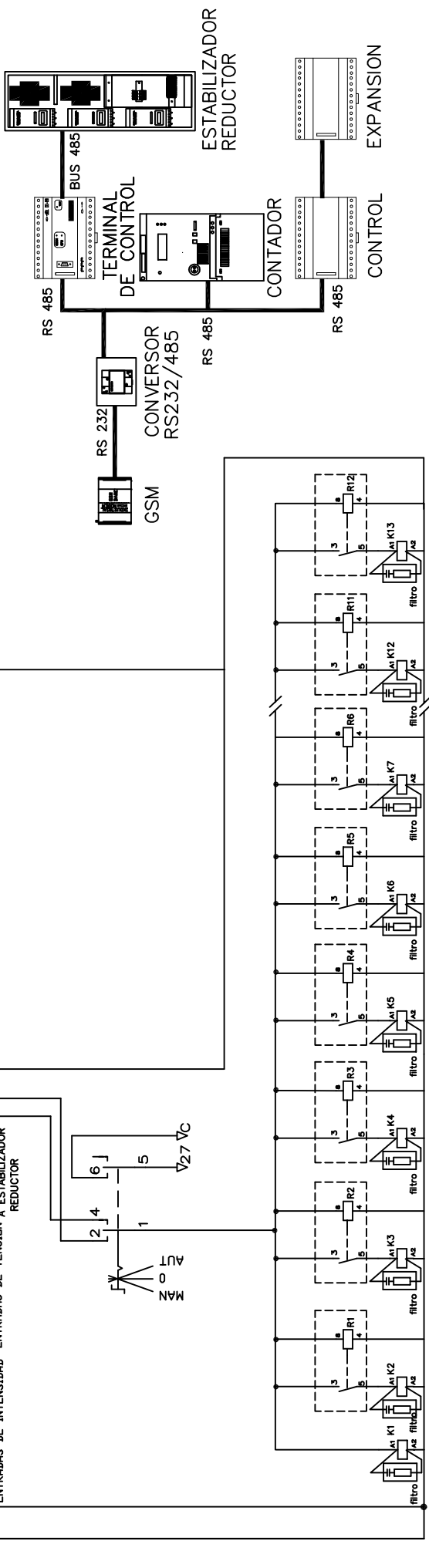


CALCULADO		CLIENTE		DESIGNACION		HOJA N°	
DIBUJADO		TITULO		CUADRO TIPO II		PLANO N°	
COMPROBADO		MOPU		ESQUEMA DE POTENCIA			
09/06		D.A.N.					
09/06		J.U.P.					

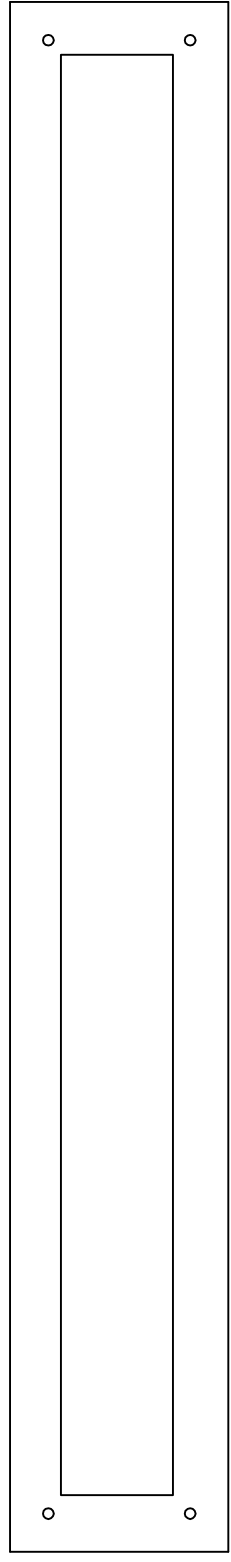
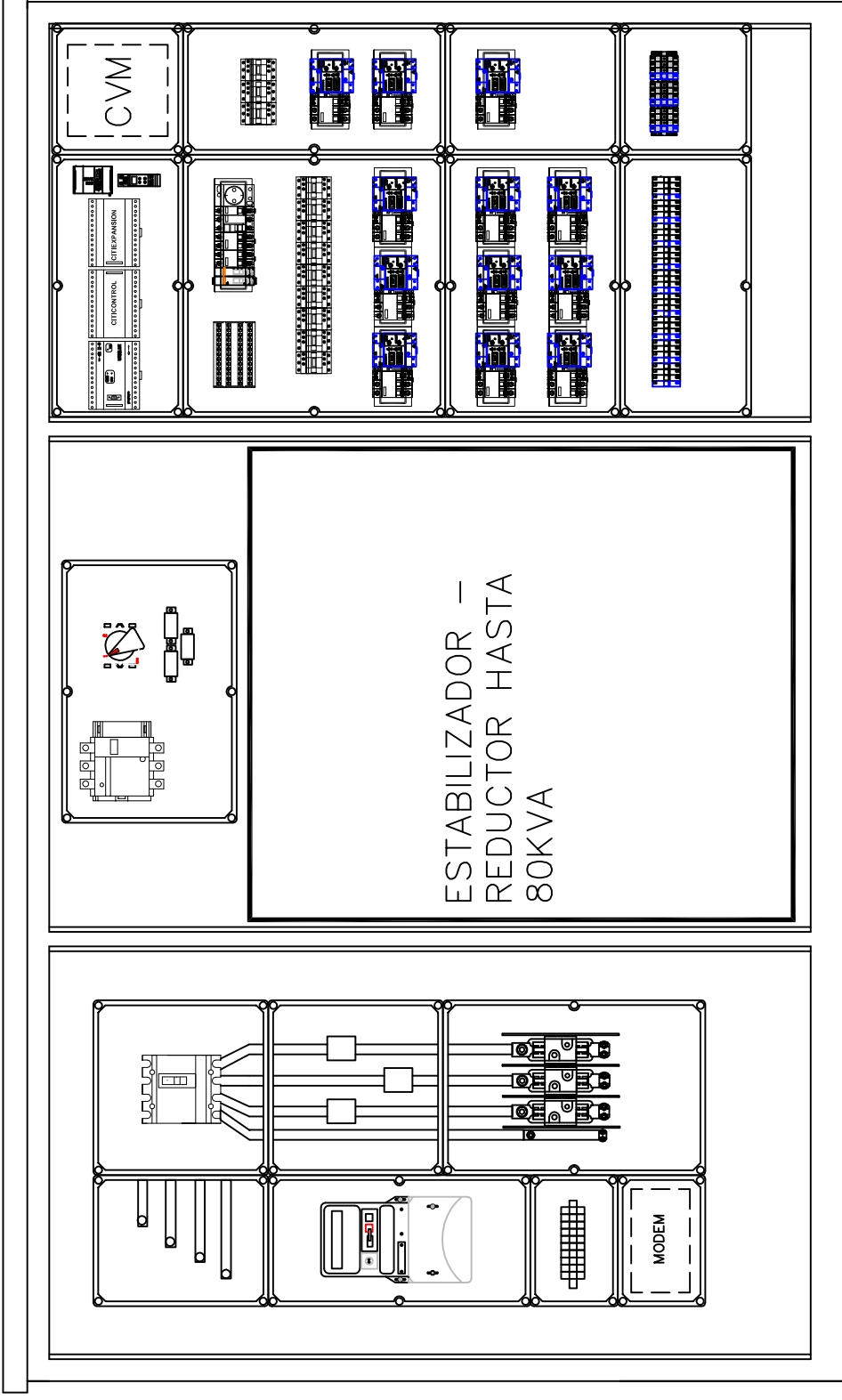
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25



### SISTEMA DE COMUNICACIONES

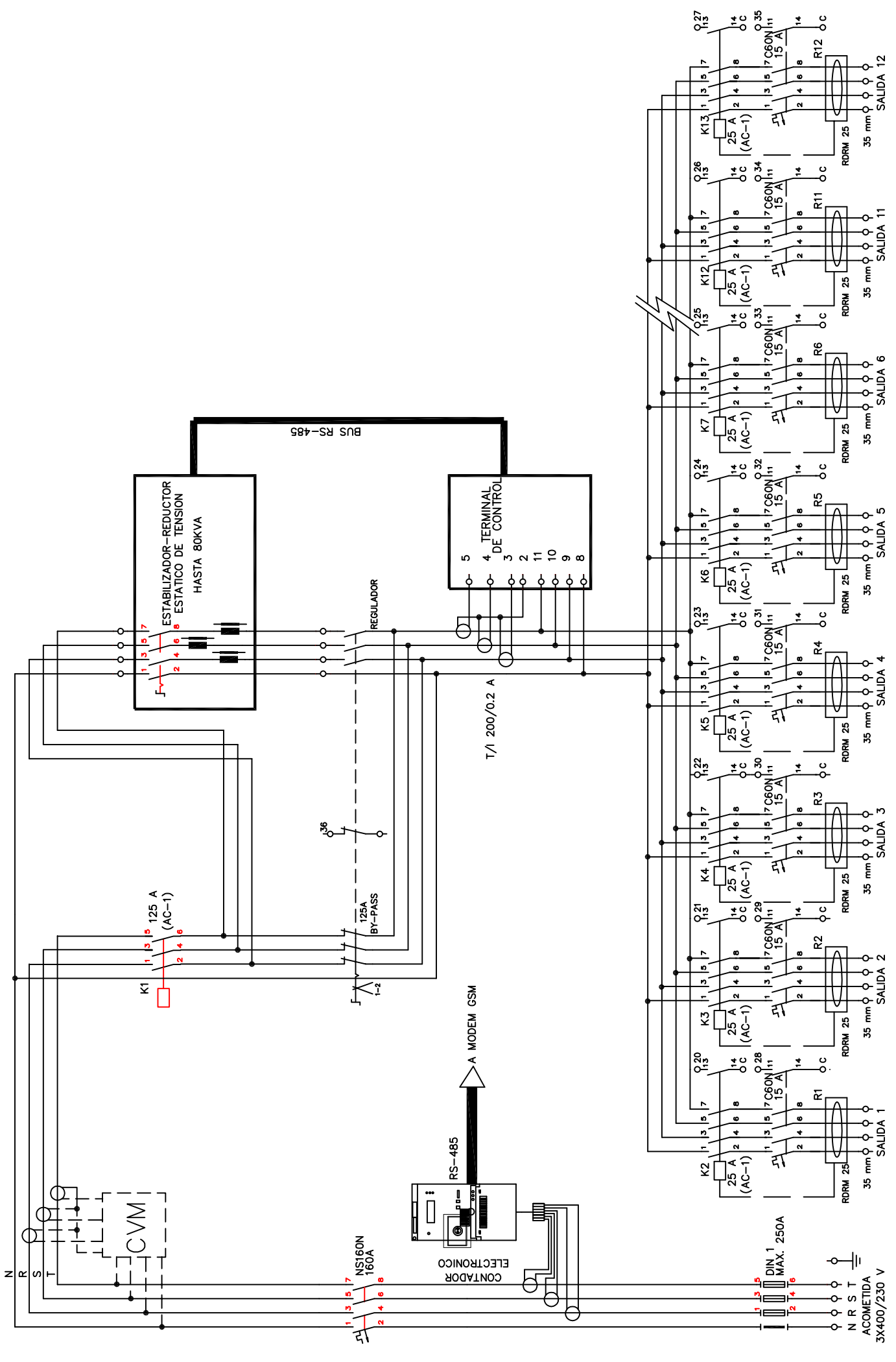


CALCULADO		CLIENTE	N°	DESIGNACION	CUADRO TIPO III		HOJA N° 1 / 2		
DIBUJADO					ESQUEMA DE MANDO		PLANO N°		-----
COMPROBADO					MOPU				



CALCULADO	DIBUJADO	COMPROBADO	TITULO	MOPU	DESIGNACION	CUADRO TIPO III	HOJA N° 1 / 1
						TOPOGRAFICO Y DIMENSIONES	PLANO N°





CALCULADO		CLIENTE	N°	DESIGNACION	CUADRO TIPO III	HOJA N°				
DIBUJADO							TITULO	MOPU	ESQUEMA DE POTENCIA	PLANO N°
COMPROBADO										



***ANEJO 6. EJEMPLOS PRÁCTICOS BASADOS  
EN INSTALACIONES REALIZADAS***



# ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN. OBJETO .....	1
2. POTENCIA INSTALADA EN TÚNELES TIPO .....	1
2.1 Metodología .....	1
2.2 Características de los túneles tipo .....	1
2.2.1 Sección tipo .....	1
2.2.2 Longitud .....	1
2.2.3 Iluminación .....	1
2.2.4 Casos de túneles tipo.....	2
2.3 Resultados obtenidos .....	3
2.4 Fichas .....	3
2.5 Croquis .....	37
3. EJEMPLOS DE MEJORA DE LA EFICIENCIA EN INSTALACIONES EXISTENTES ....	39
3.1 Sustitución de componentes de la instalación .....	39
3.1.1 Fuentes de luz y equipos eléctricos auxiliares .....	39
3.1.2 Luminarias.....	40
3.2 Mando de los regímenes de alumbrado .....	41
3.3 Sistemas de regulación de flujo y consumo de los puntos de luz .....	41
3.4 Organización y mejora de la explotación .....	42
4. REPORTAJE FOTOGRÁFICO .....	42



## 1. INTRODUCCIÓN. OBJETO

El objeto de este anejo es, en primer lugar, aportar unos valores aproximados de la potencia a instalar en algunos túneles tipo, en función de su longitud, tipología (bidireccional o unidireccional), tipo de iluminación (VSAP o LED + VSAP) y luminancia en zona de umbral  $L_{TH}$  (100 ó 150  $cd/m^2$ ); en segundo lugar, mostrar algunos ejemplos de mejora de la eficiencia en una instalación existente y por último presentar algunas fotografías de distintas instalaciones en servicio.

## 2. POTENCIA INSTALADA EN TÚNELES TIPO

### 2.1 Metodología

En primer lugar se definen las características de los túneles tipo seleccionados para realizar el estudio y a continuación se establecen las bases de cálculo necesarias para llevarlo a cabo.

Por último se presentan los resultados obtenidos en cada caso de cálculo de forma independiente, acompañados de un croquis explicativo de cada uno de ellos.

### 2.2 Características de los túneles tipo

#### 2.2.1 Sección tipo

Se estudiarán dos tipos de túneles: unidireccionales y bidireccionales.

En el caso de los bidireccionales, la sección tipo constará de un único tubo cuyo ancho de calzada será de 7,5 m con dos carriles, uno para cada sentido de circulación.

En el caso de los unidireccionales, la sección tipo constará de dos tubos, cada uno de ellos con un ancho de calzada de 7,5 m con dos carriles, ambos para el mismo sentido de circulación.

En ambos casos se ha supuesto que la calzada es tipo R3.

#### 2.2.2 Longitud

Después de analizar las longitudes de los túneles pertenecientes a la Red de Carreteras del Estado, se consideran cuatro longitudes distintas, que son las siguientes:

- 300 metros.
- 750 metros.
- 1.000 metros.
- 1.500 metros.

#### 2.2.3 Iluminación

Se estudiarán dos tipos de iluminación: vapor de sodio alta presión (VSAP) y LED+VSAP. Para la realización de los cálculos luminotécnicos se han considerado los siguientes aspectos:

- Luminarias situadas sin retranqueo respecto al borde de la calzada.
- Altura de montaje: 6 m.

- Orientación este-oeste: con esta orientación la iluminación es idéntica en ambas bocas.
- $L_{th}=100$  ó  $150 \text{ cd/m}^2$ .
- Factor de mantenimiento  $f_m=0,8$ .
- Velocidad de circulación =  $80 \text{ km/h}$ .
- Clase de túnel: 3.

En la alternativa de VSAP, todas las luminarias se han considerado de VSAP, mientras que en la alternativa de LED+VSAP se ha considerado que se instalan luminarias LED para el alumbrado permanente y nocturno, siendo el resto de VSAP.

Tabla 1. Casos de túneles tipo

Túnel tipo		Tipo de iluminación		Sección tipo		Longitud (m)			
$L_{TH}=100$ $\text{cd/m}^2$	$L_{TH}=150$ $\text{cd/m}^2$	VSAP	LED+VSAP	Unidireccional	Bidireccional	300	750	1.000	1.500
Nº 1	Nº 17	X		X		X			
Nº 2	Nº 18		X	X		X			
Nº 3	Nº 19	X			X	X			
Nº 4	Nº 20		X		X	X			
Nº 5	Nº 21	X		X			X		
Nº 6	Nº 22		X	X			X		
Nº 7	Nº 23	X			X		X		
Nº 8	Nº 24		X		X		X		
Nº 9	Nº 25	X		X				X	
Nº 10	Nº 26		X	X				X	
Nº 11	Nº 27	X			X			X	
Nº 12	Nº 28		X		X			X	
Nº 13	Nº 29	X		X					X
Nº 14	Nº 30		X	X					X
Nº 15	Nº 31	X			X				X
Nº 16	Nº 32		X		X				X

#### 2.2.4 Casos de túneles tipo

Teniendo en cuenta el tipo de túnel, su longitud, el tipo de fuente de luz a instalar y la luminancia en zona de umbral, se obtienen 32 posibilidades. Para cada una de ellas se ha realizado una ficha con los cálculos detallados y un croquis explicativo:

### 2.3 Resultados obtenidos

Los resultados obtenidos para cada uno de los 32 casos de estudio anteriores son los siguientes:



Tabla 2. Potencia instalada en túneles tipo con  $L_{th}=100cd/m^2$

Longitud (m)	Superficie (m <sup>2</sup> )	Unidireccional							
		VSAP				VSAP + LED			
		Pot. Instalada (kW)	$\epsilon_{POT}$ (W/m <sup>2</sup> )	Consumo teórico (kWh/año)	$\epsilon_{CONSUMO}$ (kWh/m <sup>2</sup> año)	Pot. Instalada (kW)	$\epsilon_{POT}$ (W/m <sup>2</sup> )	Consumo teórico (kWh/año)	$\epsilon_{CONSUMO}$ (kWh/m <sup>2</sup> año)
300	3.000	39,60	13,20	203.801,40	67,93	39,12	13,04	201.331,08	67,11
750	7.500	47,30	6,31	243.429,45	32,46	45,06	6,01	231.901,29	30,92
1.000	10.000	51,20	5,12	263.500,80	26,35	48,10	4,81	247.546,65	24,75
1.500	15.000	59,00	3,93	303.643,50	20,24	54,34	3,62	279.660,81	18,64
Longitud (m)	Superficie (m <sup>2</sup> )	Bidireccional							
		VSAP				VSAP + LED			
		Pot. Instalada (kW)	$\epsilon_{POT}$ (W/m <sup>2</sup> )	Consumo teórico (kWh/año)	$\epsilon_{CONSUMO}$ (kWh/m <sup>2</sup> año)	Pot. Instalada (kW)	$\epsilon_{POT}$ (W/m <sup>2</sup> )	Consumo teórico (kWh/año)	$\epsilon_{CONSUMO}$ (kWh/m <sup>2</sup> año)
300	3.000	61,60	20,53	317.024,40	105,67	61,12	20,37	314.554,08	104,85
750	7.500	82,30	10,97	423.556,95	56,47	80,68	10,76	415.219,62	55,36
1.000	10.000	86,20	8,62	443.628,30	44,36	83,72	8,37	430.864,98	43,09
1.500	15.000	94,00	6,27	483.771,00	32,25	89,96	6,00	462.979,14	30,87

Tabla 3. Potencia instalada en túneles tipo con  $L_{th}=150cd/m^2$

Longitud (m)	Superficie (m <sup>2</sup> )	Unidireccional							
		VSAP				VSAP + LED			
		Pot. Instalada (kW)	$\epsilon_{POT}$ (W/m <sup>2</sup> )	Consumo teórico (kWh/año)	$\epsilon_{CONSUMO}$ (kWh/m <sup>2</sup> año)	Pot. Instalada (kW)	$\epsilon_{POT}$ (W/m <sup>2</sup> )	Consumo teórico (kWh/año)	$\epsilon_{CONSUMO}$ (kWh/m <sup>2</sup> año)
300	3.000	57,20	19,07	294.379,80	98,13	56,72	18,91	291.909,48	97,30
750	7.500	64,50	8,60	331.949,25	44,26	62,66	8,35	322.479,69	43,00
1.000	10.000	68,80	6,88	354.079,20	35,41	65,70	6,57	338.125,05	33,81
1.500	15.000	76,60	5,11	394.221,90	26,28	71,94	4,80	370.239,21	24,68
Longitud (m)	Superficie (m <sup>2</sup> )	Bidireccional							
		VSAP				VSAP + LED			
		Pot. Instalada (kW)	$\epsilon_{POT}$ (W/m <sup>2</sup> )	Consumo teórico (kWh/año)	$\epsilon_{CONSUMO}$ (kWh/m <sup>2</sup> año)	Pot. Instalada (kW)	$\epsilon_{POT}$ (W/m <sup>2</sup> )	Consumo teórico (kWh/año)	$\epsilon_{CONSUMO}$ (kWh/m <sup>2</sup> año)
300	3.000	98,40	32,80	506.415,60	168,81	97,92	32,64	503.945,28	167,98
750	7.500	117,50	15,67	604.713,75	80,63	115,88	15,45	596.376,42	79,52
1.000	10.000	121,40	12,14	624.785,10	62,48	118,92	11,89	612.021,78	61,20
1.500	15.000	129,20	8,61	664.927,80	44,33	125,16	8,34	644.135,94	42,94

## 2.4 Fichas

A continuación se muestran las fichas de los túneles tipo.



## FICHA N°1

### CARACTERÍSTICAS

- TIPO DE ILUMINACIÓN: VSAP
- SECCIÓN TIPO: Undireccional
- LONGITUD: 300 m.
- $L_{TH}=100 \text{ cd/m}^2$

### TIPO DE LUMINARIAS

CLASE	LÁMPARAS	UNIDADES	
		CD	CI
1	150 W VSAP tubular amarillo	16	16
2	250 W VSAP tubular amarillo	8	8
3	400 W VSAP tubular amarillo	88	88

### POTENCIA INSTALADA

#### CALZADA DERECHA

POTENCIA (W)	UNIDADES	POTENCIA INSTALADA (W)
150	16	2.400
250	8	2.000
400	88	35.200
<b>TOTAL</b>	<b>112</b>	<b>39.600</b>

#### CALZADA IZQUIERDA

POTENCIA (W)	UNIDADES	POTENCIA INSTALADA (W)
150	16	2.400
250	8	2.000
400	88	35.200
<b>TOTAL</b>	<b>112</b>	<b>39.600</b>

## **FICHA N°2**

### **CARACTERÍSTICAS**

- TIPO DE ILUMINACIÓN: LED + VSAP.
- SECCIÓN TIPO: Undireccional.
- LONGITUD: 300 m.
- $L_{TH}=100 \text{ cd/m}^2$ .

### **TIPO DE LUMINARIAS**

CLASE	LÁMPARAS	UNIDADES	
		CD	CI
1	80 W LED	24	24
2	250 W VSAP tubular amarillo	8	8
3	400 W VSAP tubular amarillo	88	88

### **POTENCIA INSTALADA**

#### **CALZADA DERECHA**

POTENCIA (W)	UNIDADES	POTENCIA INSTALADA (W)
LED (80)	24	1.920
250	8	2.000
400	88	35.200
<b>TOTAL</b>	<b>120</b>	<b>39.120</b>

#### **CALZADA IZQUIERDA**

POTENCIA (W)	UNIDADES	POTENCIA INSTALADA (W)
LED (80)	24	1.920
250	8	2.000
400	88	35.200
<b>TOTAL</b>	<b>120</b>	<b>39.120</b>

## FICHA N°3

### CARACTERÍSTICAS

- TIPO DE ILUMINACIÓN: VSAP.
- SECCIÓN TIPO: Bidireccional.
- LONGITUD: 300 m.
- $L_{TH}=100 \text{ cd/m}^2$ .

### TIPO DE LUMINARIAS

CLASE	LÁMPARAS	UNIDADES
1	150 W VSAP tubular amarillo	16
2	250 W VSAP tubular amarillo	0
3	400 W VSAP tubular amarillo	148

### POTENCIA INSTALADA

#### HASTIAL DERECHO

POTENCIA (W)	UNIDADES	POTENCIA INSTALADA (W)
150	8	1.200
250	0	0
400	74	29.600
<b>TOTAL</b>	<b>82</b>	<b>30.800</b>

#### HASTIAL IZQUIERDO

POTENCIA (W)	UNIDADES	POTENCIA INSTALADA (W)
150	8	1.200
250	0	0
400	74	29.600
<b>TOTAL</b>	<b>82</b>	<b>30.800</b>

#### TOTAL

POTENCIA (W)	UNIDADES	POTENCIA INSTALADA (W)
150	16	2.400
250	0	0
400	148	59.200
<b>TOTAL</b>	<b>164</b>	<b>61.600</b>

## **FICHA Nº4**

### **CARACTERÍSTICAS**

- TIPO DE ILUMINACIÓN: LED + VSAP.
- SECCIÓN TIPO: Bidireccional.
- LONGITUD: 300 m.
- $L_{TH}=100 \text{ cd/m}^2$ .

### **TIPO DE LUMINARIAS**

CLASE	LÁMPARAS	UNIDADES
1	80 W LED	24
2	250 W VSAP tubular amarillo	0
3	400 W VSAP tubular amarillo	148

### **POTENCIA INSTALADA**

#### **HASTIAL DERECHO**

POTENCIA (W)	UNIDADES	POTENCIA INSTALADA (W)
LED (80)	12	960
250	0	0
400	74	29.600
<b>TOTAL</b>	<b>86</b>	<b>30.560</b>

#### **HASTIAL IZQUIERDO**

POTENCIA (W)	UNIDADES	POTENCIA INSTALADA (W)
LED (80)	12	960
250	0	0
400	74	29.600
<b>TOTAL</b>	<b>86</b>	<b>30.560</b>

#### **TOTAL**

POTENCIA (W)	UNIDADES	POTENCIA INSTALADA (W)
LED (80)	24	1.920
250	0	0
400	148	59.200
<b>TOTAL</b>	<b>172</b>	<b>61.120</b>

## FICHA N°5

### CARACTERÍSTICAS

- TIPO DE ILUMINACIÓN: VSAP.
- SECCIÓN TIPO: Unidireccional.
- LONGITUD: 750 m.
- $L_{TH}=100 \text{ cd/m}^2$ .

### TIPO DE LUMINARIAS

CLASE	LÁMPARAS	UNIDADES	
		CD	CI
1	150 W VSAP tubular amarillo	64	64
2	250 W VSAP tubular amarillo	10	10
3	400 W VSAP tubular amarillo	88	88

### POTENCIA INSTALADA

#### CALZADA DERECHA

POTENCIA (W)	UNIDADES	POTENCIA INSTALADA (W)
150	64	9.600
250	10	2.500
400	88	35.200
<b>TOTAL</b>	<b>162</b>	<b>47.300</b>

#### CALZADA IZQUIERDA

POTENCIA (W)	UNIDADES	POTENCIA INSTALADA (W)
150	64	9.600
250	10	2.500
400	88	35.200
<b>TOTAL</b>	<b>162</b>	<b>47.300</b>

## FICHA N°6

### CARACTERÍSTICAS

- TIPO DE ILUMINACIÓN: LED + VSAP.
- SECCIÓN TIPO: Unidireccional.
- LONGITUD: 750 m.
- $L_{TH}=100 \text{ cd/m}^2$ .

### TIPO DE LUMINARIAS

CLASE	LÁMPARAS	UNIDADES	
		CD	CI
1	80 W LED	92	92
2	250 W VSAP tubular amarillo	10	10
3	400 W VSAP tubular amarillo	88	88

### POTENCIA INSTALADA

#### CALZADA DERECHA

POTENCIA (W)	UNIDADES	POTENCIA INSTALADA (W)
LED (80)	92	7.360
250	10	2.500
400	88	35.200
<b>TOTAL</b>	<b>190</b>	<b>45.060</b>

#### CALZADA IZQUIERDA

POTENCIA (W)	UNIDADES	POTENCIA INSTALADA (W)
LED (80)	92	7.360
250	10	2.500
400	88	35.200
<b>TOTAL</b>	<b>190</b>	<b>45.060</b>



## **FICHA N°7**

### **CARACTERÍSTICAS**

- TIPO DE ILUMINACIÓN: VSAP.
- SECCIÓN TIPO: Bidireccional.
- LONGITUD: 750 m.
- $L_{TH}=100 \text{ cd/m}^2$ .

### **TIPO DE LUMINARIAS**

CLASE	LÁMPARAS	UNIDADES
1	150 W VSAP tubular amarillo	46
2	250 W VSAP tubular amarillo	20
3	400 W VSAP tubular amarillo	176

### **POTENCIA INSTALADA**

#### **HASTIAL DERECHO**

POTENCIA (W)	UNIDADES	POTENCIA INSTALADA (W)
150	23	3.450
250	10	2.500
400	88	35.200
<b>TOTAL</b>	<b>121</b>	<b>41.150</b>

#### **HASTIAL IZQUIERDO**

POTENCIA (W)	UNIDADES	POTENCIA INSTALADA (W)
150	23	3.450
250	10	2.500
400	88	35.200
<b>TOTAL</b>	<b>121</b>	<b>41.150</b>

#### **TOTAL**

POTENCIA (W)	UNIDADES	POTENCIA INSTALADA (W)
150	46	6.900
250	20	5.000
400	176	70.400
<b>TOTAL</b>	<b>242</b>	<b>82.300</b>

## **FICHA N°8**

### **CARACTERÍSTICAS**

- TIPO DE ILUMINACIÓN: LED + VSAP.
- SECCIÓN TIPO: Bidireccional.
- LONGITUD: 750 m.
- $L_{TH}=100 \text{ cd/m}^2$ .

### **TIPO DE LUMINARIAS**

CLASE	LÁMPARAS	UNIDADES
1	80 W LED	66
2	250 W VSAP tubular amarillo	20
3	400 W VSAP tubular amarillo	176

### **POTENCIA INSTALADA**

#### **HASTIAL DERECHO**

POTENCIA (W)	UNIDADES	POTENCIA INSTALADA (W)
LED (80)	33	2.640
250	10	2.500
400	88	35.200
<b>TOTAL</b>	<b>131</b>	<b>40.340</b>

#### **HASTIAL IZQUIERDO**

POTENCIA (W)	UNIDADES	POTENCIA INSTALADA (W)
LED (80)	33	2.640
250	10	2.500
400	88	35.200
<b>TOTAL</b>	<b>131</b>	<b>40.340</b>

#### **TOTAL**

POTENCIA (W)	UNIDADES	POTENCIA INSTALADA (W)
LED (80)	66	5.280
250	20	5.000
400	176	70.400
<b>TOTAL</b>	<b>262</b>	<b>80.680</b>

## FICHA N°9

### CARACTERÍSTICAS

- TIPO DE ILUMINACIÓN: VSAP.
- SECCIÓN TIPO: Unidireccional.
- LONGITUD: 1.000 m.
- $L_{TH}=100 \text{ cd/m}^2$ .

### TIPO DE LUMINARIAS

CLASE	LÁMPARAS	UNIDADES	
		CD	CI
1	150 W VSAP tubular amarillo	90	90
2	250 W VSAP tubular amarillo	10	10
3	400 W VSAP tubular amarillo	88	88

### POTENCIA INSTALADA

#### CALZADA DERECHA

POTENCIA (W)	UNIDADES	POTENCIA INSTALADA (W)
150	90	13.500
250	10	2.500
400	88	35.200
<b>TOTAL</b>	<b>188</b>	<b>51.200</b>

#### CALZADA IZQUIERDA

POTENCIA (W)	UNIDADES	POTENCIA INSTALADA (W)
150	90	13.500
250	10	2.500
400	88	35.200
<b>TOTAL</b>	<b>188</b>	<b>51.200</b>

## **FICHA Nº10**

### **CARACTERÍSTICAS**

- TIPO DE ILUMINACIÓN: LED +VSAP.
- SECCIÓN TIPO: Unidireccional.
- LONGITUD: 1.000 m.
- $L_{TH}=100 \text{ cd/m}^2$ .

### **TIPO DE LUMINARIAS**

CLASE	LÁMPARAS	UNIDADES	
		CD	CI
1	80 W LED	130	130
2	250 W VSAP tubular amarillo	10	10
3	400 W VSAP tubular amarillo	88	88

### **POTENCIA INSTALADA**

#### **CALZADA DERECHA**

POTENCIA (W)	UNIDADES	POTENCIA INSTALADA (W)
LED (80)	130	10.400
250	10	2.500
400	88	35.200
<b>TOTAL</b>	<b>228</b>	<b>48.100</b>

#### **CALZADA IZQUIERDA**

POTENCIA (W)	UNIDADES	POTENCIA INSTALADA (W)
LED (80)	130	10.400
250	10	2.500
400	88	35.200
<b>TOTAL</b>	<b>228</b>	<b>48.100</b>

## FICHA Nº11

### CARACTERÍSTICAS

- TIPO DE ILUMINACIÓN: VSAP.
- SECCIÓN TIPO: Bidireccional.
- LONGITUD: 1.000 m.
- $L_{TH}=100 \text{ cd/m}^2$ .

### TIPO DE LUMINARIAS

CLASE	LÁMPARAS	UNIDADES
1	150 W VSAP tubular amarillo	72
2	250 W VSAP tubular amarillo	20
3	400 W VSAP tubular amarillo	176

### POTENCIA INSTALADA

#### HASTIAL DERECHO

POTENCIA (W)	UNIDADES	POTENCIA INSTALADA (W)
150	36	5.400
250	10	2.500
400	88	35.200
<b>TOTAL</b>	<b>134</b>	<b>43.100</b>

#### HASTIAL IZQUIERDO

POTENCIA (W)	UNIDADES	POTENCIA INSTALADA (W)
150	36	5.400
250	10	2.500
400	88	35.200
<b>TOTAL</b>	<b>134</b>	<b>43.100</b>

#### TOTAL

POTENCIA (W)	UNIDADES	POTENCIA INSTALADA (W)
150	72	10.800
250	20	5.000
400	176	70.400
<b>TOTAL</b>	<b>134</b>	<b>86.200</b>

## **FICHA Nº12**

### **CARACTERÍSTICAS**

- TIPO DE ILUMINACIÓN: LED +VSAP.
- SECCIÓN TIPO: Bidireccional.
- LONGITUD: 1.000 m.
- $L_{TH}=100 \text{ cd/m}^2$ .

### **TIPO DE LUMINARIAS**

CLASE	LÁMPARAS	UNIDADES
1	80 W LED	104
2	250 W VSAP tubular amarillo	20
3	400 W VSAP tubular amarillo	176

### **POTENCIA INSTALADA**

#### **HASTIAL DERECHO**

POTENCIA (W)	UNIDADES	POTENCIA INSTALADA (W)
LED (80)	52	4.160
250	10	2.500
400	88	35.200
<b>TOTAL</b>	<b>150</b>	<b>41.860</b>

#### **HASTIAL IZQUIERDO**

POTENCIA (W)	UNIDADES	POTENCIA INSTALADA (W)
LED (80)	52	4.160
250	10	2.500
400	88	35.200
<b>TOTAL</b>	<b>150</b>	<b>41.860</b>

#### **TOTAL**

POTENCIA (W)	UNIDADES	POTENCIA INSTALADA (W)
LED (80)	104	8.320
250	20	5.000
400	176	70.400
<b>TOTAL</b>	<b>300</b>	<b>83.720</b>

## **FICHA N°13**

### **CARACTERÍSTICAS**

- TIPO DE ILUMINACIÓN: VSAP.
- SECCIÓN TIPO: Unidireccional.
- LONGITUD: 1.500 m.
- $L_{TH}=100 \text{ cd/m}^2$ .

### **TIPO DE LUMINARIAS**

CLASE	LÁMPARAS	UNIDADES	
		CD	CI
1	150 W VSAP tubular amarillo	142	142
2	250 W VSAP tubular amarillo	10	10
3	400 W VSAP tubular amarillo	88	88

### **POTENCIA INSTALADA**

#### **CALZADA DERECHA**

POTENCIA (W)	UNIDADES	POTENCIA INSTALADA (W)
150	142	21.300
250	10	2.500
400	88	35.200
<b>TOTAL</b>	<b>240</b>	<b>59.000</b>

#### **CALZADA IZQUIERDA**

POTENCIA (W)	UNIDADES	POTENCIA INSTALADA (W)
150	142	21.300
250	10	2.500
400	88	35.200
<b>TOTAL</b>	<b>240</b>	<b>59.000</b>

## **FICHA Nº14**

### **CARACTERÍSTICAS**

- TIPO DE ILUMINACIÓN: LED + VSAP.
- SECCIÓN TIPO: Unidireccional.
- LONGITUD: 1.500 m.
- $L_{TH}=100$  cd/m<sup>2</sup>.

### **TIPO DE LUMINARIAS**

CLASE	LÁMPARAS	UNIDADES	
		CD	CI
1	80 W LED	208	208
2	250 W VSAP tubular amarillo	10	10
3	400 W VSAP tubular amarillo	88	88

### **POTENCIA INSTALADA**

#### **CALZADA DERECHA**

POTENCIA (W)	UNIDADES	POTENCIA INSTALADA (W)
LED (80)	208	16.640
250	10	2.500
400	88	35.200
<b>TOTAL</b>	<b>306</b>	<b>54.340</b>

#### **CALZADA IZQUIERDA**

POTENCIA (W)	UNIDADES	POTENCIA INSTALADA (W)
LED (80)	208	16.640
250	10	2.500
400	88	35.200
<b>TOTAL</b>	<b>306</b>	<b>54.340</b>



## FICHA Nº15

### CARACTERÍSTICAS

- TIPO DE ILUMINACIÓN: VSAP.
- SECCIÓN TIPO: Bidireccional.
- LONGITUD: 1.500 m.
- $L_{TH}=100$  cd/m<sup>2</sup>.

### TIPO DE LUMINARIAS

CLASE	LÁMPARAS	UNIDADES
1	150 W VSAP tubular amarillo	124
2	250 W VSAP tubular amarillo	20
3	400 W VSAP tubular amarillo	176

### POTENCIA INSTALADA

#### HASTIAL DERECHO

POTENCIA (W)	UNIDADES	POTENCIA INSTALADA (W)
150	62	9.300
250	10	2.500
400	88	35.200
<b>TOTAL</b>	<b>160</b>	<b>47.000</b>

#### HASTIAL IZQUIERDO

POTENCIA (W)	UNIDADES	POTENCIA INSTALADA (W)
150	62	9.300
250	10	2.500
400	88	35.200
<b>TOTAL</b>	<b>160</b>	<b>47.000</b>

#### TOTAL

POTENCIA (W)	UNIDADES	POTENCIA INSTALADA (W)
150	124	18.600
250	20	5.000
400	176	70.400
<b>TOTAL</b>	<b>320</b>	<b>94.000</b>

## **FICHA Nº16**

### **CARACTERÍSTICAS**

- TIPO DE ILUMINACIÓN: LED + VSAP.
- SECCIÓN TIPO: Bidireccional.
- LONGITUD: 1.500 m.
- $L_{TH}=100$  cd/m<sup>2</sup>.

### **TIPO DE LUMINARIAS**

CLASE	LÁMPARAS	UNIDADES
1	80 W LED	182
2	250 W VSAP tubular amarillo	20
3	400 W VSAP tubular amarillo	176

### **POTENCIA INSTALADA**

#### **HASTIAL DERECHO**

POTENCIA (W)	UNIDADES	POTENCIA INSTALADA (W)
LED (80)	91	7.280
250	10	2.500
400	88	35.200
<b>TOTAL</b>	<b>189</b>	<b>44.980</b>

#### **HASTIAL IZQUIERDO**

POTENCIA (W)	UNIDADES	POTENCIA INSTALADA (W)
LED (80)	91	7.280
250	10	2.500
400	88	35.200
<b>TOTAL</b>	<b>189</b>	<b>44.980</b>

#### **TOTAL**

POTENCIA (W)	UNIDADES	POTENCIA INSTALADA (W)
LED (80)	182	14.560
250	20	5.000
400	176	70.400
<b>TOTAL</b>	<b>378</b>	<b>89.960</b>

## **FICHA Nº17**

### **CARACTERÍSTICAS**

- TIPO DE ILUMINACIÓN: VSAP.
- SECCIÓN TIPO: Undireccional.
- LONGITUD: 300 m.
- $L_{TH}=150 \text{ cd/m}^2$ .

### **TIPO DE LUMINARIAS**

CLASE	LÁMPARAS	UNIDADES	
		CD	CI
1	150 W VSAP tubular amarillo	16	16
2	250 W VSAP tubular amarillo	8	8
3	400 W VSAP tubular amarillo	132	132

### **POTENCIA INSTALADA**

#### **CALZADA DERECHA**

POTENCIA (W)	UNIDADES	POTENCIA INSTALADA (W)
150	16	2.400
250	8	2.000
400	132	52.800
<b>TOTAL</b>	<b>156</b>	<b>57.200</b>

#### **CALZADA IZQUIERDA**

POTENCIA (W)	UNIDADES	POTENCIA INSTALADA (W)
150	16	2.400
250	8	2.000
400	132	52.800
<b>TOTAL</b>	<b>156</b>	<b>57.200</b>

## **FICHA Nº18**

### **CARACTERÍSTICAS**

- TIPO DE ILUMINACIÓN: LED + VSAP.
- SECCIÓN TIPO: Undireccional.
- LONGITUD: 300 m.
- $L_{TH}=150 \text{ cd/m}^2$ .

### **TIPO DE LUMINARIAS**

CLASE	LÁMPARAS	UNIDADES	
		CD	CI
1	80 W LED	24	24
2	250 W VSAP tubular amarillo	8	8
3	400 W VSAP tubular amarillo	132	132

### **POTENCIA INSTALADA**

#### **CALZADA DERECHA**

POTENCIA (W)	UNIDADES	POTENCIA INSTALADA (W)
LED (80)	24	1.920
250	8	2.000
400	132	52.800
<b>TOTAL</b>	<b>164</b>	<b>56.720</b>

#### **CALZADA IZQUIERDA**

POTENCIA (W)	UNIDADES	POTENCIA INSTALADA (W)
LED (80)	24	1.920
250	8	2.000
400	132	52.800
<b>TOTAL</b>	<b>164</b>	<b>56.720</b>

## **FICHA Nº19**

### **CARACTERÍSTICAS**

- TIPO DE ILUMINACIÓN: VSAP.
- SECCIÓN TIPO: Bidireccional.
- LONGITUD: 300 m.
- $L_{TH}=150 \text{ cd/m}^2$ .

### **TIPO DE LUMINARIAS**

CLASE	LÁMPARAS	UNIDADES
1	150 W VSAP tubular amarillo	16
2	250 W VSAP tubular amarillo	0
3	400 W VSAP tubular amarillo	240

### **POTENCIA INSTALADA**

#### **HASTIAL DERECHO**

POTENCIA (W)	UNIDADES	POTENCIA INSTALADA (W)
150	8	1.200
250	0	0
400	120	48.000
<b>TOTAL</b>	<b>128</b>	<b>49.200</b>

#### **HASTIAL IZQUIERDO**

POTENCIA (W)	UNIDADES	POTENCIA INSTALADA (W)
150	8	1.200
250	0	0
400	120	48.000
<b>TOTAL</b>	<b>128</b>	<b>49.200</b>

#### **TOTAL**

POTENCIA (W)	UNIDADES	POTENCIA INSTALADA (W)
150	16	2.400
250	0	0
400	240	96.000
<b>TOTAL</b>	<b>256</b>	<b>98.400</b>

## **FICHA Nº20**

### **CARACTERÍSTICAS**

- TIPO DE ILUMINACIÓN: LED + VSAP.
- SECCIÓN TIPO: Bidireccional.
- LONGITUD: 300 m.
- $L_{TH}=150 \text{ cd/m}^2$ .

### **TIPO DE LUMINARIAS**

CLASE	LÁMPARAS	UNIDADES
1	80 W LED	24
2	250 W VSAP tubular amarillo	0
3	400 W VSAP tubular amarillo	240

### **POTENCIA INSTALADA**

#### **HASTIAL DERECHO**

POTENCIA (W)	UNIDADES	POTENCIA INSTALADA (W)
LED (80)	12	960
250	0	0
400	120	48.000
<b>TOTAL</b>	<b>132</b>	<b>48.960</b>

#### **HASTIAL IZQUIERDO**

POTENCIA (W)	UNIDADES	POTENCIA INSTALADA (W)
LED (80)	12	960
250	0	0
400	120	48.000
<b>TOTAL</b>	<b>132</b>	<b>48.960</b>

#### **TOTAL**

POTENCIA (W)	UNIDADES	POTENCIA INSTALADA (W)
LED (80)	24	1.920
250	0	0
400	240	96.000
<b>TOTAL</b>	<b>264</b>	<b>97.920</b>

## **FICHA Nº21**

### **CARACTERÍSTICAS**

- TIPO DE ILUMINACIÓN: VSAP.
- SECCIÓN TIPO: Unidireccional.
- LONGITUD: 750 m.
- $L_{TH}=150 \text{ cd/m}^2$ .

### **TIPO DE LUMINARIAS**

CLASE	LÁMPARAS	UNIDADES	
		CD	CI
1	150 W VSAP tubular amarillo	64	64
2	250 W VSAP tubular amarillo	10	10
3	400 W VSAP tubular amarillo	132	132

### **POTENCIA INSTALADA**

#### **CALZADA DERECHA**

POTENCIA (W)	UNIDADES	POTENCIA INSTALADA (W)
150	64	9.600
250	10	2.500
400	132	52.800
<b>TOTAL</b>	<b>206</b>	<b>64.900</b>

#### **CALZADA IZQUIERDA**

POTENCIA (W)	UNIDADES	POTENCIA INSTALADA (W)
150	64	9.600
250	10	2.500
400	132	52.800
<b>TOTAL</b>	<b>206</b>	<b>64.900</b>

## **FICHA Nº22**

### **CARACTERÍSTICAS**

- TIPO DE ILUMINACIÓN: LED + VSAP.
- SECCIÓN TIPO: Unidireccional.
- LONGITUD: 750 m.
- $L_{TH}=150$  cd/m<sup>2</sup>.

### **TIPO DE LUMINARIAS**

CLASE	LÁMPARAS	UNIDADES	
		CD	CI
1	80 W LED	92	92
2	250 W VSAP tubular amarillo	10	10
3	400 W VSAP tubular amarillo	132	132

### **POTENCIA INSTALADA**

#### **CALZADA DERECHA**

POTENCIA (W)	UNIDADES	POTENCIA INSTALADA (W)
LED (80)	92	7.360
250	10	2.500
400	132	52.800
<b>TOTAL</b>	<b>232</b>	<b>62.660</b>

#### **CALZADA IZQUIERDA**

POTENCIA (W)	UNIDADES	POTENCIA INSTALADA (W)
LED (80)	92	7.360
250	10	2.500
400	132	52.800
<b>TOTAL</b>	<b>232</b>	<b>62.660</b>



## **FICHA N°23**

### **CARACTERÍSTICAS**

- TIPO DE ILUMINACIÓN: VSAP.
- SECCIÓN TIPO: Bidireccional.
- LONGITUD: 750 m.
- $L_{TH}=150 \text{ cd/m}^2$ .

### **TIPO DE LUMINARIAS**

CLASE	LÁMPARAS	UNIDADES
1	150 W VSAP tubular amarillo	46
2	250 W VSAP tubular amarillo	10
3	400 W VSAP tubular amarillo	264

### **POTENCIA INSTALADA**

#### **HASTIAL DERECHO**

POTENCIA (W)	UNIDADES	POTENCIA INSTALADA (W)
150	23	3.450
250	10	2.500
400	132	52.800
<b>TOTAL</b>	<b>165</b>	<b>58.750</b>

#### **HASTIAL IZQUIERDO**

POTENCIA (W)	UNIDADES	POTENCIA INSTALADA (W)
150	23	3.450
250	10	2.500
400	132	52.800
<b>TOTAL</b>	<b>165</b>	<b>58.750</b>

#### **TOTAL**

POTENCIA (W)	UNIDADES	POTENCIA INSTALADA (W)
150	46	6.900
250	10	5.000
400	264	105.600
<b>TOTAL</b>	<b>320</b>	<b>117.500</b>

## **FICHA Nº24**

### **CARACTERÍSTICAS**

- TIPO DE ILUMINACIÓN: LED + VSAP.
- SECCIÓN TIPO: Bidireccional.
- LONGITUD: 750 m.
- $L_{TH}=150 \text{ cd/m}^2$ .

### **TIPO DE LUMINARIAS**

CLASE	LÁMPARAS	UNIDADES
1	80 W LED	66
2	250 W VSAP tubular amarillo	20
3	400 W VSAP tubular amarillo	264

### **POTENCIA INSTALADA**

#### **HASTIAL DERECHO**

POTENCIA (W)	UNIDADES	POTENCIA INSTALADA (W)
LED (80)	33	2.640
250	10	2.500
400	132	52.800
<b>TOTAL</b>	<b>175</b>	<b>57.940</b>

#### **HASTIAL IZQUIERDO**

POTENCIA (W)	UNIDADES	POTENCIA INSTALADA (W)
LED (80)	33	2.640
250	10	2.500
400	132	52.800
<b>TOTAL</b>	<b>175</b>	<b>57.940</b>

#### **TOTAL**

POTENCIA (W)	UNIDADES	POTENCIA INSTALADA (W)
LED (80)	66	5.280
250	20	5.000
400	264	105.600
<b>TOTAL</b>	<b>350</b>	<b>115.880</b>

## **FICHA Nº25**

### **CARACTERÍSTICAS**

- TIPO DE ILUMINACIÓN: VSAP.
- SECCIÓN TIPO: Unidireccional.
- LONGITUD: 1.000 m.
- $L_{TH}=150 \text{ cd/m}^2$ .

### **TIPO DE LUMINARIAS**

CLASE	LÁMPARAS	UNIDADES	
		CD	CI
1	150 W VSAP tubular amarillo	90	90
2	250 W VSAP tubular amarillo	10	10
3	400 W VSAP tubular amarillo	132	132

### **POTENCIA INSTALADA**

#### **CALZADA DERECHA**

POTENCIA (W)	UNIDADES	POTENCIA INSTALADA (W)
150	90	13.500
250	10	2.500
400	132	52.800
<b>TOTAL</b>	<b>232</b>	<b>68.800</b>

#### **CALZADA IZQUIERDA**

POTENCIA (W)	UNIDADES	POTENCIA INSTALADA (W)
150	90	13.500
250	10	2.500
400	132	52.800
<b>TOTAL</b>	<b>232</b>	<b>68.800</b>

## **FICHA Nº26**

### **CARACTERÍSTICAS**

- TIPO DE ILUMINACIÓN: LED +VSAP.
- SECCIÓN TIPO: Unidireccional.
- LONGITUD: 1.000 m.
- $L_{TH}=150 \text{ cd/m}^2$ .

### **TIPO DE LUMINARIAS**

CLASE	LÁMPARAS	UNIDADES	
		CD	CI
1	80 W LED	130	130
2	250 W VSAP tubular amarillo	10	10
3	400 W VSAP tubular amarillo	132	132

### **POTENCIA INSTALADA**

#### **CALZADA DERECHA**

POTENCIA (W)	UNIDADES	POTENCIA INSTALADA (W)
LED (80)	130	10.400
250	10	2.500
400	132	52.800
<b>TOTAL</b>	<b>272</b>	<b>65.700</b>

#### **CALZADA IZQUIERDA**

POTENCIA (W)	UNIDADES	POTENCIA INSTALADA (W)
LED (80)	130	10.400
250	10	2.500
400	132	52.800
<b>TOTAL</b>	<b>272</b>	<b>65.700</b>

## **FICHA Nº27**

### **CARACTERÍSTICAS**

- TIPO DE ILUMINACIÓN: VSAP.
- SECCIÓN TIPO: Bidireccional.
- LONGITUD: 1.000 m.
- $L_{TH}=150 \text{ cd/m}^2$ .

### **TIPO DE LUMINARIAS**

CLASE	LÁMPARAS	UNIDADES
1	150 W VSAP tubular amarillo	72
2	250 W VSAP tubular amarillo	20
3	400 W VSAP tubular amarillo	176

### **POTENCIA INSTALADA**

#### **HASTIAL DERECHO**

POTENCIA (W)	UNIDADES	POTENCIA INSTALADA (W)
150	36	5.400
250	10	2.500
400	132	52.800
<b>TOTAL</b>	<b>178</b>	<b>60.700</b>

#### **HASTIAL IZQUIERDO**

POTENCIA (W)	UNIDADES	POTENCIA INSTALADA (W)
150	36	5.400
250	10	2.500
400	132	52.800
<b>TOTAL</b>	<b>178</b>	<b>60.700</b>

#### **TOTAL**

POTENCIA (W)	UNIDADES	POTENCIA INSTALADA (W)
150	72	10.800
250	20	5.000
400	264	105.600
<b>TOTAL</b>	<b>356</b>	<b>121.400</b>

## **FICHA Nº28**

### **CARACTERÍSTICAS**

- TIPO DE ILUMINACIÓN: LED +VSAP.
- SECCIÓN TIPO: Bidireccional.
- LONGITUD: 1.000 m.
- $L_{TH}=150 \text{ cd/m}^2$ .

### **TIPO DE LUMINARIAS**

CLASE	LÁMPARAS	UNIDADES
1	80 W LED	104
2	250 W VSAP tubular amarillo	20
3	400 W VSAP tubular amarillo	264

### **POTENCIA INSTALADA**

#### **HASTIAL DERECHO**

POTENCIA (W)	UNIDADES	POTENCIA INSTALADA (W)
LED (80)	52	4.160
250	10	2.500
400	132	52.800
<b>TOTAL</b>	<b>194</b>	<b>59.460</b>

#### **HASTIAL IZQUIERDO**

POTENCIA (W)	UNIDADES	POTENCIA INSTALADA (W)
LED (80)	52	4.160
250	10	2.500
400	132	52.800
<b>TOTAL</b>	<b>194</b>	<b>59.460</b>

#### **TOTAL**

POTENCIA (W)	UNIDADES	POTENCIA INSTALADA (W)
LED (80)	104	8.320
250	20	5.000
400	264	105.600
<b>TOTAL</b>	<b>388</b>	<b>118.920</b>

## **FICHA Nº29**

### **CARACTERÍSTICAS**

- TIPO DE ILUMINACIÓN: VSAP.
- SECCIÓN TIPO: Unidireccional.
- LONGITUD: 1.500 m.
- $L_{TH}=150 \text{ cd/m}^2$ .

### **TIPO DE LUMINARIAS**

CLASE	LÁMPARAS	UNIDADES	
		CD	CI
1	150 W VSAP tubular amarillo	142	142
2	250 W VSAP tubular amarillo	10	10
3	400 W VSAP tubular amarillo	132	132

### **POTENCIA INSTALADA**

#### **CALZADA DERECHA**

POTENCIA (W)	UNIDADES	POTENCIA INSTALADA (W)
150	142	21.300
250	10	2.500
400	132	52.800
<b>TOTAL</b>	<b>284</b>	<b>76.600</b>

#### **CALZADA IZQUIERDA**

POTENCIA (W)	UNIDADES	POTENCIA INSTALADA (W)
150	142	21.300
250	10	2.500
400	132	52.800
<b>TOTAL</b>	<b>284</b>	<b>76.600</b>

## **FICHA Nº30**

### **CARACTERÍSTICAS**

- TIPO DE ILUMINACIÓN: LED + VSAP
- SECCIÓN TIPO: Unidireccional
- LONGITUD: 1.500 m.
- $L_{TH}=150 \text{ cd/m}^2$

### **TIPO DE LUMINARIAS**

CLASE	LÁMPARAS	UNIDADES	
		CD	CI
1	80 W LED	208	208
2	250 W VSAP tubular amarillo	10	10
3	400 W VSAP tubular amarillo	132	132

### **POTENCIA INSTALADA**

#### **CALZADA DERECHA**

POTENCIA (W)	UNIDADES	POTENCIA INSTALADA (W)
LED (80)	208	16.640
250	10	2.500
400	132	52.800
<b>TOTAL</b>	<b>350</b>	<b>71.940</b>

#### **CALZADA IZQUIERDA**

POTENCIA (W)	UNIDADES	POTENCIA INSTALADA (W)
LED (80)	208	16.640
250	10	2.500
400	132	52.800
<b>TOTAL</b>	<b>350</b>	<b>71.940</b>



## FICHA N°31

### CARACTERÍSTICAS

- TIPO DE ILUMINACIÓN: VSAP
- SECCIÓN TIPO: Bidireccional
- LONGITUD: 1.500 m.
- $L_{TH}=150 \text{ cd/m}^2$

### TIPO DE LUMINARIAS

CLASE	LÁMPARAS	UNIDADES
1	150 W VSAP tubular amarillo	124
2	250 W VSAP tubular amarillo	20
3	400 W VSAP tubular amarillo	264

### POTENCIA INSTALADA

#### HASTIAL DERECHO

POTENCIA (W)	UNIDADES	POTENCIA INSTALADA (W)
150	62	9.300
250	10	2.500
400	132	52.800
<b>TOTAL</b>	<b>204</b>	<b>64.600</b>

#### HASTIAL IZQUIERDO

POTENCIA (W)	UNIDADES	POTENCIA INSTALADA (W)
150	62	9.300
250	10	2.500
400	132	52.800
<b>TOTAL</b>	<b>204</b>	<b>64.600</b>

#### TOTAL

POTENCIA (W)	UNIDADES	POTENCIA INSTALADA (W)
150	124	18.600
250	20	5.000
400	264	105.600
<b>TOTAL</b>	<b>408</b>	<b>129.200</b>

## **FICHA Nº32**

### **CARACTERÍSTICAS**

- TIPO DE ILUMINACIÓN: LED + VSAP
- SECCIÓN TIPO: Bidireccional
- LONGITUD: 1.500 m.
- $L_{TH}=150 \text{ cd/m}^2$

### **TIPO DE LUMINARIAS**

CLASE	LÁMPARAS	UNIDADES
1	80 W LED	182
2	250 W VSAP tubular amarillo	20
3	400 W VSAP tubular amarillo	264

### **POTENCIA INSTALADA**

#### **HASTIAL DERECHO**

POTENCIA (W)	UNIDADES	POTENCIA INSTALADA (W)
LED (80)	91	7.280
250	10	2.500
400	132	52.800
<b>TOTAL</b>	<b>233</b>	<b>62.580</b>

#### **HASTIAL IZQUIERDO**

POTENCIA (W)	UNIDADES	POTENCIA INSTALADA (W)
LED (80)	91	7.280
250	10	2.500
400	132	52.800
<b>TOTAL</b>	<b>233</b>	<b>62.580</b>

#### **TOTAL**

POTENCIA (W)	UNIDADES	POTENCIA INSTALADA (W)
LED (80)	182	14.560
250	20	5.000
400	264	105.600
<b>TOTAL</b>	<b>466</b>	<b>125.160</b>

## **2.5 Croquis**

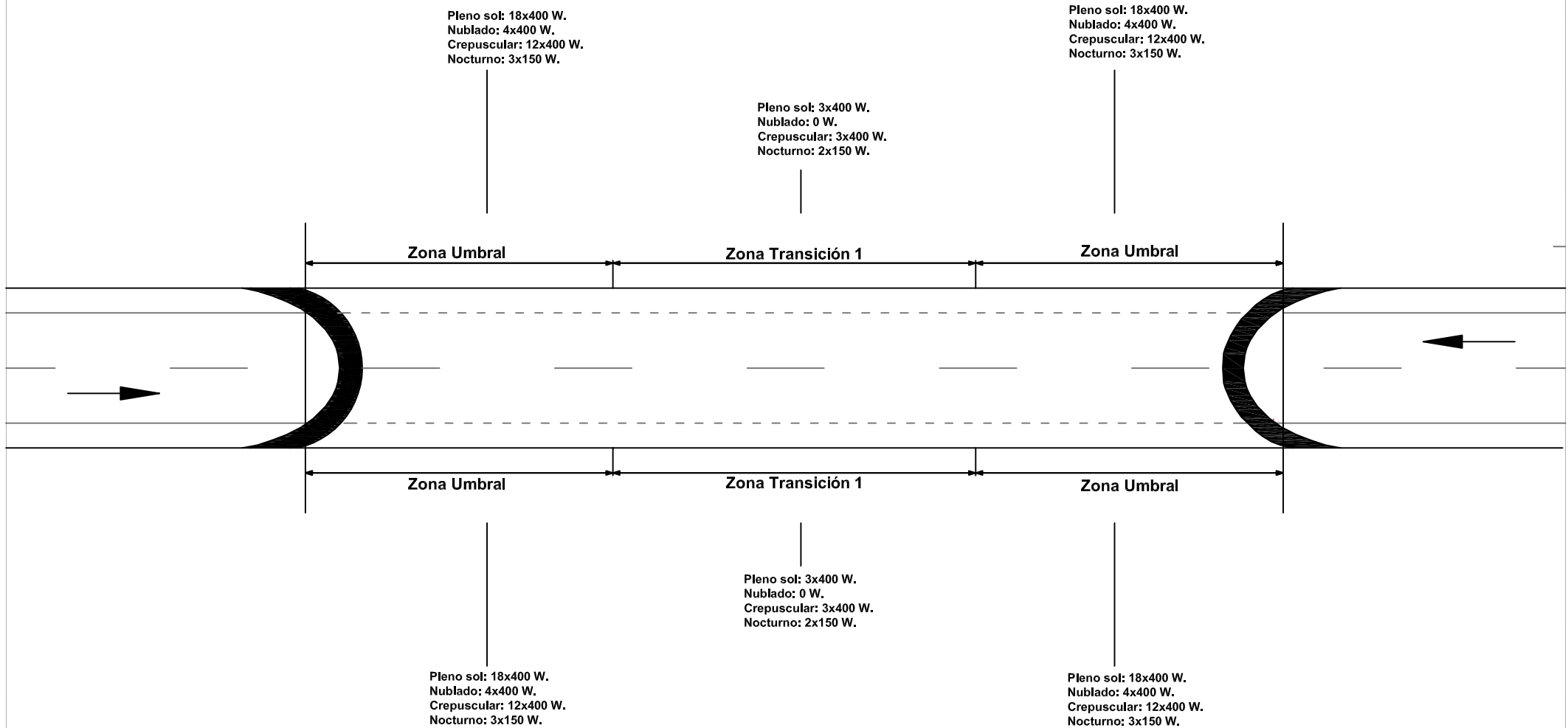
A continuación se muestran los croquis de los túneles tipo.



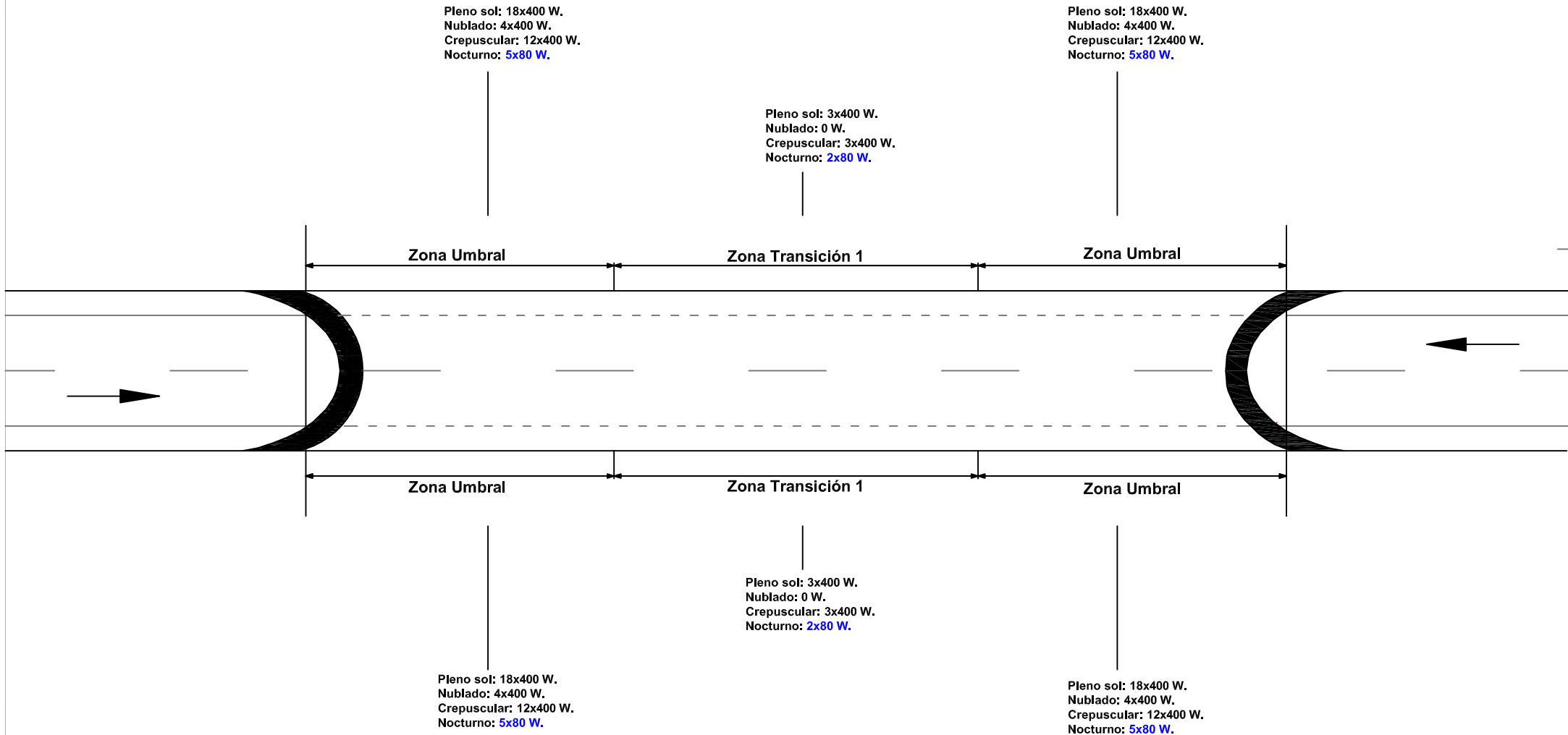




# TÚNEL TIPO Nº 3



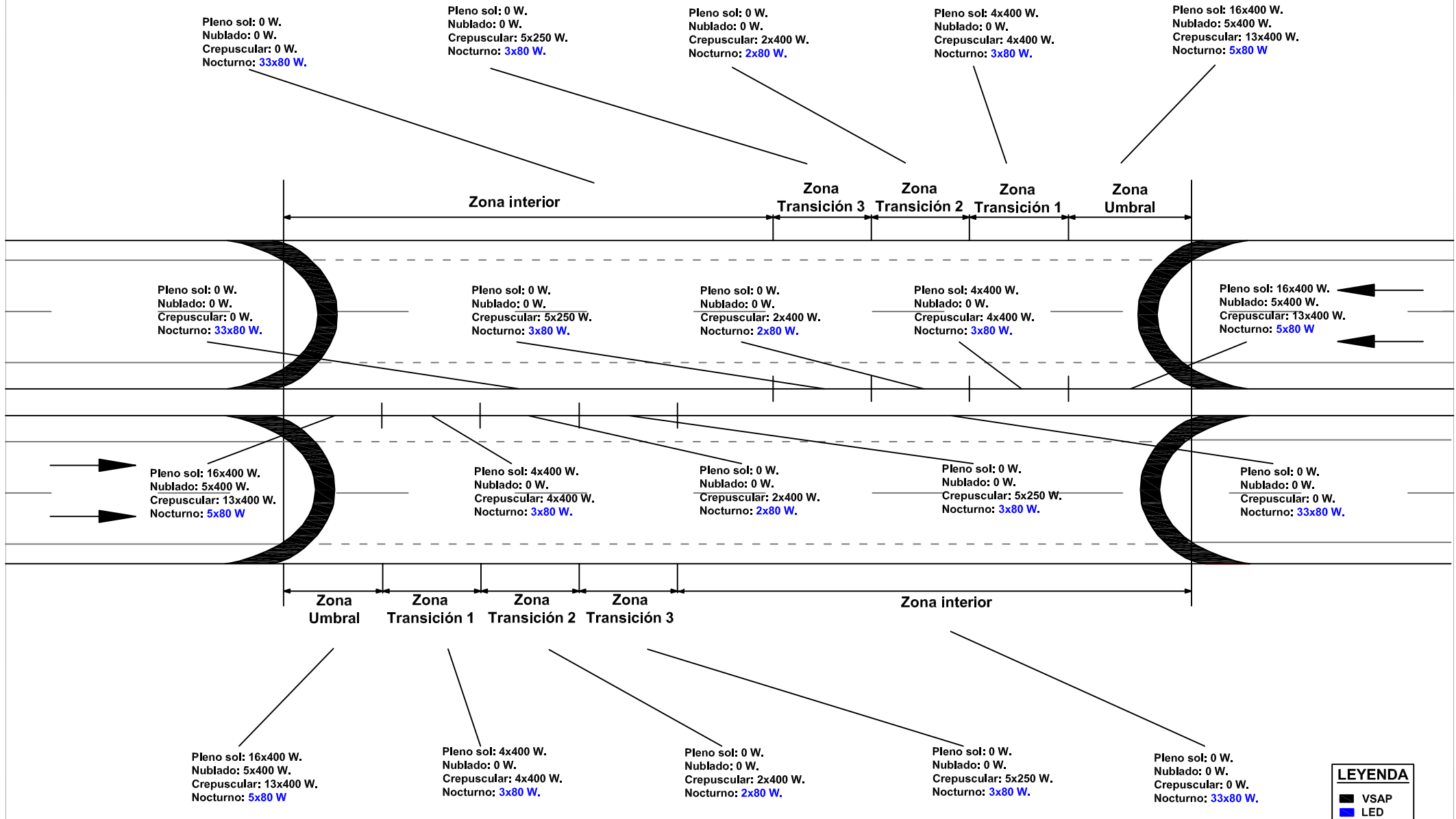
# TÚNEL TIPO N° 4



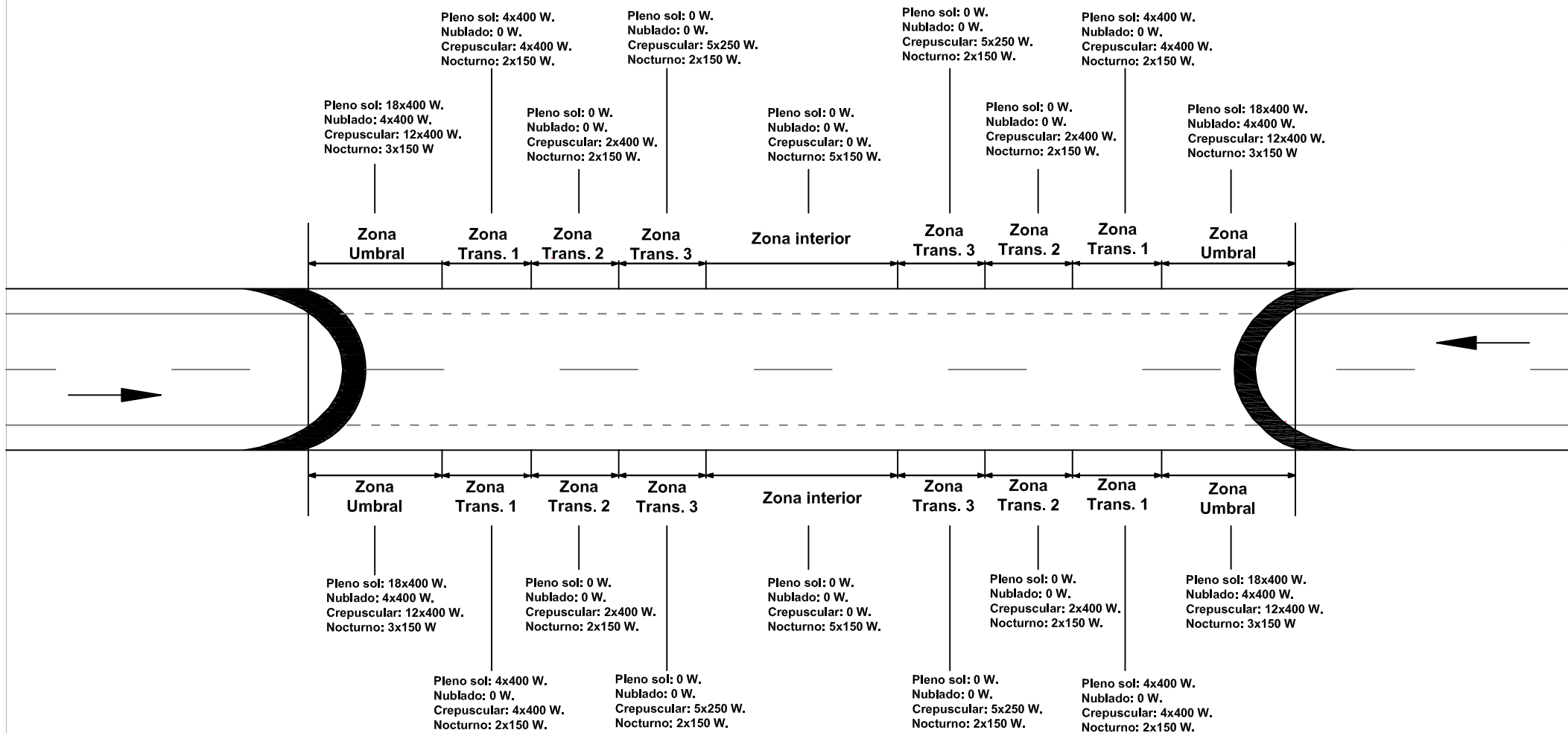




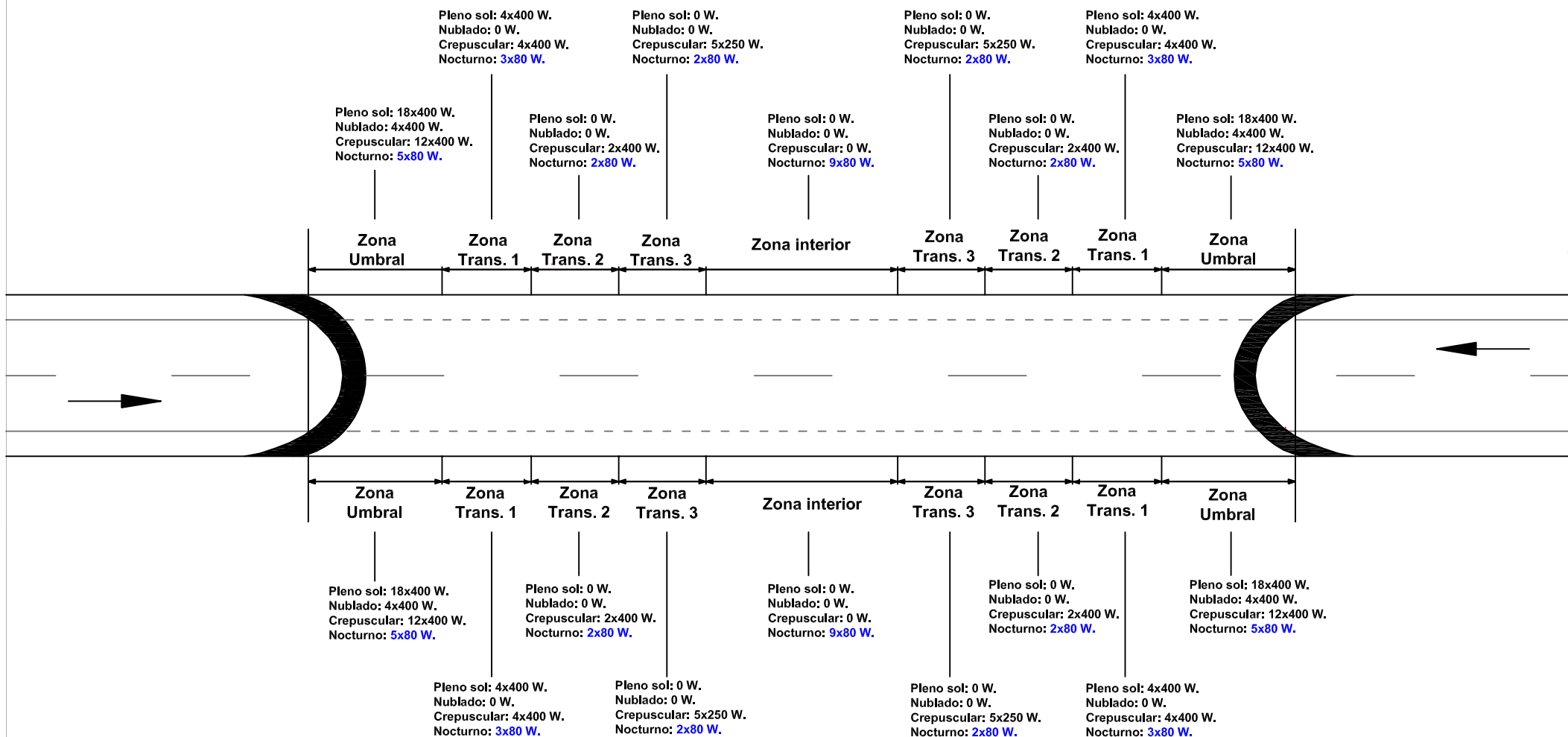
# TÚNEL TIPO Nº 6



# TÚNEL TIPO Nº 7



# TÚNEL TIPO N° 8





# TÚNEL TIPO N° 10

Pleno sol: 0 W.  
Nublado: 0 W.  
Crepuscular: 0 W.  
Nocturno: 52x80 W.

Pleno sol: 0 W.  
Nublado: 0 W.  
Crepuscular: 5x250 W.  
Nocturno: 3x80 W.

Pleno sol: 0 W.  
Nublado: 0 W.  
Crepuscular: 2x400 W.  
Nocturno: 2x80 W.

Pleno sol: 4x400 W.  
Nublado: 0 W.  
Crepuscular: 4x400 W.  
Nocturno: 3x80 W.

Pleno sol: 16x400 W.  
Nublado: 5x400 W.  
Crepuscular: 13x400 W.  
Nocturno: 5x80 W.

Pleno sol: 0 W.  
Nublado: 0 W.  
Crepuscular: 0 W.  
Nocturno: 52x80 W.

Pleno sol: 0 W.  
Nublado: 0 W.  
Crepuscular: 5x250 W.  
Nocturno: 3x80 W.

Pleno sol: 0 W.  
Nublado: 0 W.  
Crepuscular: 2x400 W.  
Nocturno: 2x80 W.

Pleno sol: 4x400 W.  
Nublado: 0 W.  
Crepuscular: 4x400 W.  
Nocturno: 3x80 W.

Pleno sol: 16x400 W.  
Nublado: 5x400 W.  
Crepuscular: 13x400 W.  
Nocturno: 5x80 W.

Pleno sol: 16x400 W.  
Nublado: 5x400 W.  
Crepuscular: 13x400 W.  
Nocturno: 5x80 W.

Pleno sol: 4x400 W.  
Nublado: 0 W.  
Crepuscular: 4x400 W.  
Nocturno: 3x80 W.

Pleno sol: 0 W.  
Nublado: 0 W.  
Crepuscular: 2x400 W.  
Nocturno: 2x80 W.

Pleno sol: 0 W.  
Nublado: 0 W.  
Crepuscular: 5x250 W.  
Nocturno: 3x80 W.

Pleno sol: 0 W.  
Nublado: 0 W.  
Crepuscular: 0 W.  
Nocturno: 52x80 W.

Zona Umbral    Zona Transición 1    Zona Transición 2    Zona Transición 3    Zona interior



Pleno sol: 16x400 W.  
Nublado: 5x400 W.  
Crepuscular: 13x400 W.  
Nocturno: 5x80 W.

Pleno sol: 4x400 W.  
Nublado: 0 W.  
Crepuscular: 4x400 W.  
Nocturno: 3x80 W.

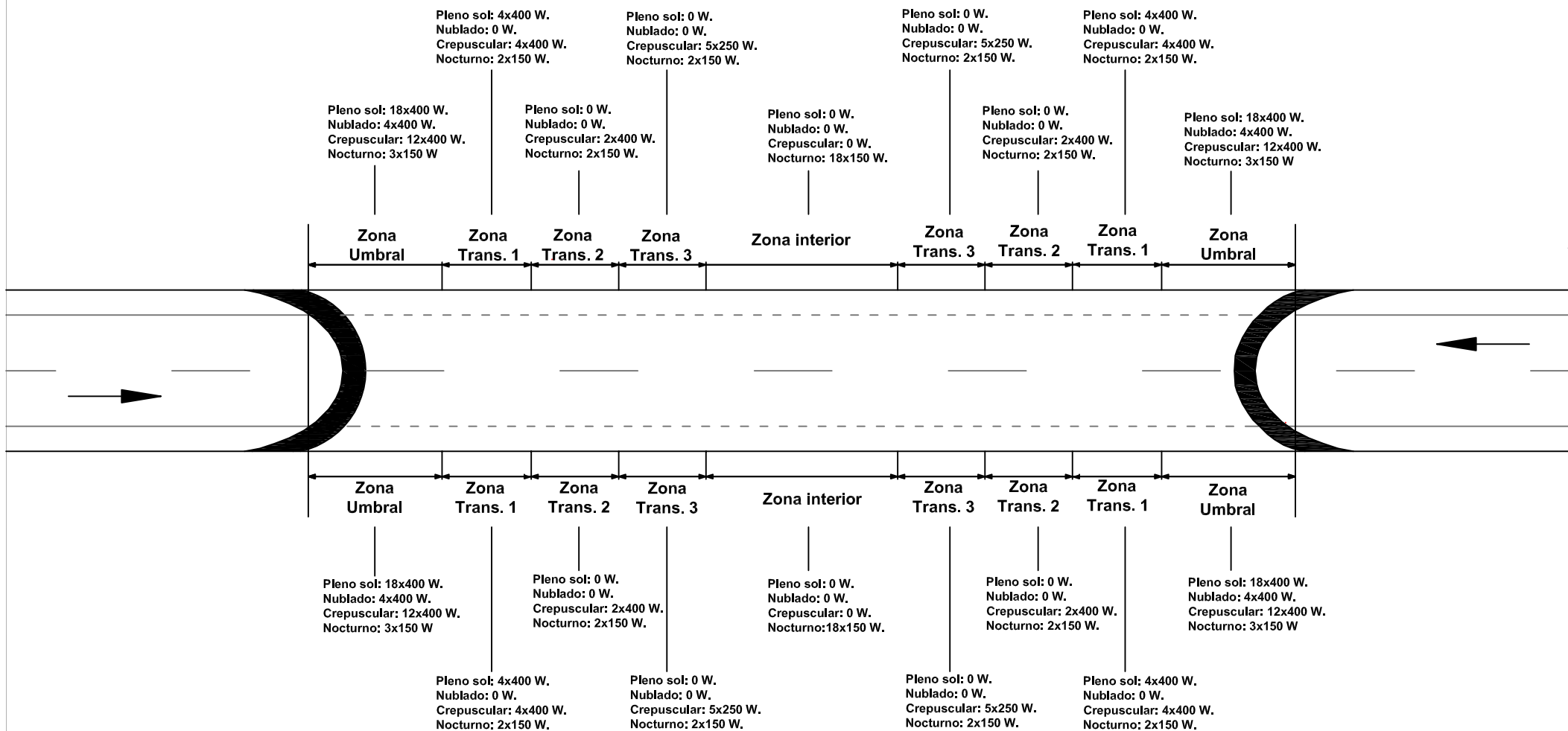
Pleno sol: 0 W.  
Nublado: 0 W.  
Crepuscular: 2x400 W.  
Nocturno: 2x80 W.

Pleno sol: 0 W.  
Nublado: 0 W.  
Crepuscular: 5x250 W.  
Nocturno: 3x80 W.

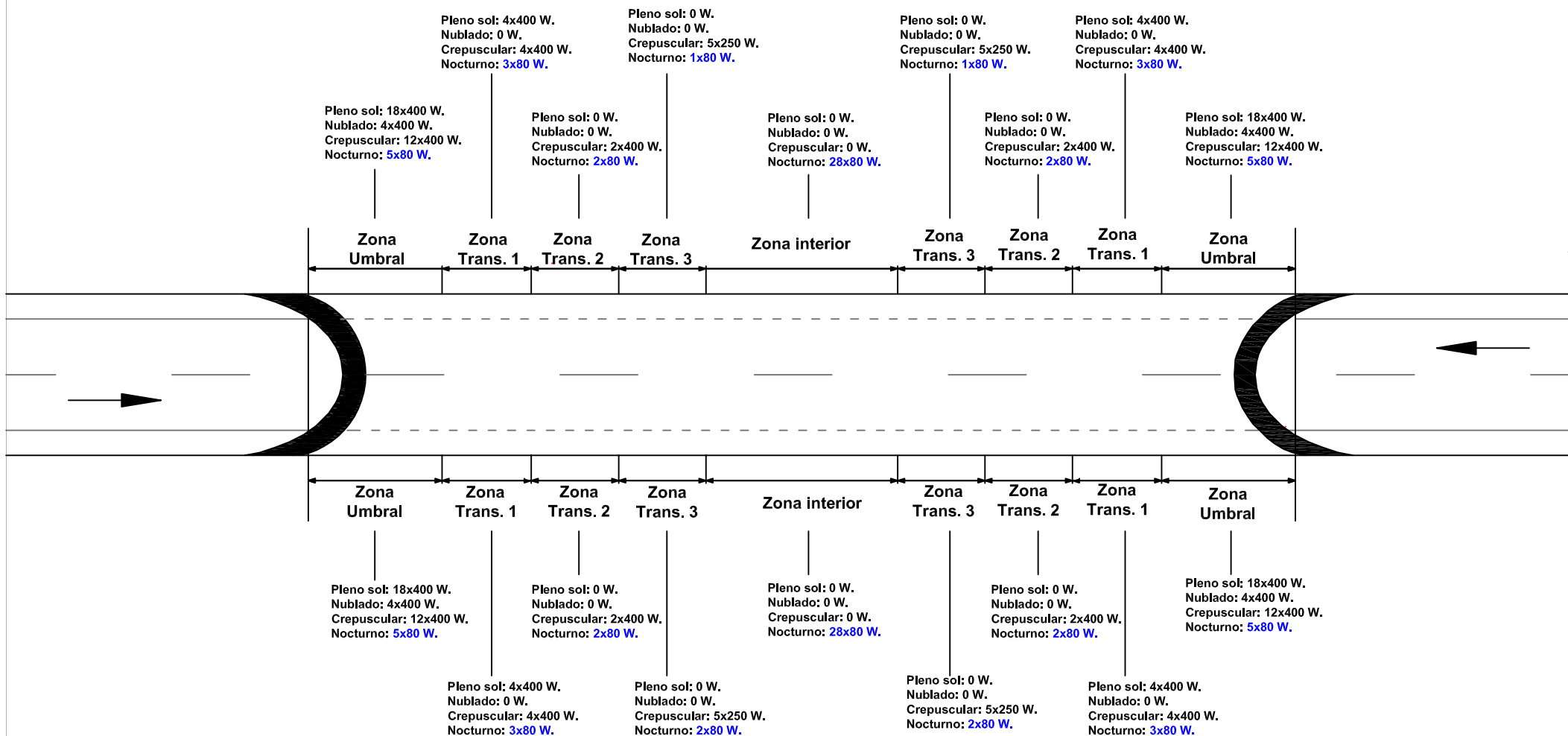
Pleno sol: 0 W.  
Nublado: 0 W.  
Crepuscular: 0 W.  
Nocturno: 52x80 W.

**LEYENDA**  
 VSAP  
 LED

# TÚNEL TIPO Nº 11

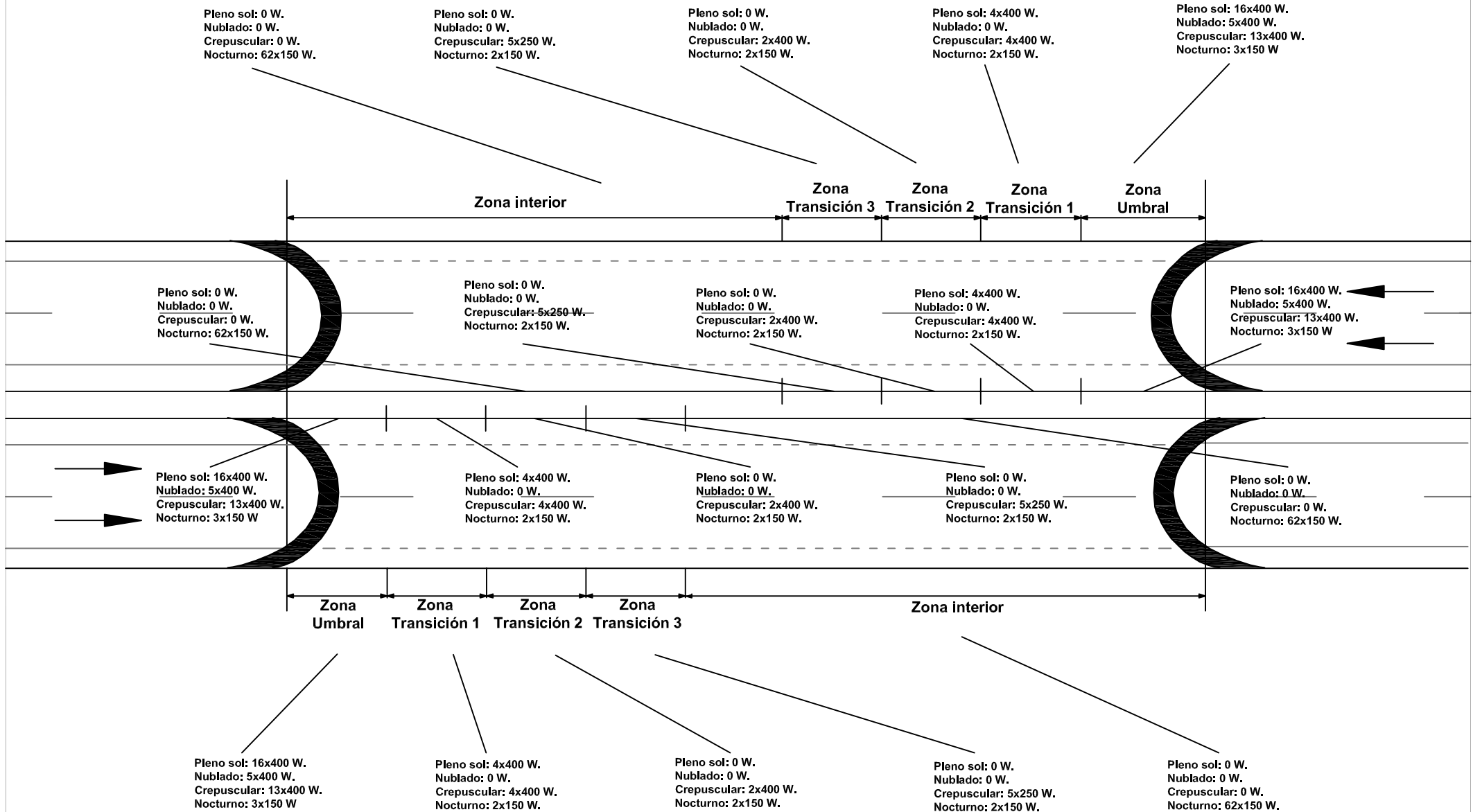


# TÚNEL TIPO Nº 12

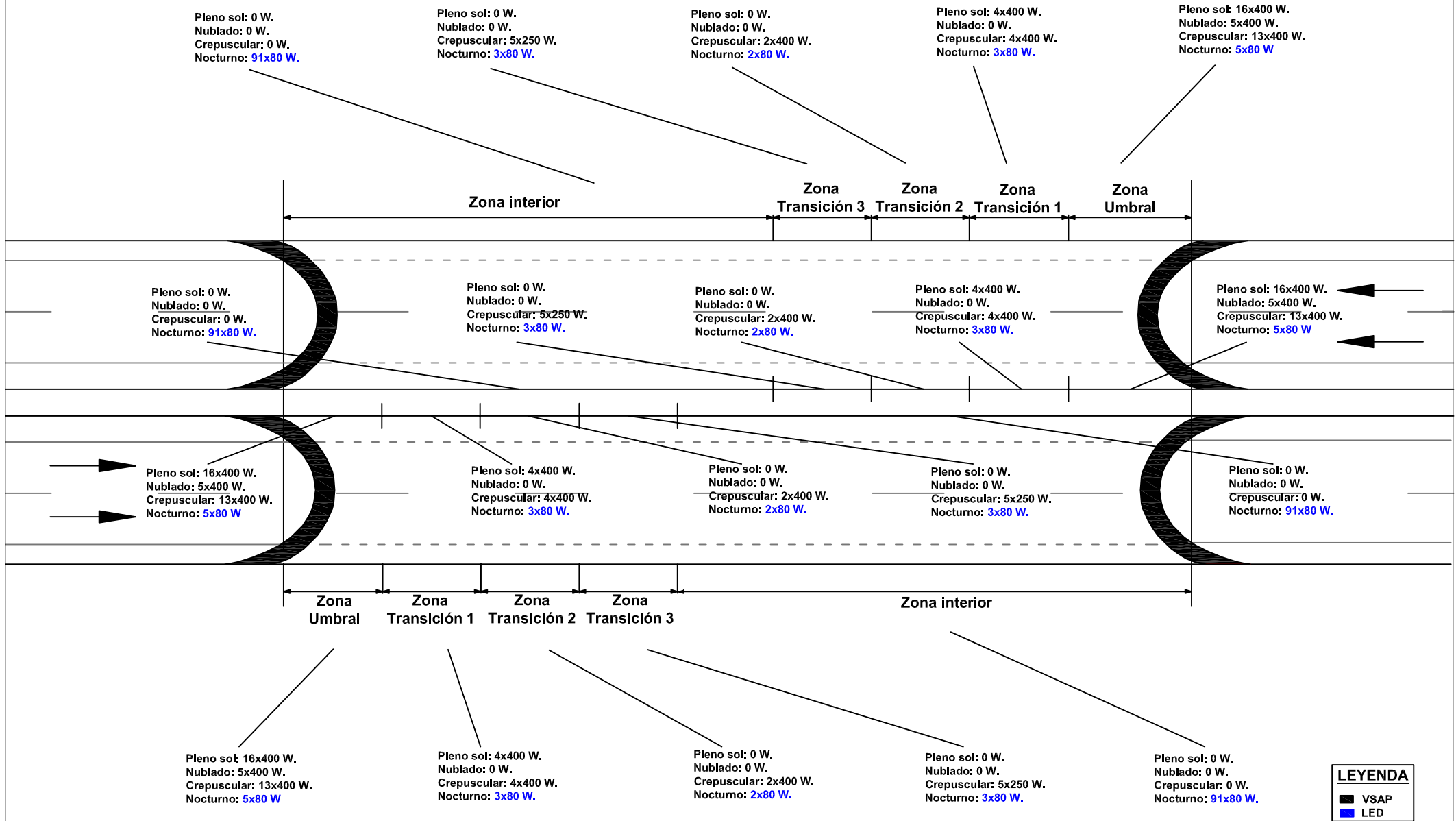




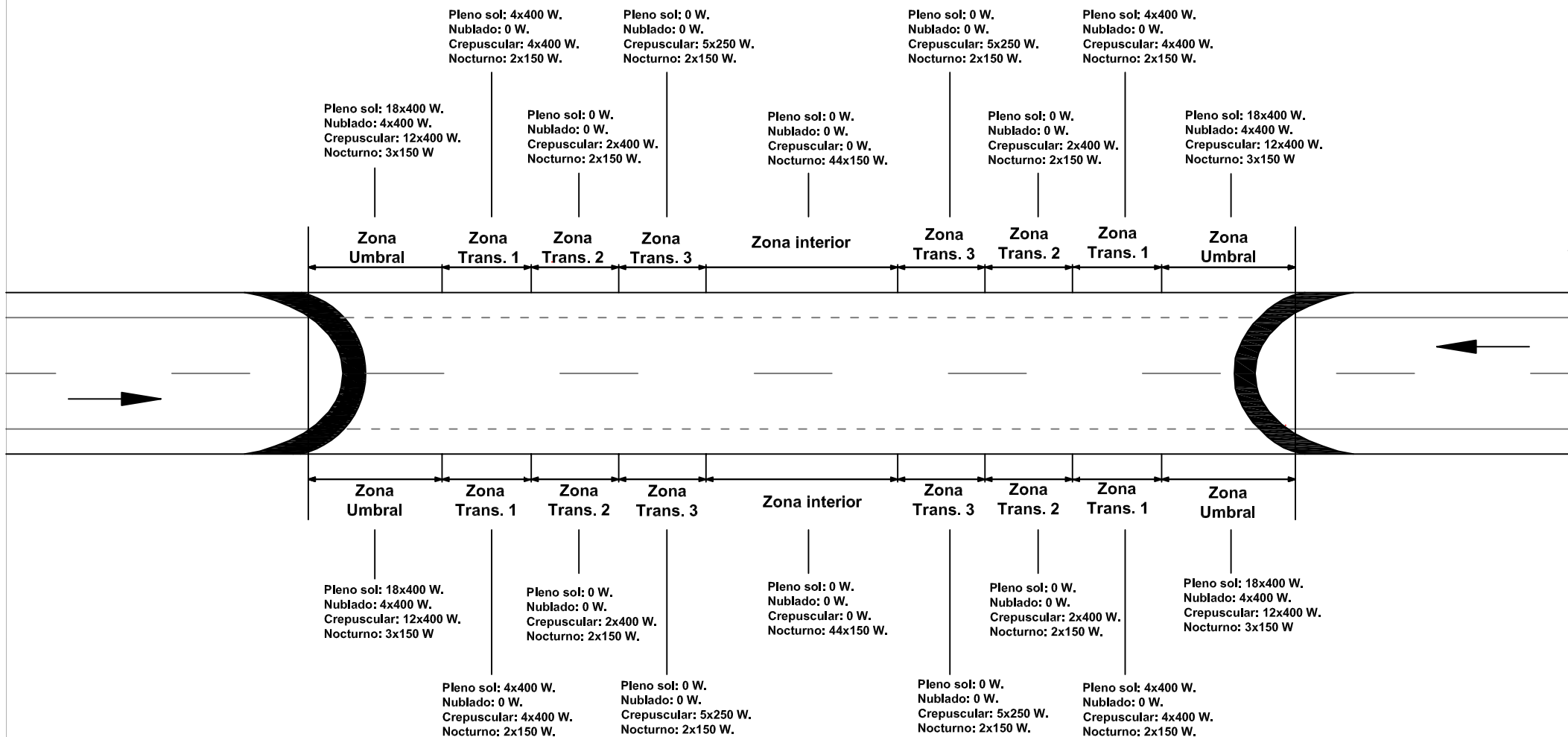
# TÚNEL TIPO Nº 13



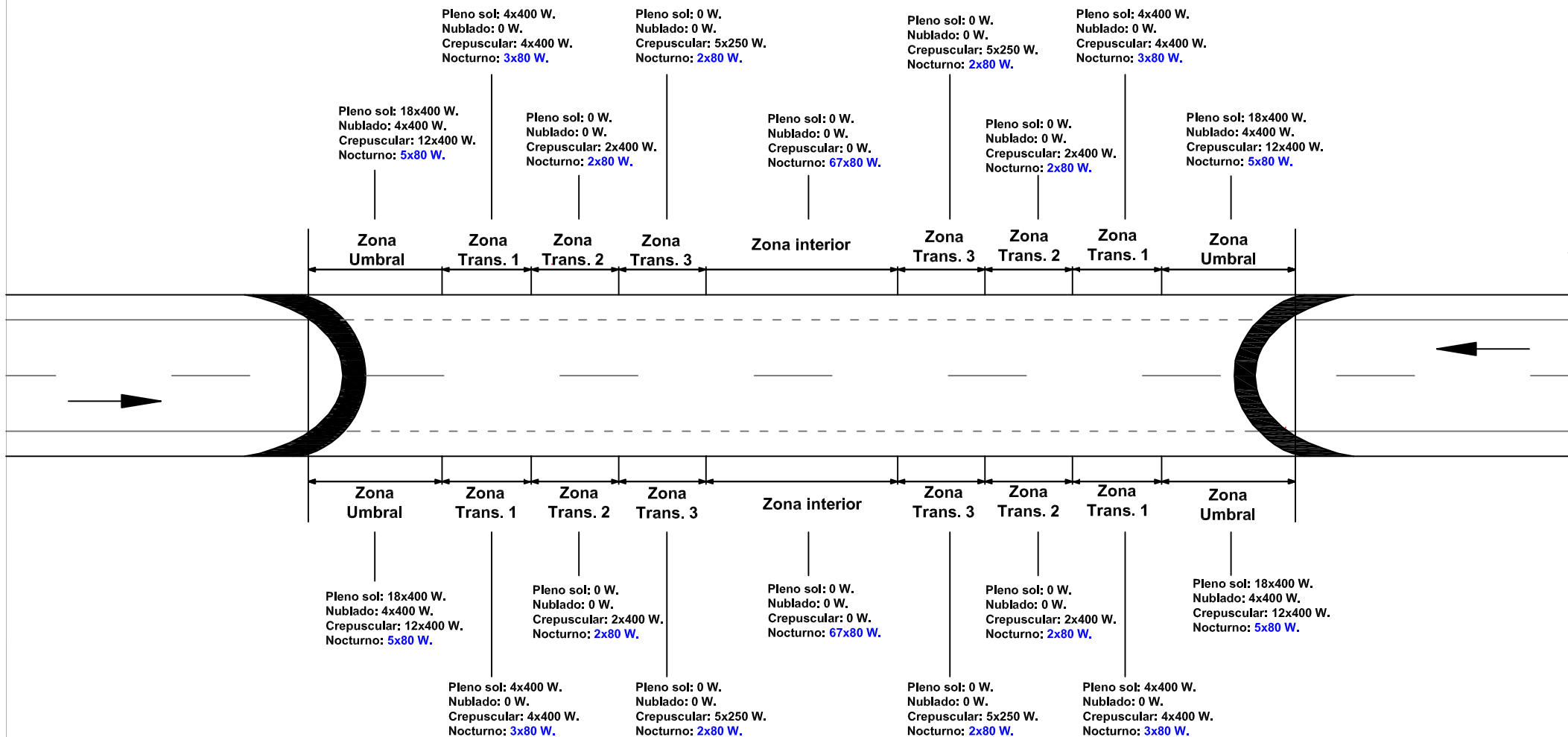
# TÚNEL TIPO Nº 14



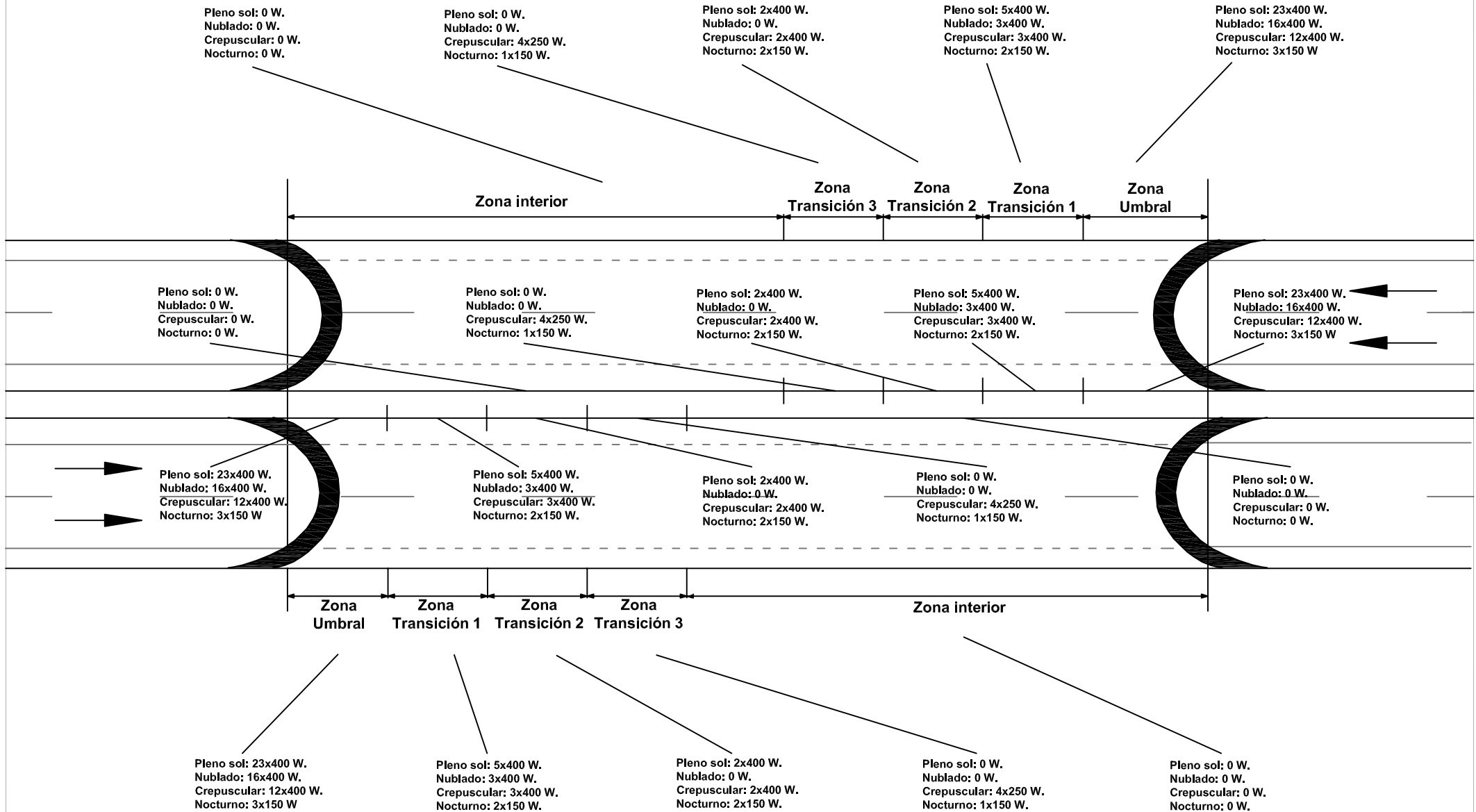
# TÚNEL TIPO Nº 15



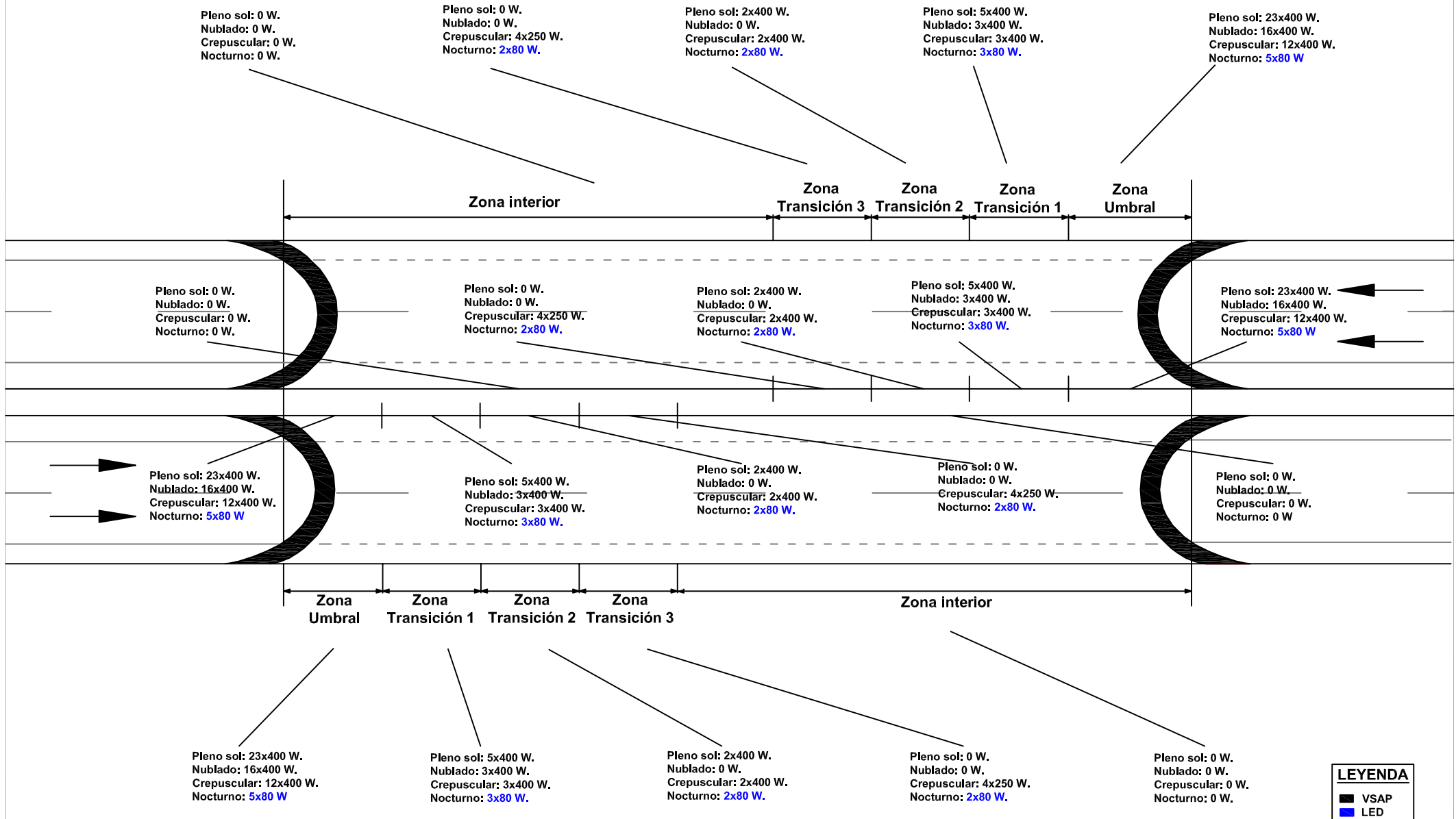
# TÚNEL TIPO Nº 16



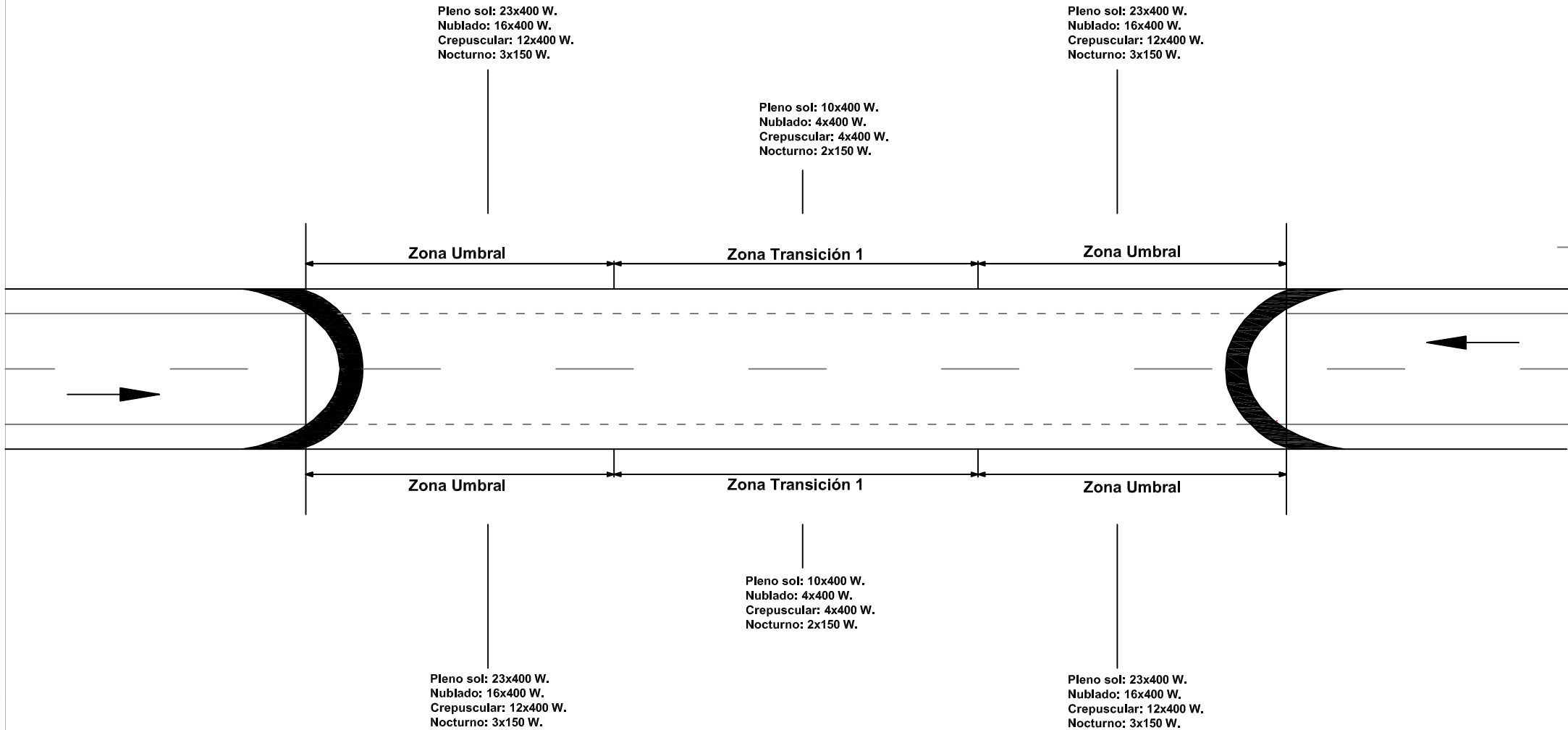
# TÚNEL TIPO Nº 17



# TÚNEL TIPO Nº 18



# TÚNEL TIPO N° 19

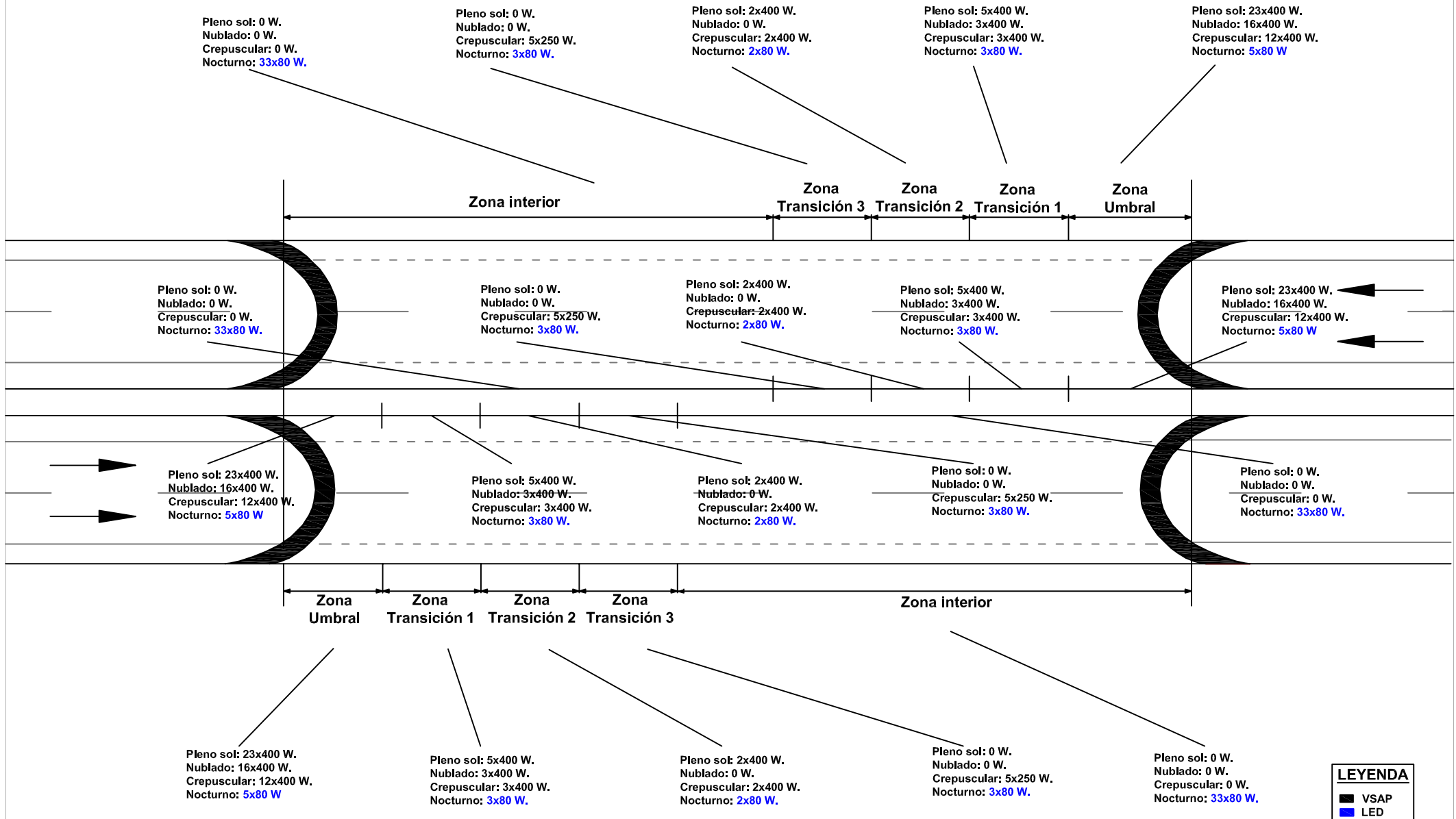








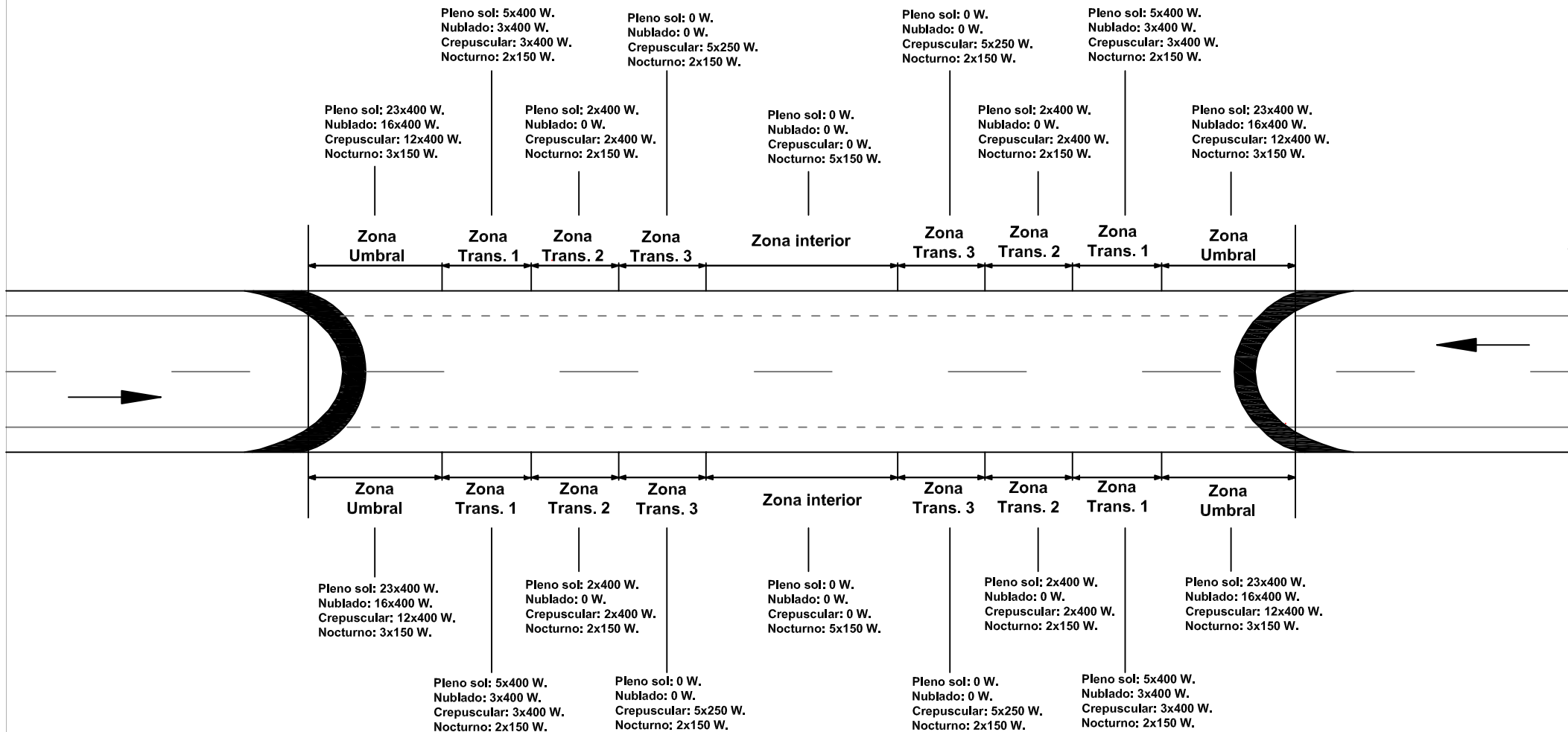
# TÚNEL TIPO Nº 22



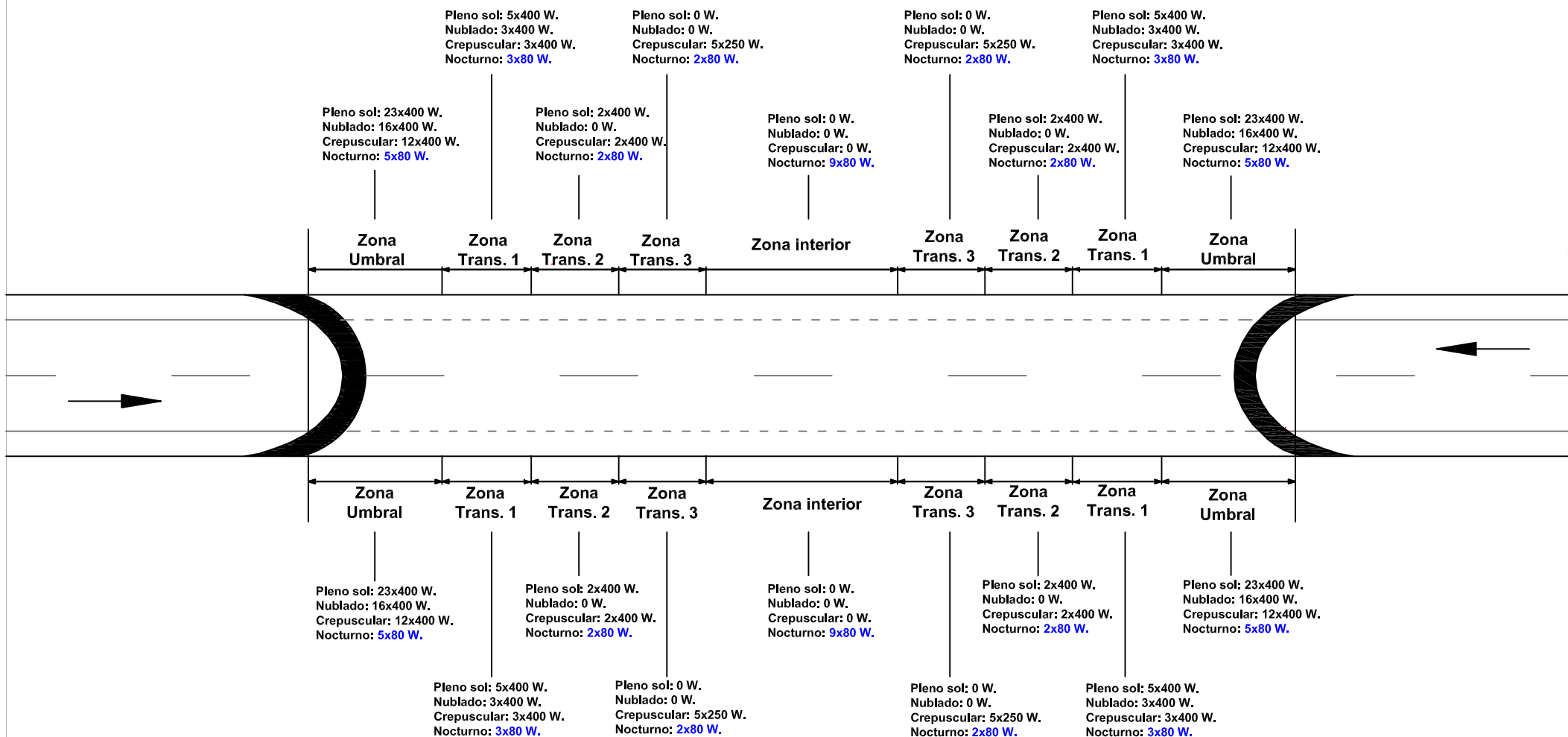
**LEYENDA**

- VSAP
- LED

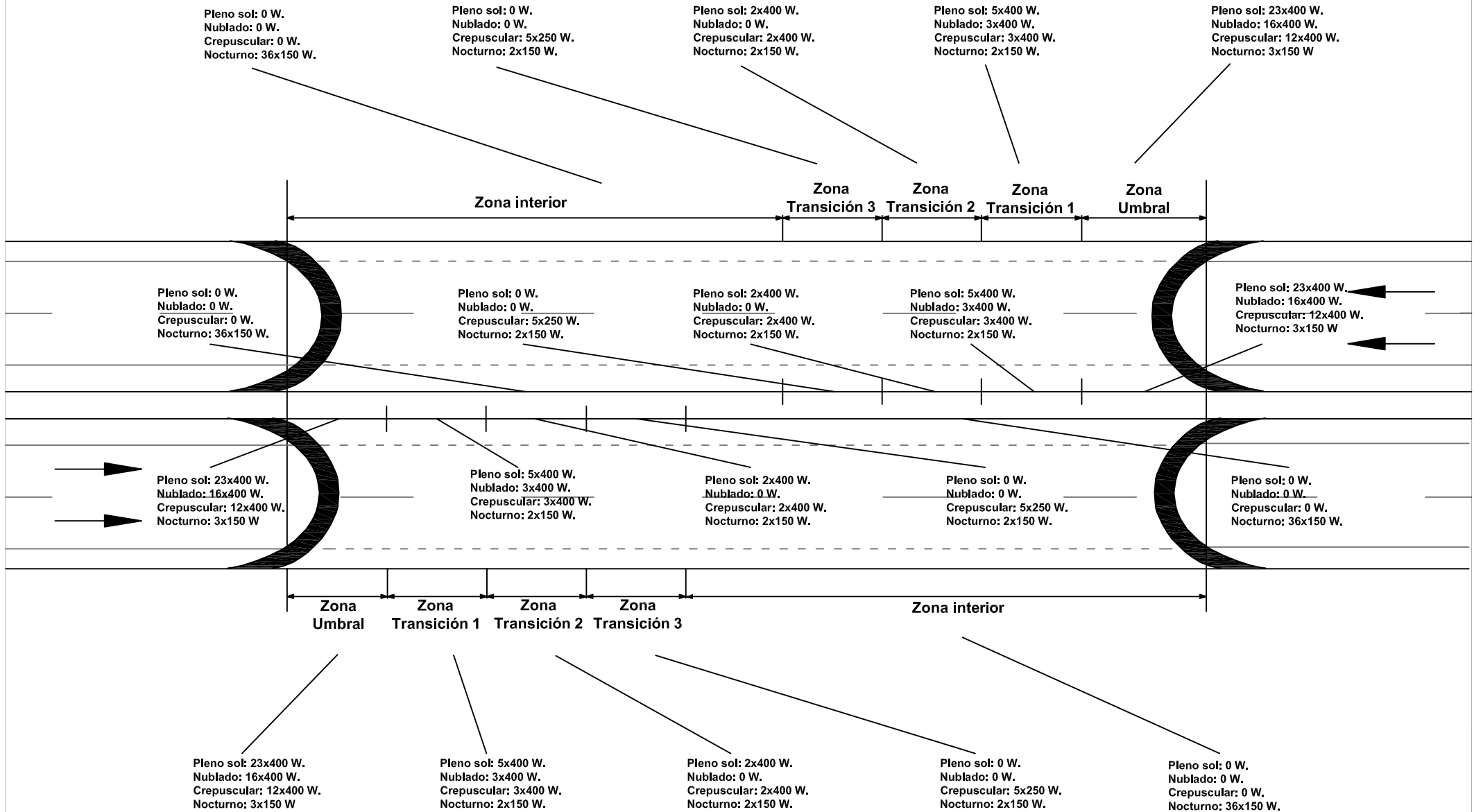
# TÚNEL TIPO Nº 23



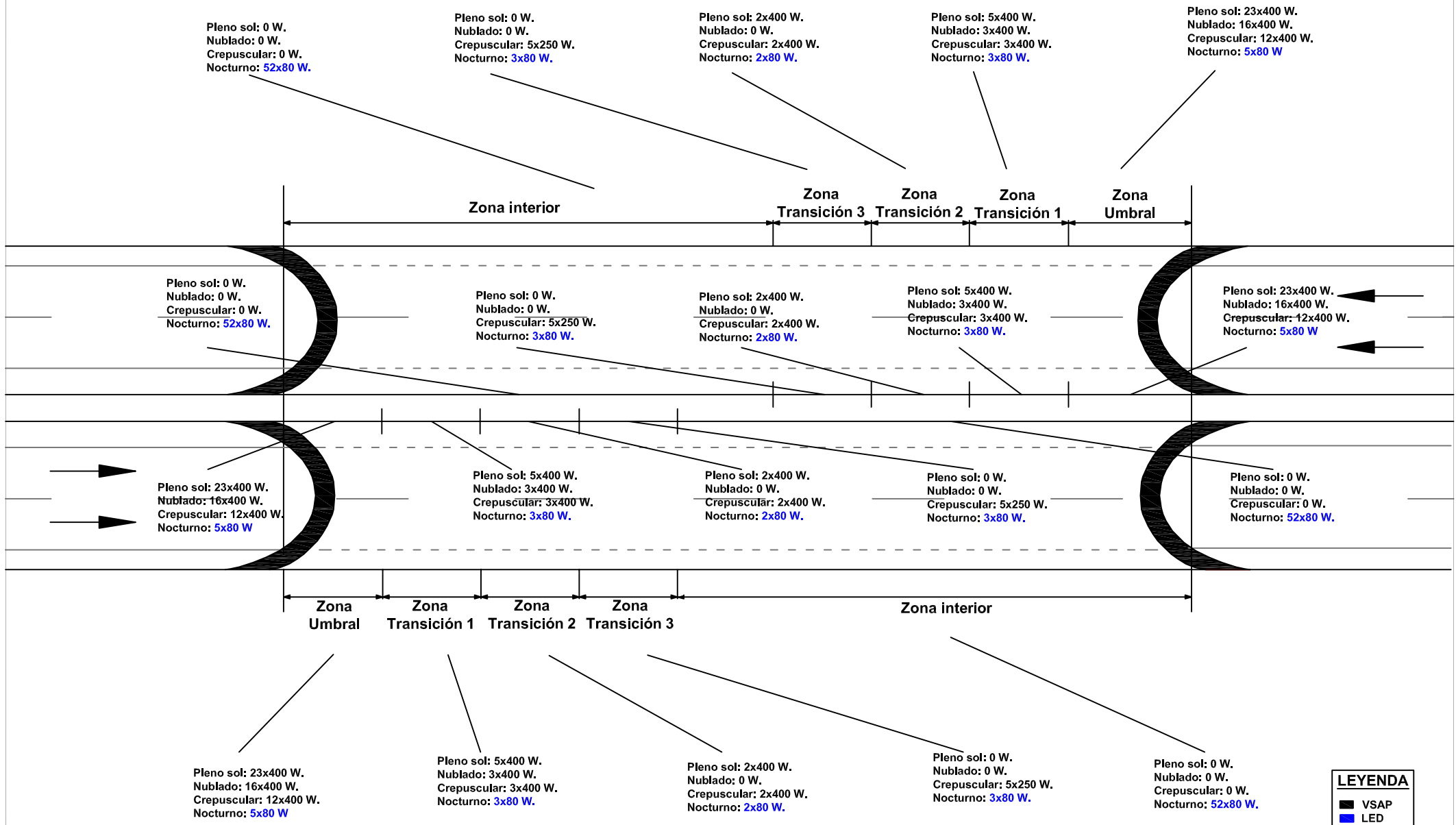
# TÚNEL TIPO Nº 24



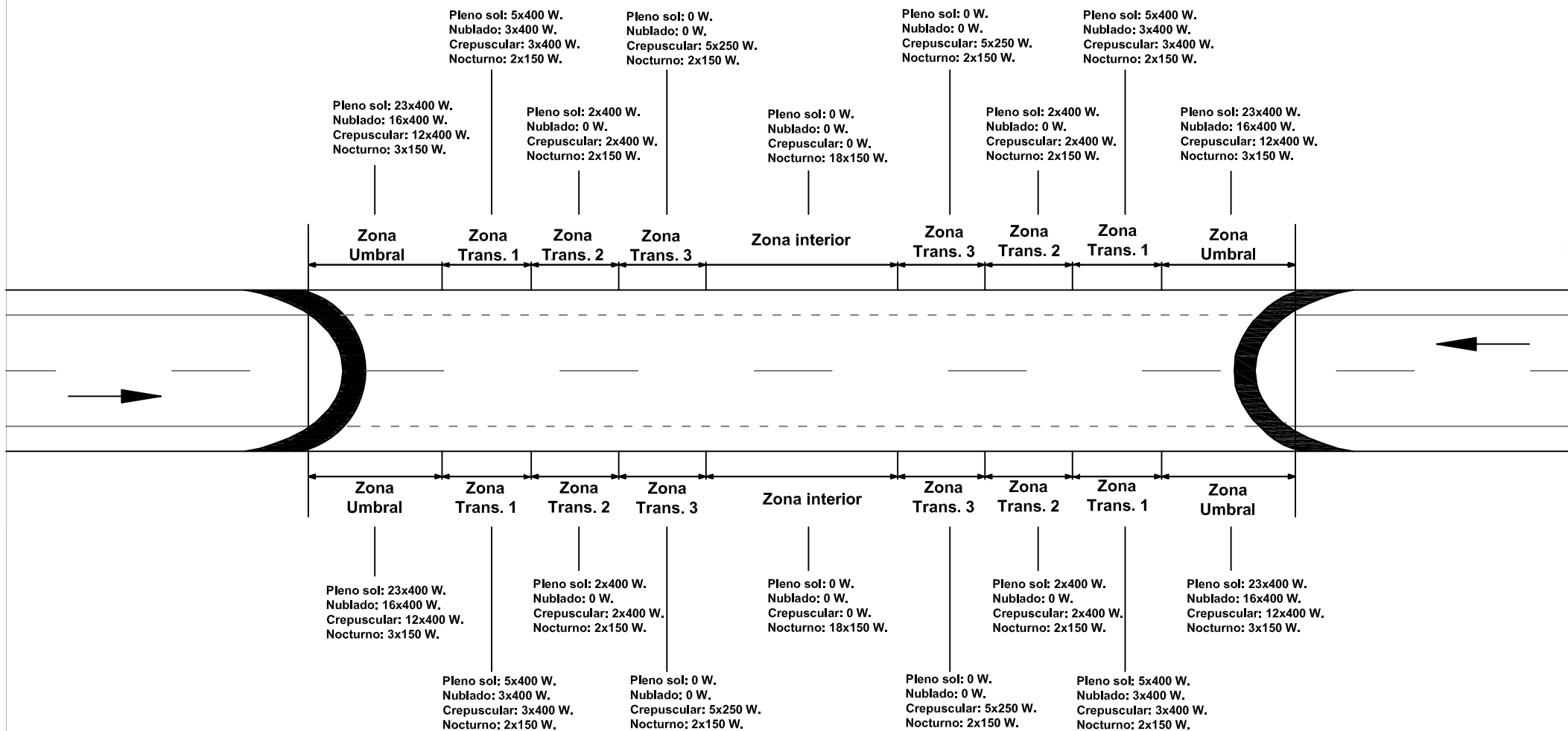
# TÚNEL TIPO Nº 25



# TÚNEL TIPO Nº 26



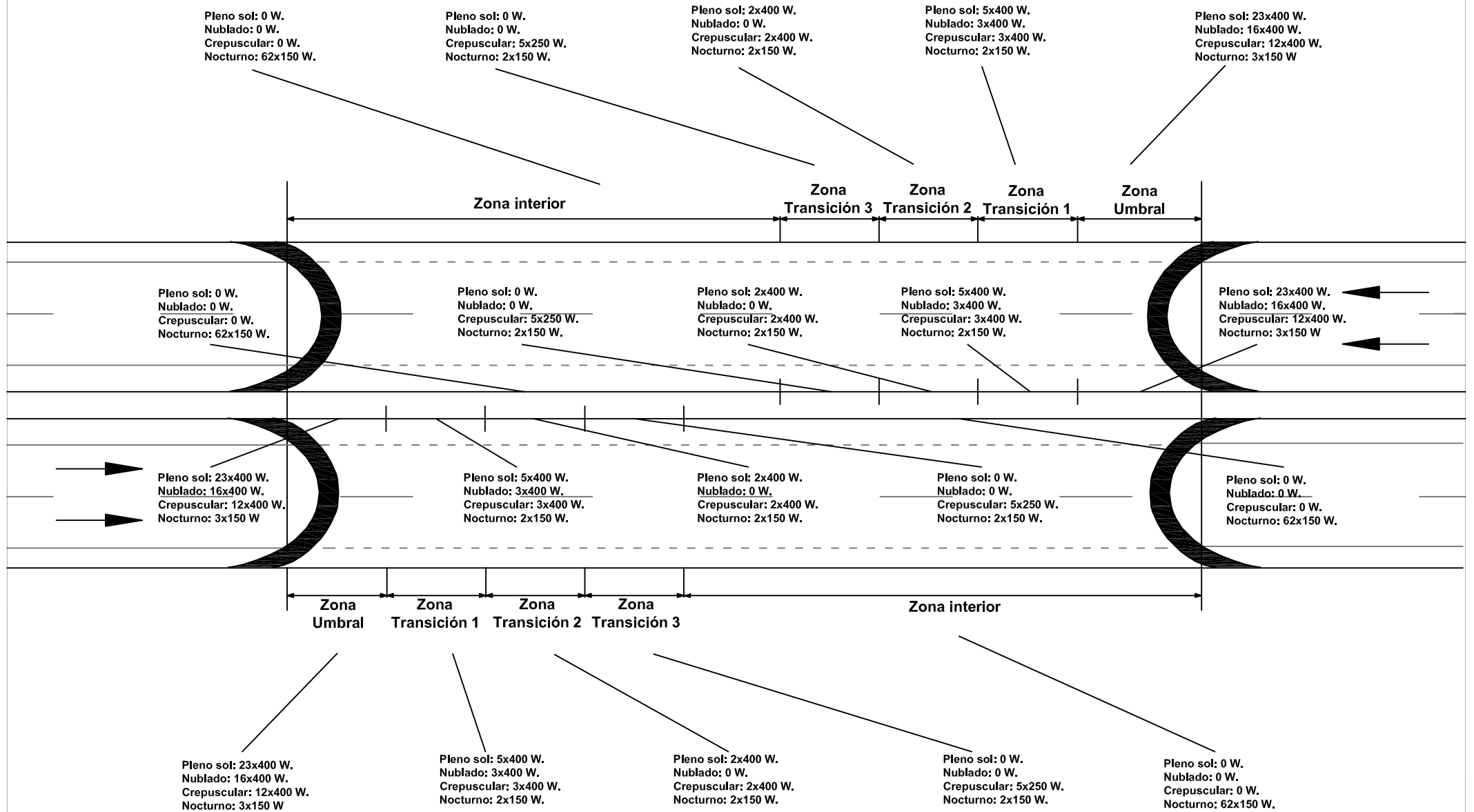
# TÚNEL TIPO Nº 27



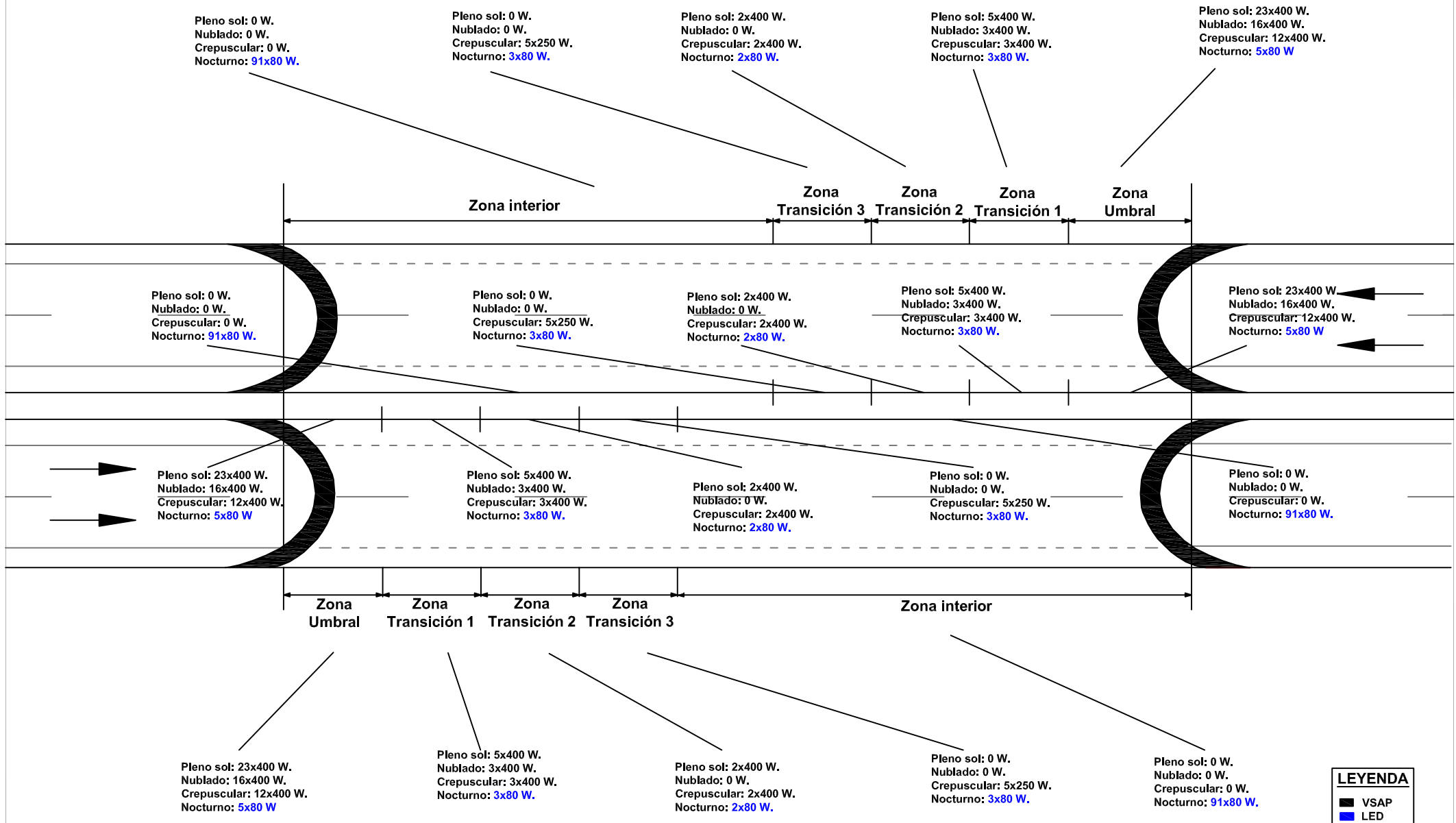




# TÚNEL TIPO Nº 29



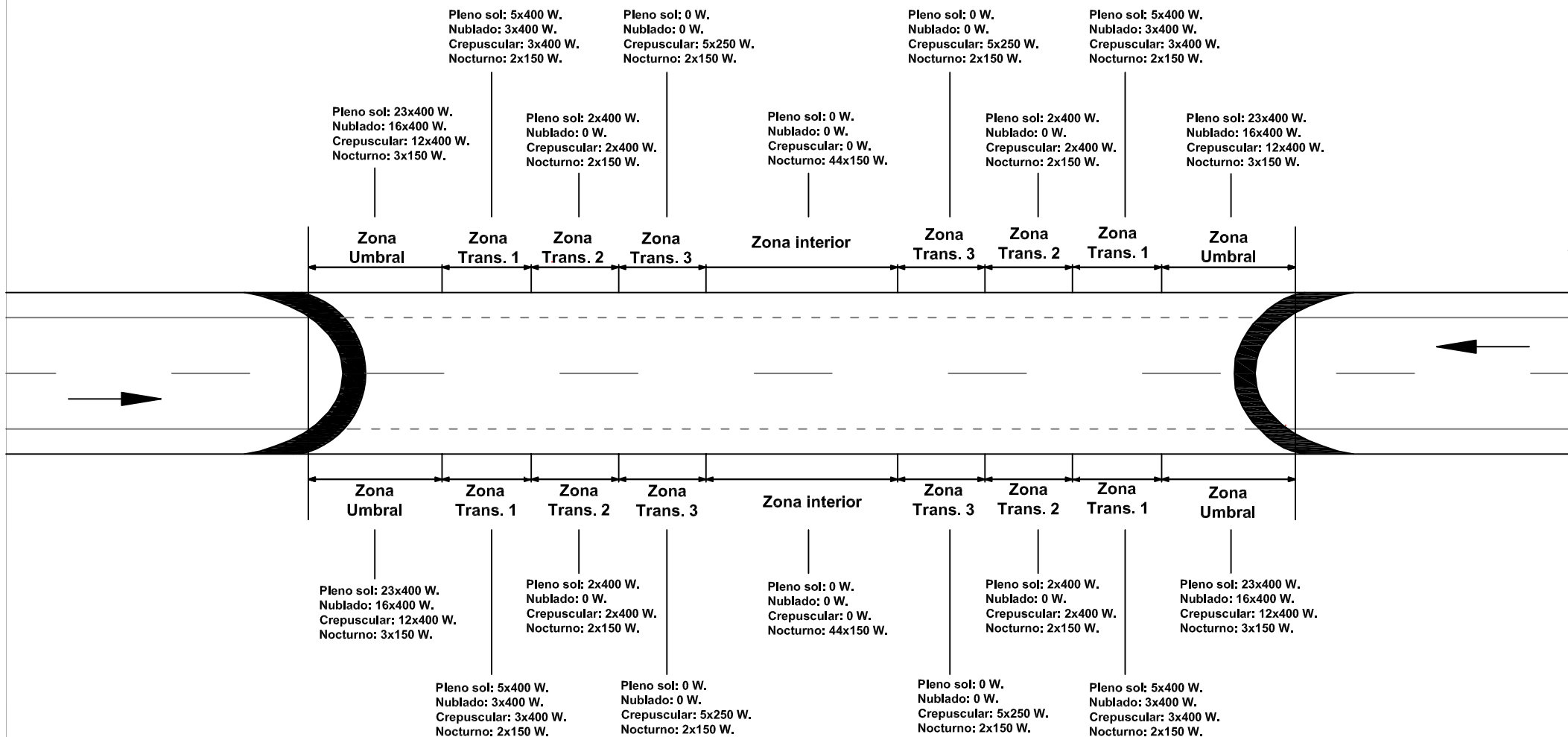
# TÚNEL TIPO Nº 30



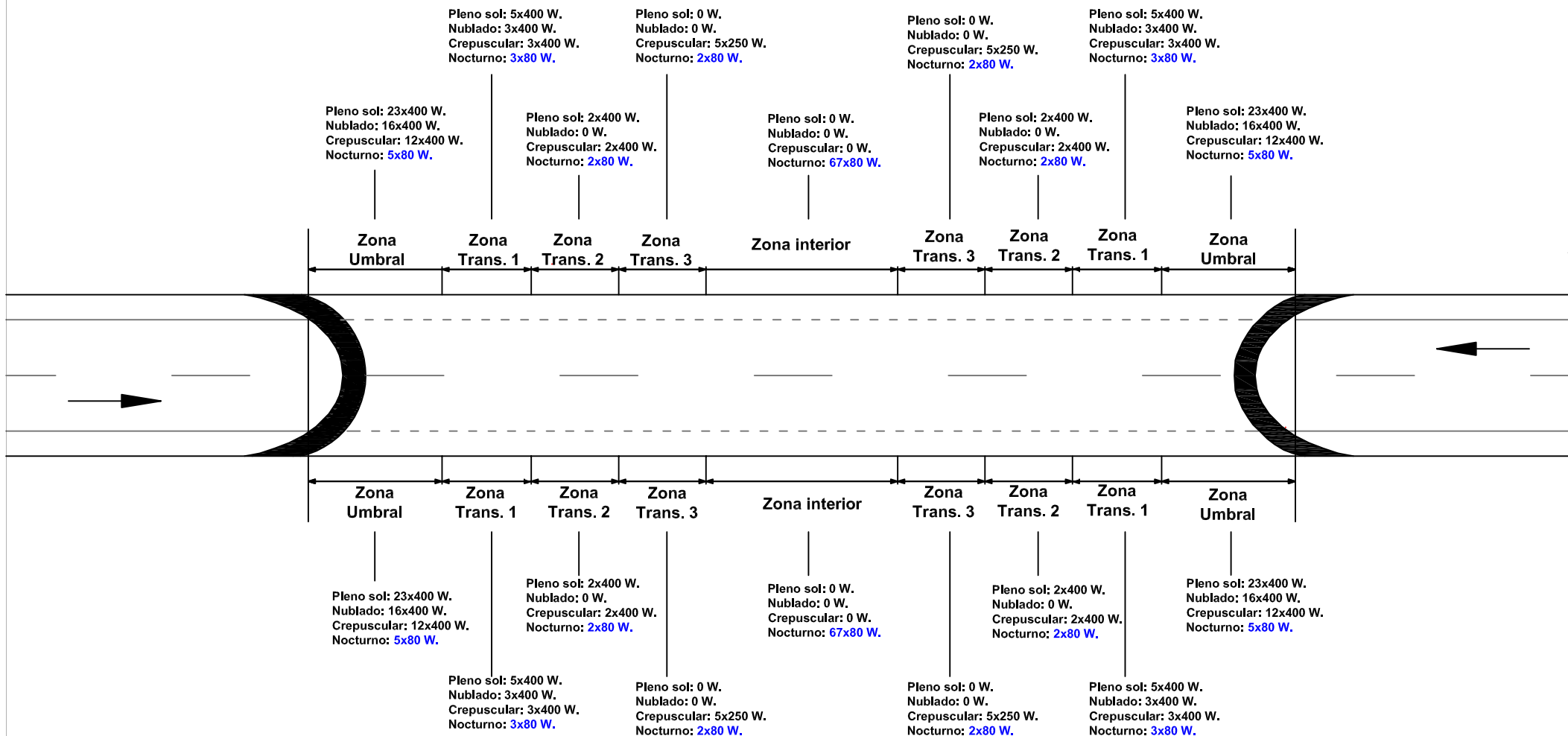
**LEYENDA**

- VSAP
- LED

# TÚNEL TIPO Nº 31



# TÚNEL TIPO Nº 32



### **3. EJEMPLOS DE MEJORA DE LA EFICIENCIA EN INSTALACIONES EXISTENTES**

Teniendo en cuenta el estado y antigüedad, así como las principales características de las instalaciones de túneles existentes en España, pertenecientes a la Red de Carreteras del Estado, se detallan a continuación algunas propuestas interesantes para conseguir mejoras sustanciales desde el punto de vista de la eficiencia energética de dichas instalaciones:

- Sustitución de componentes de la instalación.
- Mando de los regímenes de alumbrado.
- Sistemas de regulación de flujo y consumo de los puntos de luz.
- Organización y mejora de la explotación.

#### **3.1. Sustitución de componentes de la instalación**

Como elementos más importantes sobre los que se pueden acometer mejoras en dichas instalaciones hay que considerar principalmente:

- Las fuentes de luz y los equipos eléctricos auxiliares.
- Las luminarias.

##### **3.1.1 Fuentes de luz y equipos eléctricos auxiliares**

En los túneles existentes hay principalmente 3 tipos de fuentes de luz:

- Lámparas fluorescentes (en poca cantidad).
- Lámparas de sodio a baja presión (en poca cantidad).
- Lámpara de sodio alta presión (masivamente).

Las lámparas fluorescentes existentes pertenecen a la generación de los tubos de 26 mm de diámetro con balastos inductivos y se han empleado principalmente en los alumbrados de régimen permanente, nocturno y de media noche. Pueden ser reemplazadas en la actualidad, tanto la lámpara como el equipo por la nueva generación de lámparas T-5 de 16 mm de diámetro, con balasto electrónico regulable, de tal manera que se mejoren los siguientes aspectos:

- Eficacia luminosa que pasaría de 65-70 lm/w (lámpara + equipo) a 90-95 lm/w (lámpara + equipo), es decir se podría ahorrar un 25-30% del consumo total debido a estas lámparas.
- Duración de vida, que pasaría de unas 30.000 horas a unas 45.000 horas, prolongando un 50% más la vida de las lámparas:
- Se puede regular su flujo luminoso y consumo de manera progresiva, pudiendo reducir los niveles permanente, nocturno y de media noche en la medida que se desee, consiguiéndose al menos un 20 -25% adicional de ahorro.

El resultado final podría llegar a ser de un ahorro del orden de un 40-45% en el consumo de las luminarias provistas de este tipo de lámparas fluorescentes.

Las lámparas de sodio a baja presión, con balasto inductivo auto transformador (de grandes pérdidas) y luminarias de gran longitud (aprox. 1,20 m) deberían ser reemplazadas en su conjunto, con equipo y luminaria incluidos por luminarias con lámparas de sodio alta presión y balastos electrónicos regulables en el caso de alumbrados de refuerzo, consiguiéndose:

- Una mejora de la eficacia luminosa que pasaría de 65-70 lm/w (lámpara + equipo) a 90-95 lm/w (lámpara + equipo), es decir se podría ahorrar un 25-30% del consumo total debido a estas lámparas.
- Una mayor duración de vida, que pasaría de unas 30.000 horas a unas 45.000 horas, prolongando un 50% más la vida de las lámparas.
- Una regulación de su flujo luminoso y consumo de manera progresiva, pudiendo reducir los tramos de refuerzo de mayor nivel en el túnel, es decir en los tramos de umbral y transición, con lo que la reducción podría llegar a valores de un 30 - 35% adicional.

El resultado final podría llegar a ser de un ahorro del orden de un 50-55% en el consumo de las luminarias provistas de este tipo de lámparas de sodio a baja presión.

Las lámparas de sodio alta presión con balasto inductivo y luminaria podrían ser reemplazadas de las siguientes maneras.

En todos los tramos del túnel, reemplazando los equipos eléctricos auxiliares de tipo inductivo:

- Por balastos electrónicos regulables, reduciendo las pérdidas en el equipo en un 10 – 15%;
- Además de esta forma se podría regular su flujo luminoso y consumo de cada punto de luz de manera progresiva, pudiendo reducir los niveles en todo el túnel, es decir en los tramos de umbral, transición e interior, con lo que la reducción podría llegar a valores de un 20 - 25% adicional.

El resultado final podría llegar a ser de un ahorro del orden de un 30-35% en el consumo de las luminarias provistas de este tipo de lámparas de sodio alta presión.

En el alumbrado de régimen permanente, alumbrado nocturno y media noche, por luminarias con LED y fuentes de alimentación regulables, consiguiéndose:

- Una eficacia luminosa equivalente (lámpara + equipo).
- Una duración de vida, que pasaría de unas 45.000 horas a unas 70.000 horas, prolongando un 50% más la vida de las lámparas.
- Una regulación del flujo luminoso y consumo de manera progresiva, pudiendo reducir los consumos en un 35 - 40% adicional.

El resultado final podría llegar a ser de un ahorro del orden de un 35-40% en el consumo de las luminarias provistas de este tipo de lámparas de sodio alta presión.

### 3.1.2 Luminarias

La sustitución de las luminarias instaladas hoy en día en los túneles iluminados constituye un problema de coste de mano de obra además de la inversión en materiales de las nuevas luminarias.

La decisión sobre su reemplazamiento depende por tanto de que los ahorros conseguidos sean amortizables en un corto plazo de tiempo (inferior a 3 años), por lo que la justificación deberá ser fácil y claramente evaluable.

No obstante, la experiencia indica que puede ser rentable en los 2 últimos casos enunciados en el apartado anterior, es decir:

- En luminarias de sodio a baja presión por luminarias de sodio a alta presión y balasto electrónico regulable.
- En luminarias de sodio alta presión por luminarias con LED y fuente de alimentación regulable para alumbrados permanente, nocturno y media noche.

### **3.2. Mando de los regímenes de alumbrado**

Se hace ahora referencia al reemplazamiento del sistema de mando de los diferentes regímenes de alumbrado que en casi todos los túneles iluminados en la actualidad, salvo en uno o dos se ha hecho siempre mediante célula fotoeléctrica para evaluar la luminancia de acceso  $L_{20}$ , con los consiguientes errores descritos en el texto principal de estas Recomendaciones, por un luminancímetro de mando por boca de túnel, si éste es bidireccional o con uno solo por túnel si éste es unidireccional.

Este sistema de mando que ha sido ampliamente descrito da origen a una determinación de un parámetro mucho mejor ligado a la visión de un conductor de un vehículo. La valoración del ahorro conseguido mediante este tipo de dispositivo de mando del disparo de los regímenes de alumbrado es del orden de un 20 - 25% del consumo anual, según se ha recogido en múltiples estudios llevados a cabo hace más de 20 años en los túneles europeos, de modo que hoy en día no se instala ningún otro tipo de dispositivo de mando que no sea un luminancímetro en ningún túnel en Europa.

### **3.3. Sistemas de regulación de flujo y consumo de los puntos de luz**

En aquellos túneles en los que no se ha basado toda la obtención de los regímenes de alumbrado y tramos de adaptación, desde el umbral al interior en el empleo de diferentes circuitos de encendido, sino que se han empleado otros sistemas para variar el flujo luminoso y el consumo de las fuentes de luz, principalmente en aquellos puntos de luz que formaban parte del alumbrado denominado permanente o nocturno, los 2 únicos sistemas que se han empleado han sido para lámparas de sodio alta presión:

- Los balastos de doble nivel.
- El estabilizador-reductor de cabecera de línea.

Hoy en día, pensar en seguir utilizando los balastos de doble nivel es absurdo existiendo los balastos electrónicos regulables, que no solo realizan la misma función con muchas menores pérdidas, sino que consiguen aumentar los ahorros en consumos al poder regular de forma progresiva los flujos luminosos con una horquilla de disminución de consumos mucho mayor y sin dañar a las lámparas.

En cuanto a los estabilizadores-reductores de cabecera de línea, sería conveniente revisar el correcto funcionamiento de los instalados en la actualidad, dado el poco mantenimiento que han tenido para los que llevan funcionando más de 5 años. A pesar de este inconveniente este sistema es el de menor coste y el de más fácil adaptación a instalaciones existentes, por lo que hoy en día todavía es utilizable en alumbrado nocturno y de media noche.

Sin embargo, las innovaciones tecnológicas, en este tipo de sistemas de regulación en las lámparas de sodio alta presión, en los tubos fluorescentes y en los LED, permiten la adecuación del flujo luminoso de cada punto de luz a aquél que se necesita en cada instante para cada régimen de alumbrado y para cada tramo de adaptación.

La posibilidad de regular de manera progresiva y casi desde el 10% al 100% del flujo y consumo nominales (excepto en las lámparas de sodio alta presión de potencias superiores a 150 w, que puede llegar tan solo desde un 30% a un 100%), hacen que la instalación de alumbrado de un túnel se adecue perfectamente a las necesidades de variación progresiva de la curva de adaptación del ojo humano, evitando la creación y ejecución de múltiples y complejos circuitos eléctricos que complican la instalación y la encarecen enormemente.

En base a ello, si se acomete la renovación del alumbrado de un túnel en cualquier túnel existente, deberá prevalecer el empleo de estos sistemas de regulación progresivos y estables sobre los ya enunciados, justificándose previamente los cálculos económicos que concreten el período de retorno de la inversión en base a la mejora de eficiencia energética y duración de vida de la instalación.

### **3.4. Organización y mejora de la explotación**

Para englobar de manera conjunta todas estas propuestas enunciadas es muy conveniente acometer una organización racional del empleo de la instalación de alumbrado en un túnel, en los aspectos relativos a su explotación, para lo que será preciso:

1. El empleo de fuentes de luz regulables progresivamente para adaptar su flujo y consumo a las necesidades de cada tramo, régimen y situación.
2. La instalación en cada luminaria de un sistema de control (emisor-receptor) de las órdenes dictadas desde un puesto centralizado, incluido todo ello en un sistema de gestión integral del túnel.
3. El establecimiento de un sistema de comunicaciones fiable en una instalación sometida a las solicitudes de un túnel, y con un protocolo de comunicaciones abierto.
4. La utilización de un sistema de gestión (similar a un DMX o un DALI) para poder integrar todas las funciones de manera automática o manual, a voluntad, para poder gobernar el túnel de la manera más adecuada.

## **4. REPORTAJE FOTOGRÁFICO**





Fotografía 1. Túnel de Somosierra. Iluminación con VSAP. Boca norte (sentido de la marcha) con todo el alumbrado encendido.



Fotografía 2. Túnel de Somosierra. Iluminación con VSAP. Umbral boca norte (sentido de la marcha) con todo el alumbrado encendido.





Fotografía 3. Túnel de Somosierra. Iluminación con VSAP. Boca norte (sentido contrario al de la marcha) con todo el alumbrado encendido.



Fotografía 4. Túnel de Somosierra. Iluminación con VSAP. Transición 3 de boca sur (sentido contrario al de la marcha) con todo el alumbrado encendido. Luminancia media 18 cd/m<sup>2</sup>.





Fotografía 5. Túnel de las calzadas superpuestas M-40. Iluminación con VSAP. Zona interior (sentido de la marcha).



Fotografía 6. Túnel de las calzadas superpuestas M-40. Iluminación con VSAP. Zona interior (sentido de la marcha).





Fotografía 7. Túnel de las calzadas superpuestas M-40. Iluminación con LED. (sentido de la marcha). Luminancia media 3 cd/m<sup>2</sup>.



Fotografía 8. Túnel de las calzadas superpuestas M-40. Iluminación con LED. (sentido de la marcha). Luminancia media 6,95 cd/m<sup>2</sup>.

## ***ANEJO 7. ANÁLISIS ECONÓMICO***



# ÍNDICE

1. OBJETO.....	1
2. ASPECTOS GENERALES A CONSIDERAR.....	1





## **1. OBJETO**

En los capítulos 4 y 7 de las Recomendaciones para la Iluminación de Túneles se establece que tanto en los proyectos de nueva construcción como en los de mejora y rehabilitación se debe llevar a cabo un análisis económico de las diferentes alternativas técnicas consideradas para la ejecución de la actuación propuesta. Este análisis debe ayudar en la elección de la solución más adecuada.

El objeto de este anejo es exponer dos ejemplos orientativos de cómo podría redactarse el anejo de análisis económico, uno para cada tipo posible de proyecto: proyecto de nueva construcción y proyecto de rehabilitación y mejora.

## **2. ASPECTOS GENERALES A CONSIDERAR**

En los proyectos de nueva instalación los análisis de rentabilidad no incluyen el concepto de ingresos ya que éstos no existen como tales, sin embargo en los proyectos correspondientes a rehabilitación y mejora los ahorros sí que pueden considerarse ingresos. En consecuencia, los análisis de rentabilidad deben realizarse en base a los flujos económicos de gastos, obteniendo su valor actual neto (VAN) en ambos tipos de actuación y calculando adicionalmente la TIR y el plazo de recuperación de la inversión en los proyectos de rehabilitación y mejora.

El periodo de estudio recomendado es de 20 años, ya que es el plazo que se considera que una instalación de este tipo puede tener de vida útil.

En este anejo sólo se pretende realizar un análisis económico de alternativas y por tanto en el mismo no se han considerado criterios técnicos como el nivel luminotécnico de las alternativas. El análisis tiene pues una finalidad didáctica exclusivamente.



**PROYECTO DE NUEVA CONSTRUCCIÓN DE LA  
INSTALACIÓN DE ALUMBRADO DEL TÚNEL JUAN MANUEL  
MORÓN GARCÍA. AUTOVÍA DEL NORTE A-1, P.K. 92+092**

**ANEJO.....ANÁLISIS ECONÓMICO**



# ÍNDICE

1. Introducción. Objeto
2. Descripción general de la actuación
3. Cálculo de la inversión
4. Determinación de los gastos de consumo energético
5. Determinación de los gastos de mantenimiento
6. Análisis de rentabilidad

Apéndice 1. Planos

Apéndice 2. Presupuestos



## 1. Introducción. Objeto

En las Recomendaciones para la Iluminación de Túneles se establece que los proyectos de instalaciones que se redacten deben incluir un análisis económico de las alternativas planteadas, para facilitar la elección de la solución más adecuada.

El objeto de este anejo es exponer dicho análisis económico.

## 2. Descripción general de la actuación

El proyecto consiste en la iluminación del Túnel Juan Manuel Morón García, también llamado Túnel de Somosierra, situado en el P.K. 92+092 de la Autovía del Norte A-1, cuya longitud es de 620 metros.

El túnel consta de dos tubos unidireccionales de sección tipo bóveda con revestimiento de hormigón. Cada uno de ellos consta de tres carriles de 3,5 metros de ancho cada uno, arceles derecho e izquierdo 0,8 y 1 m de ancho respectivamente.

Como se puede ver en el resto de apartados del proyecto, se han planteado dos soluciones posibles. La alternativa 1 utiliza como fuentes de luz lámparas de vapor de sodio alta presión (VSAP) y la alternativa 2, lámparas de VSAP y LED.

En la alternativa 1, instalación proyectada con lámparas de VSAP, se instala iluminación exterior cuyas lámparas tienen una potencia de 400 W, los báculos tienen 12 m de altura y una interdistancia aproximada de 40 m, e iluminación interior, cuyas lámparas tienen una potencia de 150, 250 y 400 W, la altura de montaje es de 4,48 m y sus interdistancias medias aproximadas son de: 1,4 m en la zona de umbral, 3,5 m en las de transición y 12,8 m en la interior. Con esta solución está previsto instalar 511 puntos de luz.

En la alternativa 2, instalación proyectada con lámparas de VSAP y LED, se instala iluminación exterior de LED, cuyas lámparas tienen una potencia de 210 W, los báculos tienen 12 m de altura y una interdistancia aproximada de 35 m, e iluminación interior, cuyas lámparas de VSAP tienen una potencia de 250 y 400 W y las de LED de 104 W, la altura de montaje es de 4,48 m y sus interdistancias medias aproximadas son: 2,4 en las zonas de umbral, 6,5 m en las de transición y 15 m en la interior. Con esta solución está previsto instalar 436 puntos de luz.

En el resto de aspectos ambas alternativas tienen las mismas características, que son las siguientes:

- La instalación dispone de una acometida a la red y dos cuadros de mando (uno para cada tubo)
- Existen cuatro regímenes de funcionamiento:
  - Alumbrado "Pleno sol"
  - Alumbrado "Nublado"
  - Alumbrado "Crepuscular"
  - Alumbrado "Nocturno" o "Permanente"
- La distribución desde los cuadros hasta los puntos de luz se realiza mediante canalización de PVC en bandeja.

En el Apéndice 1 se adjuntan los planos de las dos alternativas en los que se puede observar la situación y características de las mismas.

### 3. Cálculo de la inversión

La inversión a realizar es el coste de las obras que componen la actuación. El presupuesto de las mismas para cada alternativa figura en el Apéndice 2 y su resumen se muestra en las tablas 1 y 2.

Tabla 1. Presupuesto alternativa 1 (VSAP)

PRESUPUESTO ALTERNATIVA 1 VSAP		
Capítulo	Descripción	Importe (€)
1	Obra Civil	82.944,11
2	Instalación Eléctrica	443.422,93
3	Seguridad y Salud	5.000,00
Total Presupuesto de Ejecución Material (PEM)		531.367,04
	17% Gastos generales	90.332,40
	6% Beneficio industrial	31.882,02
Suma		653.581,46
	18% IVA	117.644,66
PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN (PBL)		771.226,12

Tabla 2. Presupuesto alternativa 2 (VSAP y LED)

PRESUPUESTO ALTERNATIVA 2 VSAP y LED		
Capítulo	Descripción	Importe (€)
1	Obra Civil	82.944,11
2	Instalación Eléctrica	552.377,67
3	Seguridad y Salud	5.000,00
Total Presupuesto de Ejecución Material (PEM)		640.321,78
	17% Gastos generales	108.854,70
	6% Beneficio industrial	38.419,31
Suma		787.595,79
	18% IVA	141.767,24
PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN (PBL)		929.363,03

### 4. Determinación de los gastos de consumo energético

El consumo de energía total anual de la instalación de alumbrado se obtiene como sigue:

- Potencia instalada en cada circuito (kW): Es la suma de las potencias de todas las lámparas del circuito más las de los equipos auxiliares.
- Número anual de horas de funcionamiento de cada circuito: Varía en función de la luminancia registrada por el luminancímetro de control en las bocas del túnel.



- Consumo teórico (kWh): Es la suma de los productos de la potencia en funcionamiento por el número anual de horas correspondiente para cada régimen de funcionamiento, al que se le aplica un factor de corrección para tener en cuenta las pérdidas de la instalación.
- Coste fijo anual de la instalación: Se obtiene multiplicando la potencia total contratada, teniendo en cuenta las pérdidas (kW), por el coste del kW/mes y por los 12 meses del año.
- Coste variable: Es el producto del consumo teórico (kWh) por el coste del kWh.
- Coste total: Es la suma de los costes fijos más los costes variables.

Para la alternativa 1 VSAP, se obtiene lo siguiente:

- Potencia instalada: Conociendo el número de lámparas de 150, 250 y 400 W instaladas en cada circuito (tabla 3), se obtiene:
  - Iluminación exterior:  $1,10 \times 20 \times 400 = 8.800 \text{ W} = 8,8 \text{ kW}$  (se ha multiplicado por 1,10 para considerar el consumo de los equipos auxiliares, que suele ser un 10% del consumo de la lámpara).
  - Iluminación interior
    - Pleno sol:  $1,1 \times (400 \times 135 + 250 \times 22 + 150 \times 20) = 68.750 \text{ W} = 68,75 \text{ kW}$ .
    - Nublado:  $1,1 \times (400 \times 53 + 250 \times 20 + 150 \times 4) = 29.480 \text{ W} = 29,48 \text{ kW}$ .
    - Crepuscular:  $1,1 \times (400 \times 51 + 250 \times 14 + 150 \times 1) = 26.455 \text{ W} = 26,46 \text{ kW}$ .
    - Nocturno:  $1,1 \times (400 \times 0 + 250 \times 0 + 150 \times 171) = 28.215 \text{ W} = 28,22 \text{ kW}$ .  
(se ha multiplicado por 1,10 para considerar el consumo de los equipos auxiliares, que suele ser un 10% del consumo de la lámpara).
    - Total:  $68,75 + 29,48 + 26,46 + 28,22 = 152,91 \text{ kW}$ .
  - Total iluminación interior y exterior:  $8,8 + 152,91 = 161,71 \text{ kW}$ .
  - Número de horas de funcionamiento: Para la presente instalación, se estiman 150 días nublados y 215 días despejados al año, distribuidos como se muestra en la tabla 4.

Tabla 3. Número y potencia de las lámparas instaladas en cada circuito

Régimen	Potencia (W)		
	400	250	150
Pleno sol	135	22	20
Nublado	53	20	4
Crepuscular	51	14	1
Nocturno	0	0	171
<b>Total</b>	<b>239</b>	<b>56</b>	<b>196</b>

Tabla 4. Distribución anual de días nublados y despejados.

Periodo	Días despejados	Días nublados
Enero-Febrero	19	40
Marzo-Abril	36	25
Mayo-Agosto	104	19
Septiembre-October	36	25
Noviembre-Diciembre	20	41
<b>Total</b>	<b>215</b>	<b>150</b>

Tabla 5. Horas diarias de funcionamiento de cada circuito.

Periodo	Condiciones lumínicas	Circuito			
		Pleno sol	Nublado	Crepuscular	Nocturno
Enero-Febrero	Despejado	8	8	10	24
	Nublado	0	8	10	24
Marzo-Abril	Despejado	10	10	12	24
	Nublado	0	10	12	24
Mayo-Agosto	Despejado	13	13	15	24
	Nublado	0	13	15	24
Septiembre-October	Despejado	10	10	12	24
	Nublado	0	10	12	24
Noviembre-Diciembre	Despejado	8	8	10	24
	Nublado	0	8	10	24

Suponiendo que los días despejados los circuitos de pleno sol y nublado se encienden y apagan a la vez y que los días nublados el circuito de pleno sol no se llega a encender, se estiman las horas de funcionamiento diarias que se muestran en la tabla 5.

Así, se obtienen las horas totales de funcionamiento anuales de cada circuito:

- Pleno sol: 19 días (enero-febrero) x 8 h/día + 36 días (marzo-abril) x 10 h/día + 104 días (mayo-agosto) x 13 h/día + 36 días (septiembre-octubre) x 10 h/día + 20 días (noviembre-diciembre) x 8,0 h/día = 2.384 h/año.
- Nublado: 59 días (enero-febrero) x 8 h/día + 61 días (marzo-abril) x 10 h/día + 123 días (mayo-agosto) x 13 h/día + 61 días (septiembre-octubre) x 10 h/día + 61 días (noviembre-diciembre) x 8 h/día = 3.779 h/año.
- Crepuscular: 59 días (enero-febrero) x 10 h/día + 61 días (marzo-abril) x 12 h/día + 123 días (mayo-agosto) x 15 h/día + 61 días (septiembre-octubre) x 12 h/día + 61 días (noviembre-diciembre) x 10 h/día = 4.509 h/año.
- Nocturno: 24 h/día x 365/días/año = 8.760 h/año.

Para la iluminación exterior se estima una media de 10 horas de funcionamiento diarias, lo que hace un total de 3.650 horas/año.

- Consumo teórico (potencia instalada x nº de horas en cada régimen de funcionamiento) = 8,8 kW x 3.650 h/año + 68,75 kW x 2.384 h/año + 29,48 kW x 3.779 h/año + 26,46 kW x 4.509 h/año + 28,22 kW x 8.760 h/año = 673.940,26 kWh.
- Coste fijo: 161,71 kW x 1,07 x 2,51 €/mes y kW x 12 meses/año= 5.211,65 €/año (se ha multiplicado por 1,07 para considerar las pérdidas de la instalación).
- Coste variable: 673.940,26 kWh/año x 0,12 €/kWh = 80.872,83 €/año.

Para la alternativa 2 VSAP y LED, se obtiene lo siguiente:

- Potencia instalada: Conociendo el número de lámparas de 150, 250 y 400 W instaladas en cada circuito (Tabla 6), se obtiene:
  - Iluminación exterior: 1,10 x 20 x 210 = 4.620 W = 4,62 kW (se ha multiplicado por 1,10 para considerar el consumo de los equipos auxiliares, que suele ser un 10% del consumo de la lámpara).
  - Iluminación interior
    - Pleno sol: 1,1 x (400 x 88 + 250 x 14 + 104 x 0) = 38.700 W = 37,7 kW.
    - Nublado: 1,1 x (400 x 40 + 250 x 2 + 104 x 0) = 16.500 W = 16,5 kW.
    - Crepuscular: 1,1 x (400 x 52 + 250 x 24 + 104 x 26) = 29.504 W = 29,5 kW.
    - Nocturno: 1,1 x (400 x 0 + 250 x 2 + 104 x 168) = 17.972 W = 17,97 kW.  
(se ha multiplicado por 1,10 para considerar el consumo de los equipos auxiliares, que suele ser un 10% del consumo de la lámpara).
    - Total: 37,7 + 16,5 + 29,5 + 17,97 = 101,67 kW.

Tabla 6. Número y potencia de las lámparas instaladas en cada circuito

Régimen	Potencia (W)		
	400	250	LED (104)
Pleno sol	88	14	0
Nublado	40	2	0
Crepuscular	52	24	26
Nocturno	0	2	168
<b>Total</b>	<b>180</b>	<b>42</b>	<b>194</b>

- Total iluminación interior y exterior: 4,62 + 101,67 = 106,29 kW.
  - Número de horas de funcionamiento: Son las mismas que en la alternativa 1. Así, las horas totales de funcionamiento anuales de cada circuito son:
    - Pleno sol: 2.384 h/año..
    - Nublado: 3.779 h/año.
    - Crepuscular: 4.509 h/año.
    - Nocturno: 8.760 h/año.
- Para la iluminación exterior se estima una media de 10 horas de funcionamiento diarias, lo que hace un total de 3.650 horas/año.
- Consumo teórico (potencia instalada x nº de horas en cada régimen de funcionamiento) = 4,62 kW x 3.650 h/año + 37,7 kW x 2.384 h/año + 16,5 kW x 3.779 h/año + 29,5 kW x 4.509 h/año + 17,97 kW x 8.760 h/año = 459.526,00 kWh.

- Coste fijo:  $106.29 \text{ kW} \times 1,07 \times 2,51 \text{ €/mes y kW} \times 12 \text{ meses/año} = 3.425,55 \text{ €/año}$  (se ha multiplicado por 1,07 para considerar las pérdidas de la instalación).
- Coste variable:  $459.526,00 \text{ kWh/año} \times 0,12 \text{ €/kWh} = 55.143,12 \text{ €/año}$ .

Los costes de explotación anuales finales de cada alternativa son los siguientes:

- Alternativa 1 VSAP:  $5.211,65 \text{ €/año} + 80.872,83 \text{ €/año} = 86.084,48 \text{ €/año}$ .
- Alternativa 2 VSAP y LED:  $3.560,27 \text{ €/año} + 55.143,12 \text{ €/año} = 58.703,39 \text{ €/año}$ .

## 5. Determinación de los gastos de mantenimiento

Los gastos de mantenimiento responden a las operaciones de mantenimiento programado (preventivo) y a las operaciones de mantenimiento correctivo. Las principales operaciones de mantenimiento programado son las revisiones y mediciones de la instalación, la limpieza de las luminarias y la sustitución de las lámparas y equipos auxiliares al final de su vida útil. Las principales operaciones de mantenimiento correctivo son las de sustitución de lámparas y equipos averiados antes del fin de su vida útil y reparación de otros elementos de la instalación que sufran averías.

### 5.1 Operaciones de mantenimiento preventivo

#### 5.1.1 Revisiones y mediciones

El seguimiento del Plan de mantenimiento preventivo en la instalación del estudio, que consta de tareas de revisión y medición diarias, mensuales, bimestrales, semestrales, anuales y quinquenales, se traduce en:

- 1 operario x 2 horas x 365 días/año con una furgoneta.
- 2 operarios 20 días/año con un camión cesta.

Que suponen un coste anual de 24.809 €, tanto en la alternativa 1 como en la alternativa 2.

#### 5.1.2 Limpieza de luminarias

Suponiendo que la limpieza se realiza con un camión con cesta, una furgoneta y tres operarios con un rendimiento de 65 luminarias al día, resulta un coste unitario de 10 €/ud.

- Alternativa 1. Se considera necesaria una limpieza anual de cada una de las luminarias de VSAP:  $511 \text{ ud./año} \times 10 \text{ €/ud.} = 5.110 \text{ €/año}$ .
- Alternativa 2. Las luminarias LED requieren menor mantenimiento, por lo que se considera necesaria su limpieza cada dos años. En el caso de estudio:  $222 \text{ (VSAP) ud/año} \times 10 \text{ €/ud} + 0,5 \times 214 \text{ (LED) ud./año} \times 10 \text{ €/ud.} = 3.290 \text{ €/año}$ .

#### 5.1.3 Reposición de lámparas y equipos al final de su vida útil.

Debido a que en el alumbrado de túneles las fuentes de luz se encuentran en funcionamiento muchas más horas al año, no son válidas las vidas útiles de cada tipo de lámpara considerados en el alumbrado de carreteras a cielo abierto. En este caso, para estimarlas se ha realizado una media ponderada de las horas anuales de funcionamiento de cada lámpara para cada alternativa. Suposición válida para este anejo de cálculo económico. Así, en la alternativa 1, la vida útil media de las lámparas de VSAP es de 4 años, mientras que en la alternativa 2, la vida útil media de las lámparas de VSAP es de 6 años y de las de LED 7 años. Puede parecer que la vida útil de las lámparas de LED en

túneles (7 años) es muy pequeña comparada con la de LED en carreteras (20 años), pero se debe tener en cuenta que en túneles funciona durante las 24 horas del día.

Por tanto, los costes de lámparas y equipos al final de su vida útil son:

- Alternativa 1. La vida útil de las lámparas VSAP es de 4 años aproximadamente (20.000 horas). Teniendo en cuenta que el periodo de estudio es de 20 años, será necesario sustituirlas cuatro veces a lo largo del periodo de estudio. Para los equipos auxiliares se estima una vida de 40.000 horas, es decir, habrá que sustituirlos cada 8 años, dos veces en el periodo. Tomando como coste medio de sustitución de lámparas VSAP 28,13 €, el coste total de sustitución de las lámparas será:  $511 \text{ ud.} \times 28,13 \text{ €/ud.} \times 4 = 57.497,72 \text{ €}$ , que se acometerá en cuatro desembolsos de 14.374,43 € en los años 4, 8, 12 y 16. El coste de sustitución de elementos auxiliares será de  $511 \text{ ud.} \times 35 \text{ €/ud.} \times 2 = 35.770 \text{ €}$ , que se acometerá en dos desembolsos de 17.885 € en los años 8 y 16. Estos costes están calculados para el año 1, por lo que es necesario aplicarles la inflación, estimada en un 3% anual.
- Alternativa 2. La vida útil de las lámparas VSAP es de 4 años aproximadamente (20.000 horas). Teniendo en cuenta que el periodo de estudio es de 20 años, será necesario sustituirlas cuatro veces a lo largo del periodo de estudio. Para las lámparas de LED se estima una vida útil de 60.000 horas, por lo que habrá que sustituirlas cada 7 años, dos veces durante el periodo de estudio. Para los equipos auxiliares se estima una vida de 40.000 horas, es decir, habrá que sustituirlos cada 8 años, dos veces en el periodo. Tomando como coste medio de sustitución de lámparas VSAP 28,13 €, el coste total de sustitución de las lámparas será:  $222 \text{ ud.} \times 28,13 \text{ €/ud.} \times 4 = 24.979,44 \text{ €}$ , que se acometerá en cuatro desembolsos de 6.244,86 € en los años 4, 8, 12 y 16. Para LED, estimando unos costes de sustitución de la luminaria de 850 €, los costes resultantes son:  $214 \text{ ud.} \times 850 \text{ €/ud.} \times 2 = 363.800 \text{ €}$ , que se acometerá en dos desembolsos de 181.900 € en los años 7 y 14. El coste de sustitución de los elementos auxiliares será de  $436 \text{ ud.} \times 35 \text{ €/ud.} \times 2 = 30.520 \text{ €}$ , que se acometerá en dos desembolsos de 15.260 € en los años 8 y 16. Estos costes están calculados para el año 1, por lo que es necesario aplicarles la inflación, estimada en un 3% anual.

## 5.2 Operaciones de mantenimiento correctivo

### 5.2.1 Reposición de lámparas averiadas

Aunque los fabricantes garantizan la vida útil de las lámparas en caso de VSAP y de los LED, lógicamente siempre será necesaria alguna sustitución.

- Alternativa 1. A efectos de este estudio se considera que al año se tendrán que sustituir el 1% de las lámparas VSAP instaladas. Estimando unos costes de sustitución de lámpara de VSAP de 28,13 €, los costes resultantes son:  $0,01 \times 511 \text{ ud./año} \times 28,13 \text{ €/ud} = 143,75 \text{ €/año}$ .
- Alternativa 2. A efectos de este estudio se considera que al año se estropearán el 0,20% de las luminarias LED instaladas. En este caso es necesario sustituir la luminaria completa en la mayoría de los casos. Estimando unos costes de sustitución de la luminaria de LED de 850 €, los costes resultantes son:  $0,01 \times 222 \text{ (VSAP) ud./año} \times 28,13 \text{ €/ud.} + 0,002 \times 214 \text{ (LED) ud./año} \times 850 \text{ €/ud} = 426,25 \text{ €/año}$ .

### 5.2.2 Reposición de equipos auxiliares

Se pueden suponer unas faltas del 0,50% de los equipos auxiliares para las dos alternativas. El coste de reparación de elementos auxiliares será de:

- Alternativa 1:  $0,005 \times 511 \text{ ud./año} \times 35 \text{ €/ud.} = 89,42 \text{ €/año.}$
- Alternativa 2:  $0,005 \times 436 \text{ ud./año} \times 35 \text{ €/ud.} = 76,30 \text{ €/año.}$

### 5.3 Gastos totales de mantenimiento

Por tanto, los costes totales anuales de mantenimiento para cada una de las alternativas son los siguientes:

- Alternativa 1 VSAP:  $24.809 \text{ €/año} + 5.110 \text{ €/año} + 143,75 \text{ €/año} + 89,42 \text{ €/año} = 30.152,17 \text{ €/año.}$  Además se acometerán cuatro desembolsos de  $14.374,43 \text{ €}$  en los años 4, 8, 12 y 16 y otros dos de  $17.885 \text{ €}$  en los años 8 y 16, correspondientes a la reposición de lámparas y equipos auxiliares al final de su vida útil. Estos costes están calculados para el año 1, por lo que es necesario aplicarles la inflación, estimada en un 3% anual.
- Alternativa 2 VSAP y LED:  $24.809 \text{ €/año} + 3.290 \text{ €/año} + 426,25 \text{ €/año} + 76,30 \text{ €/año} = 28.601,55 \text{ €/año.}$  Además se acometerán cuatro desembolsos de  $6.244,86 \text{ €}$  en los años 4, 8, 12 y 16 correspondientes a la reposición de lámparas de VSAP, otros dos de  $181.900 \text{ €}$  en los años 7 y 14 correspondientes a la reposición de luminarias LED y otros dos de  $15.260 \text{ €}$  en los años 8 y 16 correspondientes a la reposición de equipos auxiliares al final de su vida útil. Estos costes están calculados para el año 1, por lo que es necesario aplicarles la inflación, estimada en un 3% anual.

## 6. Análisis de rentabilidad

El análisis económico se realiza en base a los flujos de gastos de cada una de las alternativas a lo largo del periodo de estudio, actualizándolos al año de puesta en servicio, lo que nos da el valor actual neto (VAN) de dichos flujos para cada alternativa.

En principio, resultará más favorable desde el punto de vista económico la alternativa cuyo VAN sea menor, ya que significará que es la que al final de su vida útil ha necesitado menos desembolsos actualizados al año de puesta en servicio; ahora bien, éste no es el único criterio que debe tenerse en cuenta, también conviene analizar qué porcentaje representa la inversión inicial con respecto al total de los desembolsos y si éstos tienen una distribución a lo largo de los años que pueda ocasionar algún problema.

- Plazo: El periodo de estudio considerado es de 20 años
- Tasa de actualización: Se ha previsto una tasa anual única como media para todo el periodo del 5%, que es la rentabilidad que se estima que tendrá como media la deuda del estado en los 20 años.
- Inflación: Se ha considerado una inflación anual media del 3% para todos los años

### 6.1 Inversión inicial

Como inversión inicial se han considerado los presupuestos de las obras de las dos alternativas que figuran en el apartado 3:

- Alternativa 1 VSAP:  $653.581,46 \text{ €.}$
- Alternativa 2 VSAP y LED:  $787.595,79 \text{ €.}$

Se considera que toda la inversión se realiza durante el año anterior al de puesta en servicio (año 0), por lo que la valoración de las alternativas se ha realizado en euros de dicho año.

## 6.2 Gastos de explotación. Consumo de energía

De acuerdo con lo expuesto en el apartado 4, los gastos de explotación para ambas alternativas en el año de puesta en servicio son:

- Alternativa 1 VSAP:  $5.211,65 \text{ €/año} + 80.872,83 \text{ €/año} = 86.084,48 \text{ €/año}$ .
- Alternativa 2 VSAP y LED:  $3.560,27 \text{ €/año} + 55.143,12 \text{ €/año} = 58.703,39 \text{ €/año}$ .

Para el resto de los años, se considera que los gastos de explotación se incrementan con la inflación en un 3%.

## 6.3 Gastos de mantenimiento

De acuerdo con lo expuesto en el apartado 5, los gastos de mantenimiento para cada una de las alternativas en el año de puesta en servicio son:

- Alternativa 1 VSAP:  $24.809 \text{ €/año} + 5.110 \text{ €/año} + 143,75 \text{ €/año} + 89,42 \text{ €/año} = 30.152,17 \text{ €/año}$ . Además se acometerán cuatro desembolsos de  $14.374,43 \text{ €}$  en los años 4, 8, 12 y 16 y otros dos de  $17.885 \text{ €}$  en los años 8 y 16, correspondientes a la reposición de lámparas y equipos auxiliares al final de su vida útil.
- Alternativa 2 VSAP y LED:  $24.809 \text{ €/año} + 3.290 \text{ €/año} + 426,25 \text{ €/año} + 76,30 \text{ €/año} = 28.601,55 \text{ €/año}$ . Además se acometerán cuatro desembolsos de  $6.244,86 \text{ €}$  en los años 4, 8, 12 y 16 correspondientes a la reposición de lámparas de VSAP, otros dos de  $181.900 \text{ €}$  en los años 7 y 14 correspondientes a la reposición de luminarias LED y otros dos de  $15.260 \text{ €}$  en los años 8 y 16 correspondientes a la reposición de equipos auxiliares al final de su vida útil.

## 6.4 Conclusión

De acuerdo con las consideraciones anteriores, se han elaborado los cuadros de flujos que se adjuntan y de los que se extraen las siguientes conclusiones:

- VAN Alternativa 1 VSAP:  $2.585.371 \text{ €}$ .
- VAN Alternativa 2 VSAP y LED:  $2.524.342 \text{ €}$ .





**PROYECTO DE NUEVA CONSTRUCCIÓN**

**ALTERNATIVA 1 VSAP**

FLUJOS ECONÓMICOS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	TOTAL	VAN
	2012	2013	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031		
<b>INVERSIÓN</b>																							
Coste de las obras	653.581	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	653.581	653.581
<b>TOTAL INVERSIÓN:</b>	<b>653.581</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>653.581</b>	<b>653.581</b>
<b>GASTOS DE EXPLOTACIÓN</b>																							
Consumos eléctricos	0	86.084	88.667	91.327	94.067	96.889	99.796	102.789	105.873	109.049	112.321	115.690	119.161	122.736	126.418	130.210	134.117	138.140	142.285	146.553	150.950	2.313.122	1.374.320
<b>TOTAL GASTOS DE EXPLOTACIÓN:</b>	<b>0</b>	<b>86.084</b>	<b>88.667</b>	<b>91.327</b>	<b>94.067</b>	<b>96.889</b>	<b>99.796</b>	<b>102.789</b>	<b>105.873</b>	<b>109.049</b>	<b>112.321</b>	<b>115.690</b>	<b>119.161</b>	<b>122.736</b>	<b>126.418</b>	<b>130.210</b>	<b>134.117</b>	<b>138.140</b>	<b>142.285</b>	<b>146.553</b>	<b>150.950</b>	<b>2.313.122</b>	<b>1.374.320</b>
<b>GASTOS DE MANTENIMIENTO</b>																							
<b>Mantenimiento preventivo</b>																							
Revisiones y mediciones	0	24.809	25.553	26.320	27.109	27.923	28.760	29.623	30.512	31.427	32.370	33.341	34.341	35.372	36.433	37.526	38.652	39.811	41.005	42.236	43.503	666.627	396.070
Limpieza de luminarias	0	5.110	5.263	5.421	5.584	5.751	5.924	6.102	6.285	6.473	6.667	6.867	7.073	7.286	7.504	7.729	7.961	8.200	8.446	8.699	8.960	137.308	81.580
Reposición de lámparas al final de su vida útil	0	0	0	0	16.179	0	0	0	18.209	0	0	0	20.495	0	0	0	23.067	0	0	0	0	77.950	47.615
Reposición de equipos al final de su vida útil	0	0	0	0	0	0	0	0	22.656	0	0	0	0	0	0	0	28.700	0	0	0	0	51.356	28.482
<b>Mantenimiento correctivo</b>																							
Reposición de lámparas averiadas	0	144	148	153	157	162	167	172	177	182	188	193	199	205	211	217	224	231	238	245	252	3.863	3.863
Reposición de equipos auxiliares:	0	89	92	95	98	101	104	107	110	113	117	120	124	127	131	135	139	143	148	152	157	2.403	2.403
<b>TOTAL GASTOS DE MANTENIMIENTO:</b>	<b>0</b>	<b>30.152</b>	<b>31.057</b>	<b>31.988</b>	<b>49.127</b>	<b>33.937</b>	<b>34.955</b>	<b>36.003</b>	<b>77.948</b>	<b>38.196</b>	<b>39.342</b>	<b>40.522</b>	<b>62.233</b>	<b>42.990</b>	<b>44.279</b>	<b>45.608</b>	<b>98.743</b>	<b>48.385</b>	<b>49.837</b>	<b>51.332</b>	<b>52.872</b>	<b>939.506</b>	<b>557.470</b>
<b>TOTAL GASTOS:</b>	<b>653.581</b>	<b>116.237</b>	<b>119.724</b>	<b>123.315</b>	<b>143.194</b>	<b>130.825</b>	<b>134.750</b>	<b>138.793</b>	<b>183.821</b>	<b>147.245</b>	<b>151.662</b>	<b>156.212</b>	<b>181.394</b>	<b>165.726</b>	<b>170.697</b>	<b>175.818</b>	<b>232.860</b>	<b>186.526</b>	<b>192.121</b>	<b>197.885</b>	<b>203.822</b>	<b>3.906.210</b>	<b>2.585.371</b>

**ALTERNATIVA 2 LED**

FLUJOS ECONÓMICOS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	TOTAL	VAN
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032		
<b>INVERSIÓN</b>																							
Coste de las obras	787.596	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	787.596	787.596
<b>TOTAL INVERSIÓN:</b>	<b>787.596</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>787.596</b>	<b>787.596</b>
<b>GASTOS DE EXPLOTACIÓN</b>																							
Consumos eléctricos	0	58.703	60.464	62.278	64.147	66.071	68.053	70.095	72.198	74.364	76.595	78.892	81.259	83.697	86.208	88.794	91.458	94.202	97.028	99.939	102.937	1.577.382	937.187
<b>TOTAL GASTOS DE EXPLOTACIÓN:</b>	<b>0</b>	<b>58.703</b>	<b>60.464</b>	<b>62.278</b>	<b>64.147</b>	<b>66.071</b>	<b>68.053</b>	<b>70.095</b>	<b>72.198</b>	<b>74.364</b>	<b>76.595</b>	<b>78.892</b>	<b>81.259</b>	<b>83.697</b>	<b>86.208</b>	<b>88.794</b>	<b>91.458</b>	<b>94.202</b>	<b>97.028</b>	<b>99.939</b>	<b>102.937</b>	<b>1.577.382</b>	<b>937.187</b>
<b>GASTOS DE MANTENIMIENTO</b>																							
<b>Mantenimiento preventivo</b>																							
Revisiones y mediciones	0	24.809	25.553	26.320	27.109	27.923	28.760	29.623	30.512	31.427	32.370	33.341	34.341	35.372	36.433	37.526	38.652	39.811	41.005	42.236	43.503	666.627	396.070
Limpieza de luminarias	0	3.290	3.389	3.490	3.595	3.703	3.814	3.928	4.046	4.168	4.293	4.421	4.554	4.691	4.831	4.976	5.126	5.279	5.438	5.601	5.769	88.404	52.524
Reposición de lámparas al final de su vida útil	0	0	0	0	7.029	0	0	223.714	7.911	0	0	0	8.904	0	275.140	0	10.021	0	0	0	0	532.719	318.640
Reposición de equipos al final de su vida útil	0	0	0	0	0	0	0	0	19.331	0	0	0	0	0	0	0	24.488	0	0	0	0	43.819	24.302
<b>Mantenimiento correctivo</b>																							
Reposición de lámparas averiadas	0	426	439	452	466	480	494	509	524	540	556	573	590	608	626	645	664	684	705	726	747	11.453	6.805
Reposición de equipos auxiliares:	0	76	79	81	83	86	88	91	94	97	100	103	106	109	112	115	119	122	126	130	134	2.050	1.218
<b>TOTAL GASTOS DE MANTENIMIENTO:</b>	<b>0</b>	<b>28.602</b>	<b>29.460</b>	<b>30.343</b>	<b>38.283</b>	<b>32.191</b>	<b>33.157</b>	<b>257.866</b>	<b>62.418</b>	<b>36.232</b>	<b>37.319</b>	<b>38.438</b>	<b>48.495</b>	<b>40.779</b>	<b>317.142</b>	<b>43.262</b>	<b>79.069</b>	<b>45.897</b>	<b>47.274</b>	<b>48.692</b>	<b>50.153</b>	<b>1.345.072</b>	<b>799.560</b>
<b>TOTAL GASTOS:</b>	<b>787.596</b>	<b>87.305</b>	<b>89.924</b>	<b>92.622</b>	<b>102.429</b>	<b>98.262</b>	<b>101.210</b>	<b>327.961</b>	<b>134.616</b>	<b>110.595</b>	<b>113.913</b>	<b>117.331</b>	<b>129.754</b>	<b>124.476</b>	<b>403.350</b>	<b>132.057</b>	<b>170.527</b>	<b>140.099</b>	<b>144.302</b>	<b>148.631</b>	<b>153.090</b>	<b>3.710.050</b>	<b>2.524.342</b>



## ***APÉNDICE 1. PLANOS***



***ALTERNATIVA 1 VSAP***









***ALTERNATIVA 2 LED+VSAP***



MADRID ←

BOCA SUR

Pleno sol: 0 W.  
Nublado: 0 W.  
Crepuscular: 0 W.  
Nocturno: 21x104 W.

Pleno sol: 0 W.  
Nublado: 0 W.  
Crepuscular: 4x104 W.  
Nocturno: 0 W.

Pleno sol: 2x250 W.  
Nublado: 0 W.  
Crepuscular: 5x250 W.  
Nocturno: 8x104 W.

Pleno sol: 3x400 + 2x250 W.  
Nublado: 1x400 + 1x250 W.  
Crepuscular: 2x250 W.  
Nocturno: 3x104 W.

Pleno sol: 6x400 W.  
Nublado: 1x400 W.  
Crepuscular: 4x400 W.  
Nocturno: 2x104 W.

Pleno sol: 18x400 W.  
Nublado: 14x400 W.  
Crepuscular: 9x400 W.  
Nocturno: 5x104 W.

320 m

97,5 m

52,5 m

52,5 m

30 m

67,5 m

Pleno sol: 0 W.  
Nublado: 0 W.  
Crepuscular: 0 W.  
Nocturno: 21x104 W.

Pleno sol: 0 W.  
Nublado: 0 W.  
Crepuscular: 4x104 W.  
Nocturno: 0 W.

Pleno sol: 2x250 W.  
Nublado: 0 W.  
Crepuscular: 5x250 W.  
Nocturno: 8x104 W.

Pleno sol: 3x400 + 2x250 W.  
Nublado: 1x400 + 1x250 W.  
Crepuscular: 2x250 W.  
Nocturno: 3x104 W.

Pleno sol: 6x400 W.  
Nublado: 1x400 W.  
Crepuscular: 4x400 W.  
Nocturno: 2x104 W.

Pleno sol: 18x400 W.  
Nublado: 14x400 W.  
Crepuscular: 9x400 W.  
Nocturno: 5x104 W.

GALERÍA 1

GALERÍA 2

Pleno sol: 13x400 W.  
Nublado: 4x400 W.  
Crepuscular: 9x400 W.  
Nocturno: 5x104 W.

Pleno sol: 4x400 W.  
Nublado: 0 W.  
Crepuscular: 4x400 W.  
Nocturno: 2x104 W.

Pleno sol: 3x250 W.  
Nublado: 0 W.  
Crepuscular: 5x250 W.  
Nocturno: 3x104 W.

Pleno sol: 0 W.  
Nublado: 0 W.  
Crepuscular: 2x104 W.  
Nocturno: 1x250 + 4x104 W.

Pleno sol: 0 W.  
Nublado: 0 W.  
Crepuscular: 7x104 W.  
Nocturno: 6x104 W.

Pleno sol: 0 W.  
Nublado: 0 W.  
Crepuscular: 0 W.  
Nocturno: 21x104 W.

92 + 092

67,5 m

30 m

52,5 m

52,5 m

97,5 m

320 m

92 + 712

Pleno sol: 13x400 W.  
Nublado: 4x400 W.  
Crepuscular: 9x400 W.  
Nocturno: 5x104 W.

Pleno sol: 4x400 W.  
Nublado: 0 W.  
Crepuscular: 4x400 W.  
Nocturno: 2x104 W.

Pleno sol: 3x250 W.  
Nublado: 0 W.  
Crepuscular: 5x250 W.  
Nocturno: 3x104 W.

Pleno sol: 0 W.  
Nublado: 0 W.  
Crepuscular: 2x104 W.  
Nocturno: 1x250 + 4x104 W.

Pleno sol: 0 W.  
Nublado: 0 W.  
Crepuscular: 7x104 W.  
Nocturno: 6x104 W.

Pleno sol: 0 W.  
Nublado: 0 W.  
Crepuscular: 0 W.  
Nocturno: 21x104 W.

BURGOS →

CASETA TÉCNICA

LEYENDA

■ VSAP  
■ LED



## ***APÉNDICE 2. PRESUPUESTOS***



***ALTERNATIVA 1 VSAP***





# PRESUPUESTO Y MEDICIONES

CÓDIGO	RESUMEN	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
<b>CAPÍTULO 1 OBRA CIVIL</b>				
1.1	<b>m² DESPEJE Y DESBROCE DEL TERRENO</b> Despeje y desbroce del terreno por medios mecánicos, incluso retirada de tocones, carga y transporte de productos resultantes a instalación de gestión de residuos.	2280,00	1,60	3.648,00
1.2	<b>m³ EXCAVACIÓN DE TIERRA VEGETAL</b> Excavación de tierra vegetal, incluso carga y transporte a lugar de acopio, empleo o instalación de gestión de residuos.	684,00	2,54	1.737,36
1.3	<b>m³ EXCAVACIÓN EN ZANJAS HASTA 4 M</b> Excavación en zanjas hasta 4m. en cualquier tipo de terreno, incluso carga y transporte de productos a lugar de empleo o acopio.	212,80	25,73	5.475,34
1.4	<b>m³ HORMIGÓN HNE-15</b> Suministro y colocación de hormigón HNE-15 en fondo de excavación.	94,24	59,28	5.586,55
1.5	<b>m³ RELLENO LOCALIZADO CON MATERIAL PROCEDENTE DE LA EXCAVACIÓN</b> Relleno localizado en zanja con material procedente de la excavación y posterior compactación hasta alcanzar el 95% del Proctor modificado.	106,40	5,29	562,86
1.6	<b>m SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE MALLA DE SEÑALIZACIÓN</b> Suministro y colocación de malla de señalización de alumbrado público.	760,00	0,60	456,00
1.7	<b>m PERFORACIÓN HORIZONTAL CON TOPO</b> Perforación horizontal con topo Ø110 mm en cualquier tipo de terreno o roca. Incluso tubo Ø110 mm., carga y transporte de productos a lugar de empleo o acopio y canon.	30,00	123,50	3.705,00
1.8	<b>m BANDEJA DE PVC</b> Suministro e instalación de bandeja de PVC de dimensiones 60x150 mm. para canalización de cables, según normas UNE 23727 y UNE 20672, montada superficialmente, incluso tapa, elementos de sustentación y anclaje y parte proporcional de accesorios. Totalmente terminada.	2480,00	21,92	54.361,60
1.9	<b>ud ARQUETA DE DERIVACIÓN, CRUCE O CAMBIO DE DIRECCIÓN</b> Suministro y colocación de arqueta de derivación, cruce o cambio de dirección de dimensiones 90x90x86 cm. fabricada con hormigón HNE-15, incluso excavación, transporte de productos sobrantes a vertedero, canon, grava gruesa en fondo y tapa de fundición.	20,00	176,00	3.520,00
1.10	<b>ud ARQUETA DE CRUCE DE CALZADA</b> Suministro y colocación de arqueta de cruce de calzada de dimensiones 90x90x120 cm. de profundidad fabricada con hormigón HNE-15, incluso excavación, transporte de productos sobrantes a vertedero, canon, grava gruesa en fondo y tapa de fundición.	3,00	224,00	672,00
1.11	<b>ud CIMENTACIÓN DE PUNTO DE LUZ</b> Cimentación de punto de luz de dimensiones 90x90x120 cm. realizada con hormigón HM-25 y cuatro pernos de anclaje con doble zunchado de acero según norma UNE 33.051. Incluso excavación, transporte de productos resultantes a vertedero, canon, encofrado y accesorios.	20,00	163,47	3.269,40
<b>TOTAL CAPÍTULO 1 OBRA CIVIL .....</b>				<b>82.994,11</b>
<b>CAPÍTULO 2 INSTALACIÓN ELÉCTRICA</b>				
2.1	<b>m CABLE RZ1-K (AS) 0,6/1 KV SECCIÓN 4(1x6)</b> Suministro y tendido de línea de alumbrado de baja tensión de cobre de 4(1x6) mm², tipo RZ1-K (AS) 0,6/1 KV, instalado sobre bandeja de PVC, incluso parte proporcional de accesorios y fijaciones. Totalmente instalado y conexionado.	618,50	9,88	6.110,78

# PRESUPUESTO Y MEDICIONES

CÓDIGO	RESUMEN	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
2.2	m CABLE RZ1-K (AS) 0,6/1 KV SECCIÓN 4(1x10) Suministro y tendido de línea de alumbrado de baja tensión de cobre de 4(1x10) mm <sup>2</sup> , tipo RZ1-K (AS) 0,6/1 KV, instalado sobre bandeja de PVC, incluso parte proporcional de accesorios y fijaciones. Totalmente instalado y conexionado.	943,18	13,00	12.261,34
2.3	m CABLE RZ1-K (AS) 0,6/1 KV SECCIÓN 4(1x16) Suministro y tendido de línea de alumbrado de baja tensión de cobre de 4(1x16) mm <sup>2</sup> , tipo RZ1-K (AS) 0,6/1 KV, instalado sobre bandeja de PVC, incluso parte proporcional de accesorios y fijaciones. Totalmente instalado y conexionado.	2097,56	17,11	35.889,25
2.4	m CABLE RZ1-K (AS) 0,6/1 KV SECCIÓN 4(1x25) Suministro y tendido de línea de alumbrado de baja tensión de cobre de 4(1x25) mm <sup>2</sup> , tipo RZ1-K (AS) 0,6/1 KV, instalado sobre bandeja de PVC, incluso parte proporcional de accesorios y fijaciones. Totalmente instalado y conexionado.	1319,75	20,10	26.526,98
2.5	m CONDUCTOR 1X16 EN RED DE TIERRA Conductor de cobre de 1x16 mm <sup>2</sup> , tipo 750 V de color amarillo-verde para red de tierra. Totalmente instalado y conexionado.	4622,72	4,90	22.651,33
2.6	m CONDUCTOR 1X35 EN RED DE TIERRA Conductor de cobre de 1x35 mm <sup>2</sup> , tipo 750 V de color amarillo-verde para red de tierra. Totalmente instalado y conexionado.	301,28	8,40	2.530,75
2.7	ud PICA DE ACERO COBRIZADO Suministro y montaje de pica de acero cobrizado de 2,5 m de longitud y 25 mm de diámetro en red de tierra. Totalmente instalada y conexionada.	52,00	19,00	988,00
2.8	ud CAJA DE CONEXIÓN Y PROTECCIÓN Suministro e instalación de caja de conexión y protección en interior de báculo. Totalmente conexionada y probada.	511,00	25,00	12.775,00
2.9	m CONDUCTOR 3x2,5 EN BÁCULO Suministro y colocación de conductor termoplástico especial tipo 0,6/1 kV de 3x2,5 mm <sup>2</sup> de sección, según norma UNE 21029 en interior de báculo. Totalmente instalado y conexionado.	300,00	3,40	1.020,00
2.10	ud BÁCULO 12 M Suministro y colocación de báculo de chapa de acero galvanizado de 12 m. de altura, incluso tornillería y anclajes. Totalmente terminado.	20,00	554,00	11.080,00
2.11	ud LUMINARIA EXTERIOR Suministro e instalación de luminaria modelo M-400A o similar para lámpara de vapor de sodio alta presión. Totalmente instalada y conexionada.	20,00	500,00	10.000,00
2.30	ud LUMINARIA INTERIOR 150 W Suministro e instalación de luminaria modelo PHR-404/D de Carandini o similar para lámpara de vapor de sodio alta presión de 150 W. Totalmente instalada y conexionada.	196,00	429,25	84.133,00
2.31	ud LUMINARIA INTERIOR 250 W Suministro e instalación de luminaria modelo PHR-404/D de Carandini o similar para lámpara de vapor de sodio alta presión de 250 W. Totalmente instalada y conexionada.	56,00	441,75	24.738,00
2.32	ud LUMINARIA INTERIOR 400 W Suministro e instalación de luminaria modelo PHR-404/D de Caran-	239,00	468,50	111.971,50

# PRESUPUESTO Y MEDICIONES

CÓDIGO	RESUMEN	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
	dini o similar para lámpara de vapor de sodio alta presión de 400 W. Totalmente instalada y conexionada.			
2.12	ud BALASTO Suministro e instalación de balasto en interior de luminaria. Totalmente conexionado.	511,00	35,00	17.885,00
2.13	ud LÁMPARA 150 W Suministro e instalación de lámpara de vapor de sodio alta presión de 150 W de potencia.	196,00	24,83	4.866,68
2.20	ud LÁMPARA 250 W Suministro e instalación de lámpara de vapor de sodio alta presión de 250 W de potencia.	56,00	26,47	1.482,32
2.21	ud LÁMPARA 400 W Suministro e instalación de lámpara de vapor de sodio alta presión de 400 W de potencia.	259,00	31,00	8.029,00
2.14	ud CUADRO DE MANDO Suministro y colocación de cuadro de mando y protección de Alumbrado Público dotado de 6 salidas y estabilizador-reductor de flujo. Incluso armario de poliéster reforzado con fibra de vidrio. Totalmente instalado, conectado y probado.	2,00	9.242,00	18.484,00
2.15	ud ACOMETIDA Suministro e instalación de acometida, incluso centro de transformación y entronque. Totalmente instalada y conexionada.	1,00	30.000,00	30.000,00
<b>TOTAL CAPÍTULO 2 INSTALACIÓN ELÉCTRICA.....</b>				<b>443.422,93</b>
<b>CAPÍTULO 3 SEGURIDAD Y SALUD</b>				
3.1	PRESUPUESTO SEGURIDAD Y SALUD Presupuesto de seguridad y salud, según anejo.	1,00	5.000,00	5.000,00
<b>TOTAL CAPÍTULO 3 SEGURIDAD Y SALUD.....</b>				<b>5.000,00</b>
<b>TOTAL .....</b>				<b>531.417,04</b>



***ALTERNATIVA 2 LED+VSAP***



# PRESUPUESTO Y MEDICIONES

CÓDIGO	RESUMEN	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
<b>CAPÍTULO 1 OBRA CIVIL</b>				
1.1	m <sup>2</sup> DESPEJE Y DESBROCE DEL TERRENO Despeje y desbroce del terreno por medios mecánicos, incluso retirada de tocones, carga y transporte de productos resultantes a instalación de gestión de residuos.	2280,00	1,60	3.648,00
1.2	m <sup>3</sup> EXCAVACIÓN DE TIERRA VEGETAL Excavación de tierra vegetal, incluso carga y transporte a lugar de acopio, empleo o instalación de gestión de residuos.	684,00	2,54	1.737,36
1.3	m <sup>3</sup> EXCAVACIÓN EN ZANJAS HASTA 4 M Excavación en zanjas hasta 4m. en cualquier tipo de terreno, incluso carga y transporte de productos a lugar de empleo o acopio.	212,80	25,73	5.475,34
1.4	m <sup>3</sup> HORMIGÓN HNE-15 Suministro y colocación de hormigón HNE-15 en fondo de excavación.	94,24	59,28	5.586,55
1.5	m <sup>3</sup> RELLENO LOCALIZADO CON MATERIAL PROCEDENTE DE LA EXCAVACIÓN Relleno localizado en zanja con material procedente de la excavación y posterior compactación hasta alcanzar el 95% del Proctor modificado.	106,40	5,29	562,86
1.6	m SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE MALLA DE SEÑALIZACIÓN Suministro y colocación de malla de señalización de alumbrado público.	760,00	0,60	456,00
1.7	m PERFORACIÓN HORIZONTAL CON TOPO Perforación horizontal con topo Ø110 mm en cualquier tipo de terreno o roca. Incluso tubo Ø110 mm., carga y transporte de productos a lugar de empleo o acopio y canon.	30,00	123,50	3.705,00
1.8	m BANDEJA DE PVC Suministro e instalación de bandeja de PVC de dimensiones 60x150 mm. para canalización de cables, según normas UNE 23727 y UNE 20672, montada superficialmente, incluso tapa, elementos de sustentación y anclaje y parte proporcional de accesorios. Totalmente terminada.	2480,00	21,92	54.361,60
1.9	ud ARQUETA DE DERIVACIÓN, CRUCE O CAMBIO DE DIRECCIÓN Suministro y colocación de arqueta de derivación, cruce o cambio de dirección de dimensiones 90x90x86 cm. fabricada con hormigón HNE-15, incluso excavación, transporte de productos sobrantes a vertedero, canon, grava gruesa en fondo y tapa de fundición.	20,00	176,00	3.520,00
1.10	ud ARQUETA DE CRUCE DE CALZADA Suministro y colocación de arqueta de cruce de calzada de dimensiones 90x90x120 cm. de profundidad fabricada con hormigón HNE-15, incluso excavación, transporte de productos sobrantes a vertedero, canon, grava gruesa en fondo y tapa de fundición.	3,00	224,00	672,00
1.11	ud CIMENTACIÓN DE PUNTO DE LUZ Cimentación de punto de luz de dimensiones 90x90x120 cm. realizada con hormigón HM-25 y cuatro pernos de anclaje con doble zunchado de acero según norma UNE 33.051. Incluso excavación, transporte de productos resultantes a vertedero, canon, encofrado y accesorios.	20,00	163,47	3.269,40
<b>TOTAL CAPÍTULO 1 OBRA CIVIL .....</b>				<b>82.994,11</b>
<b>CAPÍTULO 2 INSTALACIÓN ELÉCTRICA</b>				
2.1	m CABLE RZ1-K (AS) 0,6/1 KV SECCIÓN 4(1x6) Suministro y tendido de línea de alumbrado de baja tensión de cobre de 4(1x6) mm <sup>2</sup> , tipo RZ1-K (AS) 0,6/1 KV, instalado sobre bandeja de PVC, incluso parte proporcional de accesorios y fijaciones. Totalmente instalado y conexionado.	618,50	9,88	6.110,78

# PRESUPUESTO Y MEDICIONES

CÓDIGO	RESUMEN	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
2.2	m CABLE RZ1-K (AS) 0,6/1 KV SECCIÓN 4(1x10) Suministro y tendido de línea de alumbrado de baja tensión de cobre de 4(1x10) mm <sup>2</sup> , tipo RZ1-K (AS) 0,6/1 KV, instalado sobre bandeja de PVC, incluso parte proporcional de accesorios y fijaciones. Totalmente instalado y conexionado.	943,18	13,00	12.261,34
2.3	m CABLE RZ1-K (AS) 0,6/1 KV SECCIÓN 4(1x16) Suministro y tendido de línea de alumbrado de baja tensión de cobre de 4(1x16) mm <sup>2</sup> , tipo RZ1-K (AS) 0,6/1 KV, instalado sobre bandeja de PVC, incluso parte proporcional de accesorios y fijaciones. Totalmente instalado y conexionado.	2097,56	17,11	35.889,25
2.4	m CABLE RZ1-K (AS) 0,6/1 KV SECCIÓN 4(1x25) Suministro y tendido de línea de alumbrado de baja tensión de cobre de 4(1x25) mm <sup>2</sup> , tipo RZ1-K (AS) 0,6/1 KV, instalado sobre bandeja de PVC, incluso parte proporcional de accesorios y fijaciones. Totalmente instalado y conexionado.	1319,75	20,10	26.526,98
2.5	m CONDUCTOR 1X16 EN RED DE TIERRA Conductor de cobre de 1x16 mm <sup>2</sup> , tipo 750 V de color amarillo-verde para red de tierra. Totalmente instalado y conexionado.	4622,72	4,90	22.651,33
2.6	m CONDUCTOR 1X35 EN RED DE TIERRA Conductor de cobre de 1x35 mm <sup>2</sup> , tipo 750 V de color amarillo-verde para red de tierra. Totalmente instalado y conexionado.	301,28	8,40	2.530,75
2.7	ud PICA DE ACERO COBRIZADO Suministro y montaje de pica de acero cobrizado de 2,5 m de longitud y 25 mm de diámetro en red de tierra. Totalmente instalada y conexionada.	52,00	19,00	988,00
2.8	ud CAJA DE CONEXIÓN Y PROTECCIÓN Suministro e instalación de caja de conexión y protección en interior de báculo. Totalmente conexionada y probada.	436,00	25,00	10.900,00
2.9	m CONDUCTOR 3x2,5 EN BÁCULO Suministro y colocación de conductor termoplástico especial tipo 0,6/1 kV de 3x2,5 mm <sup>2</sup> de sección, según norma UNE 21029 en interior de báculo. Totalmente instalado y conexionado.	300,00	3,40	1.020,00
2.10	ud BÁCULO 12 M Suministro y colocación de báculo de chapa de acero galvanizado de 12 m. de altura, incluso tornillería y anclajes. Totalmente terminado.	20,00	554,00	11.080,00
2.11	ud LUMINARIA EXTERIOR LED 210 W. Suministro e instalación de luminaria LED de 210 W., incluso fuentes de luz y balasto. Totalmente instalada y conexionada.	20,00	850,00	17.000,00
2.30	ud LUMINARIA INTERIOR LED 104 W Suministro e instalación de luminaria LED modelo Tunled BCP560 1xECO113-1S/740 DSN de Philips o similar para lámpara LED de 104 W, incluso fuentes de luz y balasto. Totalmente instalada y conexionada.	194,00	1.235,00	239.590,00
2.31	ud LUMINARIA INTERIOR 250 W Suministro e instalación de luminaria modelo HNF-600 1xSON-T 250W de Philips o similar para lámpara de vapor de sodio alta presión de 250 W. Totalmente instalada y conexionada.	42,00	441,75	18.553,50
2.32	ud LUMINARIA INTERIOR 400 W Suministro e instalación de luminaria modelo HNF-600 1xSON-TPP	180,00	468,50	84.330,00



# PRESUPUESTO Y MEDICIONES

CÓDIGO	RESUMEN	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
	PLUS 400W de Philips o similar para lámpara de vapor de sodio alta presión de 400 W. Totalmente instalada y conexiada.			
2.12	ud BALASTO Suministro e instalación de balasto en interior de luminaria. Totalmente conexiada.	222,00	35,00	7.770,00
2.20	ud LÁMPARA 250 W Suministro e instalación de lámpara de vapor de sodio alta presión de 250 W de potencia.	42,00	26,47	1.111,74
2.21	ud LÁMPARA 400 W Suministro e instalación de lámpara de vapor de sodio alta presión de 400 W de potencia.	180,00	31,00	5.580,00
2.14	ud CUADRO DE MANDO Suministro y colocación de cuadro de mando y protección de Alumbrado Público dotado de 6 salidas y estabilizador-reductor de flujo. Incluso armario de poliéster reforzado con fibra de vidrio. Totalmente instalado, conectado y probado.	2,00	9.242,00	18.484,00
2.15	ud ACOMETIDA Suministro e instalación de acometida, incluso centro de transformación y entronque. Totalmente instalada y conexiada.	1,00	30.000,00	30.000,00
<b>TOTAL CAPÍTULO 2 INSTALACIÓN ELÉCTRICA.....</b>				<b>552.377,67</b>
<b>CAPÍTULO 3 SEGURIDAD Y SALUD</b>				
3.1	PRESUPUESTO SEGURIDAD Y SALUD Presupuesto de seguridad y salud, según anejo.	1,00	5.000,00	5.000,00
<b>TOTAL CAPÍTULO 3 SEGURIDAD Y SALUD.....</b>				<b>5.000,00</b>
<b>TOTAL .....</b>				<b>640.371,78</b>



**PROYECTO DE REHABILITACIÓN Y MEJORA DE LA  
INSTALACIÓN DE ALUMBRADO DEL TÚNEL JUAN MANUEL  
MORÓN GARCÍA. AUTOVÍA DEL NORTE A-1, P.K. 92+092**

**ANEJO.....ANÁLISIS ECONÓMICO**



## ÍNDICE

1. Introducción. Objeto
2. Descripción general de la actuación
3. Cálculo de la inversión
4. Determinación de los gastos de consumo energético
5. Determinación de los gastos de mantenimiento
6. Análisis de rentabilidad

Apéndice 1. Planos

Apéndice 2. Presupuestos



## **1. Introducción. Objeto**

En las Recomendaciones para la Iluminación de Túneles se establece que los proyectos de instalaciones que se redacten deben incluir un análisis económico de las alternativas planteadas, para facilitar la elección de la solución más adecuada.

El objeto de este anejo es exponer dicho análisis económico.

## **2. Descripción general de la actuación**

El proyecto consiste en la iluminación del Túnel Juan Manuel Morón García, también llamado Túnel de Somosierra, situado en el P.K. 92+092 de la Autovía del Norte A-1, cuya longitud es de 620 metros.

El túnel consta de dos tubos unidireccionales de sección tipo bóveda con revestimiento de hormigón. Cada uno de ellos consta de tres carriles de 3,5 metros de ancho cada uno, arcenes derecho e izquierdo 0,8 y 1 m de ancho respectivamente.

Como se puede ver en el resto de apartados del proyecto, se han planteado dos soluciones posibles. La alternativa 1 utiliza como fuentes de luz lámparas de vapor de sodio alta presión (VSAP) y la alternativa 2, lámparas de VSAP y LED.

Se considera el caso de la instalación existente que ha llegado al fin de su vida útil y se plantea la sustitución de la fuente de luz. Se plantean dos alternativas:

- Alternativa 1. Se realiza simplemente una reposición de todas las lámparas de VSAP por otras equivalentes y de sus equipos auxiliares. Con esta solución está previsto instalar 511 puntos de luz.
- Alternativa 2. En la iluminación exterior se realiza una sustitución de las luminarias de VSAP de 400 W por luminarias LED de 210 W y en la iluminación interior se reponen las lámparas de 240 y 400 W. de VSAP y sus equipos auxiliares y se sustituyen las luminarias de VSAP de 150 W por luminarias LED de 104 W Con esta solución está previsto instalar 436 puntos de luz.

En los dos casos hay que abordar un coste de puesta al día de la instalación para reparación de averías, sustitución de elementos deteriorados u obsoletos, reparación de bandejas y conductores, adecuación para la regulación de la iluminación, etc., que se estima como una partida alzada. En el caso de la alternativa 2 (VSAP y LED), se han incluido en ella los costes de la eliminación de las derivaciones a los puntos de luz existentes y de la ejecución de los nuevos en las posiciones donde se van a ubicar los nuevos puntos de luz, debido a la reubicación de estos debido a las diferentes características lumínicas de los LED.

En el resto de aspectos ambas alternativas tienen las mismas características, que son las siguientes:

- La instalación dispone de una acometida a la red y dos cuadros de mando (uno para cada tubo)
- Existen cuatro regímenes de funcionamiento:
  - Alumbrado “Pleno sol”.
  - Alumbrado “Nublado”.
  - Alumbrado “Crepuscular”.
  - Alumbrado “Nocturno” o “Permanente”.

- La distribución desde los cuadros hasta los puntos de luz se realiza mediante canalización de PVC en bandeja.

En el Apéndice 1 se adjuntan los planos de las dos alternativas en los que se puede observar la situación y características de las mismas.

### 3. Inversión

La inversión a realizar es el coste de puesta al día de la obra civil (arquetas, canalizaciones, cimentaciones, etc) y de la instalación eléctrica (conductores, equipos, cuadros, bandejas, derivaciones a puntos de luz, etc) más el de las lámparas y equipos de vapor de sodio o el de las luminarias LED. El presupuesto de las mismas para cada alternativa figura en el Apéndice 2 y su resumen es el siguiente:

Tabla 1. Presupuesto rehabilitación y mejora alternativa 1 (VSAP)

PRESUPUESTO ALTERNATIVA VSAP		
Capítulo	Descripción	Importe (€)
1	Obra Civil	3.000,00
2	Instalación Eléctrica	67.774,00
3	Seguridad y Salud	1.000,00
Total Presupuesto de Ejecución Material (PEM)		71.774,00
	17% Gastos generales	12.201,58
	6% Beneficio industrial	4.306,44
Suma		88.282,02
	18% IVA	15.890,76
PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN (PBL)		104.172,78

Tabla 2. Presupuesto rehabilitación y mejora alternativa 2 (VSAP y LED)

PRESUPUESTO ALTERNATIVA LED		
Capítulo	Descripción	Importe (€)
1	Obra Civil	32.000,00
2	Instalación Eléctrica	305.658,74
3	Seguridad y Salud	4.000,00
Total Presupuesto de Ejecución Material (PEM)		341.658,74
	17% Gastos generales	58.081,99
	6% Beneficio industrial	20.499,52
Suma		420.240,25
	18% IVA	75.643,25
PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN (PBL)		495.883,50



#### 4. Gastos de explotación. Consumo de energía

El consumo de energía total anual de la instalación de alumbrado se obtiene como sigue:

- Potencia instalada en cada circuito (kW): Es la suma de las potencias de todas las lámparas del circuito más las de los equipos auxiliares.
- Número anual de horas de funcionamiento de cada circuito: Varía en función de la luminancia registrada por el luminancímetro de control en las bocas del túnel.
- Consumo teórico (kWh): Es la suma de los productos de la potencia en funcionamiento por el número anual de horas correspondiente para cada régimen de funcionamiento, al que se le aplica un factor de corrección para tener en cuenta las pérdidas de la instalación.
- Coste fijo anual de la instalación: Se obtiene multiplicando la potencia total contratada, teniendo en cuenta las pérdidas (kW), por el coste del kW/mes y por los 12 meses del año.
- Coste variable: Es el producto del consumo teórico (kWh) por el coste del kWh.
- Coste total: Es la suma de los costes fijos más los costes variables

Para la alternativa 1 VSAP, se obtiene lo siguiente:

- Potencia instalada: Conociendo el número de lámparas de 150, 250 y 400 W instaladas en cada circuito (tabla 3), se obtiene:
  - Iluminación exterior:  $1,10 \times 20 \times 400 = 8.800 \text{ W} = 8,8 \text{ kW}$  (se ha multiplicado por 1,10 para considerar el consumo de los equipos auxiliares, que suele ser un 10% del consumo de la lámpara).
  - Iluminación interior
    - Pleno sol:  $1,1 \times (400 \times 135 + 250 \times 22 + 150 \times 20) = 68.750 \text{ W} = 68,75 \text{ kW}$ .
    - Nublado:  $1,1 \times (400 \times 53 + 250 \times 20 + 150 \times 4) = 29.480 \text{ W} = 29,48 \text{ kW}$ .
    - Crepuscular:  $1,1 \times (400 \times 51 + 250 \times 14 + 150 \times 1) = 26.455 \text{ W} = 26,46 \text{ kW}$ .
    - Nocturno:  $1,1 \times (400 \times 0 + 250 \times 0 + 150 \times 171) = 28.215 \text{ W} = 28,22 \text{ kW}$ .  
(se ha multiplicado por 1,10 para considerar el consumo de los equipos auxiliares, que suele ser un 10% del consumo de la lámpara).
    - Total:  $68,75 + 29,48 + 26,46 + 28,22 = 152,91 \text{ kW}$ .
  - Total iluminación interior y exterior:  $8,8 + 152,91 = 161,71 \text{ kW}$ .
- Número de horas de funcionamiento: Para la presente instalación, se estiman 150 días nublados y 215 días despejados al año, distribuidos como se muestra en la tabla 4.

Tabla 3. Número y potencia de las lámparas instaladas en cada circuito.

Régimen	Potencia (W)		
	400	250	150
Pleno sol	135	22	20
Nublado	53	20	4
Crepuscular	51	14	1
Nocturno	0	0	171
<b>Total</b>	<b>239</b>	<b>56</b>	<b>196</b>

Tabla 4. Distribución anual de días nublados y despejados.

Periodo	Días despejados	Días nublados
Enero-Febrero	19	40
Marzo-Abril	36	25
Mayo-Agosto	104	19
Septiembre-Octubre	36	25
Noviembre-Diciembre	20	41
<b>Total</b>	<b>215</b>	<b>150</b>

Suponiendo que los días despejados los circuitos de pleno sol y nublado se encienden y apagan a la vez y que los días nublados el circuito de pleno sol no se llega a encender, se estiman las horas de funcionamiento mostradas en la tabla 5.

Tabla 5. Horas diarias de funcionamiento de cada circuito.

Periodo	Condiciones lumínicas	Circuito			
		Pleno sol	Nublado	Crepuscular	Nocturno
Enero-Febrero	Despejado	8	8	10	24
	Nublado	0	8	10	24
Marzo-Abril	Despejado	10	10	12	24
	Nublado	10	10	12	24
Mayo-Agosto	Despejado	13	13	15	24
	Nublado	0	13	15	24
Septiembre-Octubre	Despejado	10	10	12	24
	Nublado	0	10	12	24
Noviembre-Diciembre	Despejado	8	8	10	24
	Nublado	0	8	10	24

Así, se obtienen las horas totales de funcionamiento anuales de cada circuito:

- Pleno sol: 19 días (enero-febrero) x 8 h/día + 36 días (marzo-abril) x 10 h/día + 104 días (mayo-agosto) x 13 h/día + 36 días (septiembre-octubre) x 10 h/día + 20 días (noviembre-diciembre) x 8,0 h/día = 2.384 h/año.
- Nublado: 59 días (enero-febrero) x 8 h/día + 61 días (marzo-abril) x 10 h/día + 123 días (mayo-agosto) x 13 h/día + 61 días (septiembre-octubre) x 10 h/día + 61 días (noviembre-diciembre) x 8 h/día = 3.779 h/año.
- Crepuscular: 59 días (enero-febrero) x 10 h/día + 61 días (marzo-abril) x 12 h/día + 123 días (mayo-agosto) x 15 h/día + 61 días (septiembre-octubre) x 12 h/día + 61 días (noviembre-diciembre) x 10 h/día = 4.509 h/año.
- Nocturno: 24 h/día x 365/días/año = 8.760 h/año

Para la iluminación exterior se estima una media de 10 horas de funcionamiento diarias, lo que hace un total de 3.650 horas/año.

- Consumo teórico (potencia instalada x nº de horas en cada régimen de funcionamiento). = 8,8 kW x 3.650 h/año + 68,75 kW x 2.384 h/año + 29,48 kW x 3.779 h/año + 26,46 kW x 4.509 h/año + 28,22 kW x 8.760 h/año = 673.940,26 kWh.
- Coste fijo: 161,71 kW x 1,07 x 2,51 €/mes y kW x 12 meses/año= 5.211,65 €/año (se ha multiplicado por 1,07 para considerar las pérdidas de la instalación).
- Coste variable: 673.940,26 kWh/año x 0,12 €/kWh = 80.872,83 €/año.

Para la alternativa 2 VSAP y LED, se obtiene lo siguiente:

- Potencia instalada: conociendo el número de lámparas de 150, 250 y 400 W instaladas en cada circuito (tabla 6), se obtiene:
  - Iluminación exterior: 1,10 x 20 x 210 = 4.620 W = 4,62 kW (se ha multiplicado por 1,10 para considerar el consumo de los equipos auxiliares, que suele ser un 10% del consumo de la lámpara).
  - Iluminación interior
    - Pleno sol: 1,1 x (400 x 88 + 250 x 14 + 104 x 0) = 38.700 W = 37,7 kW.
    - Nublado: 1,1 x (400 x 40 + 250 x 2 + 104 x 0) = 16.500 W = 16,5 kW.
    - Crepuscular: 1,1 x (400 x 52 + 250 x 24 + 104 x 26) = 29.504 W = 29,5 kW.
    - Nocturno: 1,1 x (400 x 0 + 250 x 2 + 104 x 168) = 17.972 W = 17,97 kW.  
(se ha multiplicado por 1,10 para considerar el consumo de los equipos auxiliares, que suele ser un 10% del consumo de la lámpara).
    - Total: 37,7 + 16,5 + 29,5 + 17,97 = 101,67 kW.

Tabla 6. Número y potencia de las lámparas instaladas en cada circuito

Régimen	Potencia (W)		
	400	250	LED (104)
Pleno sol	88	14	0
Nublado	40	2	0
Crepuscular	52	24	26
Nocturno	0	2	168
<b>Total</b>	<b>180</b>	<b>42</b>	<b>194</b>

- Total iluminación interior y exterior: 4,62 + 101,67 = 106,29 kW.
- Número de horas de funcionamiento: Son las mismas que para la alternativa 1. Así, las horas totales de funcionamiento anuales de cada circuito son:
  - Pleno sol: 2.384 h/año.
  - Nublado: 3.779 h/año.
  - Crepuscular: 4.509 h/año.
  - Nocturno: 8.760 h/año.

Para la iluminación exterior se estima una media de 10 horas de funcionamiento diarias, lo que hace un total de 3.650 horas/año.

- Consumo teórico (potencia instalada x nº de horas en cada régimen de funcionamiento) = 4,62 kW x 3.650 h/año + 37,7 kW x 2.384 h/año + 16,5 kW x 3.779 h/año + 29,5 kW x 4.509 h/año + 17,97 kW x 8.760 h/año = 459.526,00 kWh.
- Coste fijo: 106.29 kW x 1,07 x 2,51 €/mes y kW x 12 meses/año= 3.425,55 €/año (se ha multiplicado por 1,07 para considerar las pérdidas de la instalación).
- Coste variable: 459.526,00 kWh/año x 0,12 €/kWh = 55.143,12 €/año.

Los costes de explotación anuales finales de cada alternativa son los siguientes:

- Alternativa 1 VSAP:  $5.211,65 \text{ €/año} + 80.872,83 \text{ €/año} = 86.084,48 \text{ €/año}$ .
- Alternativa 2 VSAP y LED:  $3.560,27 \text{ €/año} + 55.143,12 \text{ €/año} = 58.703,39 \text{ €/año}$ .

## 5. Determinación de los gastos de mantenimiento

Los gastos de mantenimiento responden a las operaciones de mantenimiento programado (preventivo) y a las operaciones de mantenimiento correctivo. Las principales operaciones de mantenimiento programado son las revisiones y mediciones de la instalación, la limpieza de las luminarias y la sustitución de las lámparas y equipos auxiliares al final de su vida útil. Las principales operaciones de mantenimiento correctivo son las de sustitución de lámparas y equipos averiados antes del fin de su vida útil y reparación de otros elementos de la instalación que sufran averías.

### 5.1 Operaciones de mantenimiento preventivo

#### 5.1.1 Revisiones y mediciones

El seguimiento del Plan de mantenimiento preventivo en la instalación del estudio, que consta de tareas de revisión y medición diarias, mensuales, bimestrales, semestrales, anuales y quinquenales, se traduce en:

- 1 operario x 2 horas x 365 días/año con una furgoneta.
- 2 operarios 20 días/año con un camión cesta.

Que suponen un coste anual de 24.809 €, tanto en la alternativa 1 como en la alternativa 2.

#### 5.1.2 Limpieza de luminarias

Suponiendo que la limpieza se realiza con un camión con cesta, una furgoneta y tres operarios con un rendimiento de 65 luminarias al día, resulta un coste unitario de 10 €/ud.

- Alternativa 1. Se considera necesaria una limpieza anual de cada una de las luminarias de VSAP:  $511 \text{ ud./año} \times 10 \text{ €/ud.} = 5.110 \text{ €/año}$ .
- Alternativa 2. Las luminarias LED requieren menor mantenimiento, por lo que se considera necesaria su limpieza cada dos años. En el caso de estudio:  $222 \text{ (VSAP) ud/año} \times 10 \text{ €/ud.} + 0,5 \times 214 \text{ (LED) ud/año} \times 10 \text{ €/ud.} = 3.290 \text{ €/año}$ .

#### 5.1.3 Reposición de lámparas y equipos al final de su vida útil.

Debido a que en el alumbrado de túneles las fuentes de luz se encuentran en funcionamiento muchas más horas al año, no son válidas las vidas útiles de cada tipo de lámpara considerados en el alumbrado de carreteras a cielo abierto. En este caso, para estimarlas se ha realizado una media ponderada de las horas anuales de funcionamiento de cada lámpara para cada alternativa. Suposición válida para este anejo de cálculo económico. Así, en la alternativa 1, la vida útil media de las lámparas de VSAP es de 4 años, mientras que en la alternativa 2, la vida útil media de las lámparas de VSAP es de 6 años y de las de LED 7 años. Puede parecer que la vida útil de las lámparas de LED en túneles (7 años) es muy pequeña comparada con la de LED en carreteras (20 años), pero se debe tener en cuenta que en túneles funciona durante las 24 horas del día.

Por tanto, los costes de lámparas y equipos al final de su vida útil son:

- Alternativa 1. La vida útil de las lámparas VSAP es de 4 años aproximadamente (20.000 horas). Teniendo en cuenta que el periodo de estudio es de 20 años, será necesario sustituirlas cuatro veces a lo largo del periodo de estudio. Para los equipos auxiliares se estima una vida de 40.000 horas, es decir, habrá que sustituirlos cada 8 años, dos veces en el periodo. Tomando como coste medio de sustitución de lámparas VSAP 28,13 €, el coste total de sustitución de las lámparas será: 511 ud. x 28,13 €/ud. x 4 = 57.497,72 €, que se acometerá en cuatro desembolsos de 14.374,43 € en los años 4, 8, 12 y 16. El coste de sustitución de elementos auxiliares será de 511 ud. x 35 €/ud. x 2 = 35.770 €, que se acometerá en dos desembolsos de 17.885 € en los años 8 y 16. Estos costes están calculados para el año 1, por lo que es necesario aplicarles la inflación, estimada en un 3% anual.
- Alternativa 2. La vida útil de las lámparas VSAP es de 4 años aproximadamente (20.000 horas). Teniendo en cuenta que el periodo de estudio es de 20 años, será necesario sustituirlas cuatro veces a lo largo del periodo de estudio. Para las lámparas de LED se estima una vida útil de 60.000 horas, por lo que habrá que sustituirlas cada 7 años, dos veces durante el periodo de estudio. Para los equipos auxiliares se estima una vida de 40.000 horas, es decir, habrá que sustituirlos cada 8 años, dos veces en el periodo. Tomando como coste medio de sustitución de lámparas VSAP 28,13 €, el coste total de sustitución de las lámparas será: 222 ud. x 28,13 €/ud. x 4 = 24.979,44 €, que se acometerá en cuatro desembolsos de 6.244,86 € en los años 4, 8, 12 y 16. Para LED, estimando unos costes de sustitución de la luminaria de 850 €, los costes resultantes son: 214 ud. x 850 €/ud. x 2 = 363.800 €, que se acometerá en dos desembolsos de 181.900 € en los años 7 y 14. El coste de sustitución de elementos auxiliares será de 436 ud. x 35 €/ud. x 2 = 30.520 €, que se acometerá en dos desembolsos de 15.260 € en los años 8 y 16. Estos costes están calculados para el año 1, por lo que es necesario aplicarles la inflación, estimada en un 3% anual.

## 5.2 Operaciones de mantenimiento correctivo

### 5.2.1 Reposición de lámparas averiadas

Aunque los fabricantes garantizan la vida útil de las lámparas en caso de VSAP y de los LED, lógicamente siempre será necesaria alguna sustitución.

- Alternativa 1. A efectos de este estudio se considera que al año se tendrán que sustituir el 1% de las lámparas VSAP instaladas. Estimando unos costes de sustitución de lámpara de VSAP de 28,13 €, los costes resultantes son: 0,01 x 511 ud./año x 28,13 €/ud. = 143,75 €/año
- Alternativa 2. A efectos de este estudio se considera que al año se estropearán el 0,20% de las luminarias LED instaladas. En este caso es necesario sustituir la luminaria completa en la mayoría de los casos. Estimando unos costes de sustitución de la luminaria de LED de 850 €, los costes resultantes son: 0,01 x 222 (VSAP) ud./año x 28,13 €/ud. + 0,002 x 214 (LED) ud./año x 850 €/ud. = 426,25 €/año

### 5.2.2 Reposición de equipos auxiliares

Se pueden suponer unas faltas del 0,50% de los equipos auxiliares para las dos alternativas. El coste de reparación de elementos auxiliares será de:

- Alternativa 1: 0,005 x 511 ud./año x 35 €/ud. = 89,42 €/año
- Alternativa 2: 0,005 x 436 ud./año x 35 €/ud. = 76,30 €/año

### 5.3 Gastos totales de mantenimiento

Por tanto, los costes totales anuales de mantenimiento para cada una de las alternativas son los siguientes:

- Alternativa 1 VSAP:  $24.809 \text{ €/año} + 5.110 \text{ €/año} + 143,75 \text{ €/año} + 89,42 \text{ €/año} = 30.152,17 \text{ €/año}$ . Además se acometerán cuatro desembolsos de  $14.374,43 \text{ €}$  en los años 4, 8, 12 y 16 y otros dos de  $17.885 \text{ €}$  en los años 8 y 16, correspondientes a la reposición de lámparas y equipos auxiliares al final de su vida útil. Estos costes están calculados para el año 1, por lo que es necesario aplicarles la inflación, estimada en un 3% anual.
- Alternativa 2 VSAP y LED:  $24.809 \text{ €/año} + 3.290 \text{ €/año} + 426,25 \text{ €/año} + 76,30 \text{ €/año} = 28.601,55 \text{ €/año}$ . Además se acometerán cuatro desembolsos de  $6.244,86 \text{ €}$  en los años 4, 8, 12 y 16 correspondientes a la reposición de lámparas de VSAP, otros dos de  $181.900 \text{ €}$  en los años 7 y 14 correspondientes a la reposición de luminarias LED y otros dos de  $15.260 \text{ €}$  en los años 8 y 16 correspondientes a la reposición de equipos auxiliares al final de su vida útil. Estos costes están calculados para el año 1, por lo que es necesario aplicarles la inflación, estimada en un 3% anual.

## 6. Análisis de rentabilidad

El análisis económico se realiza en base a los flujos de gastos de cada una de las alternativas a lo largo del periodo de estudio, actualizándolos al año de puesta en servicio, lo que nos da el valor actual neto (VAN) de dichos flujos para cada alternativa.

En principio, resultará más favorable desde el punto de vista económico la alternativa cuyo VAN sea menor, ya que significará que es la que al final de su vida útil ha necesitado menos desembolsos actualizados al año de puesta en servicio; ahora bien, éste no es el único criterio que debe tenerse en cuenta, también conviene analizar qué porcentaje representa la inversión inicial con respecto al total de los desembolsos y si éstos tienen una distribución a lo largo de los años que pueda ocasionar algún problema.

- Plazo: El periodo de estudio considerado es de 20 años
- Tasa de actualización: Se ha previsto una tasa anual única como media para todo el periodo del 5%, que es la rentabilidad que se estima que tendrá como media la deuda del estado en los 20 años.
- Inflación: Se ha considerado una inflación anual media del 3% para todos los años

Además en este caso, por tratarse de un proyecto de rehabilitación y mejora, se debe analizar la rentabilidad que supone el mejorar la situación actual (Alternativa 1) mediante la sustitución por luminarias LED (Alternativa 2). Para ello se calculará la tasa interna de retorno (TIR) para el periodo de 20 años, correspondiente a los flujos monetarios diferenciales entre la alternativa 2 y la alternativa 1, considerando los ahorros como ingresos.

### 6.1 Inversión inicial

Como inversión inicial se han considerado los presupuestos de las obras de las dos alternativas que figuran en el apartado 3:

- Alternativa 1 VSAP:  $88.282,02 \text{ €}$ .
- Alternativa 2 VSAP y LED:  $420.240,25 \text{ €}$ .

Se considera que toda la inversión se realiza durante el año anterior al de puesta en servicio (año 0), por lo que la valoración de las alternativas se ha realizado en euros de dicho año.

## 6.2 Gastos de explotación. Consumo de energía

De acuerdo con lo expuesto en el apartado 4, los gastos de explotación para ambas alternativas en el año de puesta en servicio son:

- Alternativa 1 VSAP:  $5.211,65 \text{ €/año} + 80.872,83 \text{ €/año} = 86.084,48 \text{ €/año}$ .
- Alternativa 2 VSAP y LED:  $3.560,27 \text{ €/año} + 55.143,12 \text{ €/año} = 58.703,39 \text{ €/año}$ .

Para el resto de los años, se considera que los gastos de explotación se incrementan con la inflación en un 3%.

## 6.3 Gastos de mantenimiento

De acuerdo con lo expuesto en el apartado 5, los gastos de mantenimiento para cada una de las alternativas en el año de puesta en servicio son:

- Alternativa 1 VSAP:  $24.809 \text{ €/año} + 5.110 \text{ €/año} + 143,75 \text{ €/año} + 89,42 \text{ €/año} = 30.152,17 \text{ €/año}$ . Además se acometerán cuatro desembolsos de  $14.374,43 \text{ €}$  en los años 4, 8, 12 y 16 y otros dos de  $17.885 \text{ €}$  en los años 8 y 16, correspondientes a la reposición de lámparas y equipos auxiliares al final de su vida útil.
- Alternativa 2 VSAP y LED:  $24.809 \text{ €/año} + 3.290 \text{ €/año} + 426,25 \text{ €/año} + 76,30 \text{ €/año} = 28.601,55 \text{ €/año}$ . Además se acometerán cuatro desembolsos de  $6.244,86 \text{ €}$  en los años 4, 8, 12 y 16 correspondientes a la reposición de lámparas de VSAP, otros dos de  $181.900 \text{ €}$  en los años 7 y 14 correspondientes a la reposición de luminarias LED y otros dos de  $15.260 \text{ €}$  en los años 8 y 16 correspondientes a la reposición de equipos auxiliares al final de su vida útil.

## 6.4 Conclusión

De acuerdo con las consideraciones anteriores, se han elaborado los cuadros de flujos que se adjuntan y de los que se extraen las siguientes conclusiones:

- VAN Alternativa 1 VSAP:  $2.020.072 \text{ €}$ .
- VAN Alternativa 2 VSAP y LED:  $2.156.987 \text{ €}$ .
- La TIR es del  $-0,04\%$ .

En principio, con los datos obtenidos no parece rentable sustituir la solución actual por una de LED+VSAP. Sin embargo, hay que tener en cuenta la posibilidad real que tienen las luminarias LED de regulación total del flujo luminoso, que no se ha tenido en cuenta en este estudio. Gracias a esta regulación instantánea es posible disminuir la luminosidad en las horas nocturnas de menor tráfico. Incluso se pueden llegar a instalar detectores de presencia, de forma que aumente la luminosidad al paso de los vehículos, con el importante ahorro que esto supone.





**PROYECTO DE REHABILITACIÓN Y MEJORA**

**ALTERNATIVA 1 VSAP**

FLUJOS ECONÓMICOS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	TOTAL	VAN	TIR
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032			
<b>INVERSIÓN</b>																								
Coste de las obras	88.282	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	88.282	88.282	
<b>TOTAL INVERSIÓN:</b>	<b>88.282</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>88.282</b>	<b>88.282</b>	
<b>GASTOS DE EXPLOTACIÓN</b>																								
Consumos eléctricos	0	86.084	88.667	91.327	94.067	96.889	99.796	102.789	105.873	109.049	112.321	115.690	119.161	122.736	126.418	130.210	134.117	138.140	142.285	146.553	150.950	2.313.122	1.374.320	
<b>TOTAL GASTOS DE EXPLOTACIÓN:</b>	<b>0</b>	<b>86.084</b>	<b>88.667</b>	<b>91.327</b>	<b>94.067</b>	<b>96.889</b>	<b>99.796</b>	<b>102.789</b>	<b>105.873</b>	<b>109.049</b>	<b>112.321</b>	<b>115.690</b>	<b>119.161</b>	<b>122.736</b>	<b>126.418</b>	<b>130.210</b>	<b>134.117</b>	<b>138.140</b>	<b>142.285</b>	<b>146.553</b>	<b>150.950</b>	<b>2.313.122</b>	<b>1.374.320</b>	
<b>GASTOS DE MANTENIMIENTO</b>																								
<b>Mantenimiento preventivo</b>																								
Revisiones y mediciones	0	24.809	25.553	26.320	27.109	27.923	28.760	29.623	30.512	31.427	32.370	33.341	34.341	35.372	36.433	37.526	38.652	39.811	41.005	42.236	43.503	666.627	396.070	
Limpeza de luminarias	0	5.110	5.263	5.421	5.584	5.751	5.924	6.102	6.285	6.473	6.667	6.867	7.073	7.286	7.504	7.729	7.961	8.200	8.446	8.699	8.960	137.308	81.580	
Reposición de lámparas al final de su vida útil	0	0	0	0	16.179	0	0	0	18.209	0	0	0	20.495	0	0	0	23.067	0	0	0	0	77.950	47.615	
Reposición de equipos al final de su vida útil	0	0	0	0	0	0	0	0	22.656	0	0	0	0	0	0	0	28.700	0	0	0	0	51.356	28.482	
<b>Mantenimiento correctivo</b>																								
Reposición de lámparas averiadas	0	144	148	153	157	162	167	172	177	182	188	193	199	205	211	217	224	231	238	245	252	3.863	3.863	
Reposición de equipos auxiliares	0	89	92	95	98	101	104	107	110	113	117	120	124	127	131	135	139	143	148	152	157	2.403	2.403	
<b>TOTAL GASTOS DE MANTENIMIENTO:</b>	<b>0</b>	<b>30.152</b>	<b>31.057</b>	<b>31.988</b>	<b>49.127</b>	<b>33.937</b>	<b>34.955</b>	<b>36.003</b>	<b>77.948</b>	<b>38.196</b>	<b>39.342</b>	<b>40.522</b>	<b>62.233</b>	<b>42.990</b>	<b>44.279</b>	<b>45.608</b>	<b>98.743</b>	<b>48.385</b>	<b>49.837</b>	<b>51.332</b>	<b>52.872</b>	<b>939.506</b>	<b>557.470</b>	
<b>TOTAL GASTOS:</b>	<b>88.282</b>	<b>116.237</b>	<b>119.724</b>	<b>123.315</b>	<b>143.194</b>	<b>130.825</b>	<b>134.750</b>	<b>138.793</b>	<b>183.821</b>	<b>147.245</b>	<b>151.662</b>	<b>156.212</b>	<b>181.394</b>	<b>165.726</b>	<b>170.697</b>	<b>175.818</b>	<b>232.860</b>	<b>186.526</b>	<b>192.121</b>	<b>197.885</b>	<b>203.822</b>	<b>3.340.910</b>	<b>2.020.072</b>	

**ALTERNATIVA 2 LED**

FLUJOS ECONÓMICOS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	TOTAL	VAN	TIR
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032			
<b>INVERSIÓN</b>																								
Coste de las obras	420.240	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	420.240	420.240	
<b>TOTAL INVERSIÓN:</b>	<b>420.240</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>420.240</b>	<b>420.240</b>	
<b>GASTOS DE EXPLOTACIÓN</b>																								
Consumos eléctricos	0	58.703	60.464	62.278	64.147	66.071	68.053	70.095	72.198	74.364	76.595	78.892	81.259	83.697	86.208	88.794	91.458	94.202	97.028	99.939	102.937	1.577.382	937.187	
<b>TOTAL GASTOS DE EXPLOTACIÓN:</b>	<b>0</b>	<b>58.703</b>	<b>60.464</b>	<b>62.278</b>	<b>64.147</b>	<b>66.071</b>	<b>68.053</b>	<b>70.095</b>	<b>72.198</b>	<b>74.364</b>	<b>76.595</b>	<b>78.892</b>	<b>81.259</b>	<b>83.697</b>	<b>86.208</b>	<b>88.794</b>	<b>91.458</b>	<b>94.202</b>	<b>97.028</b>	<b>99.939</b>	<b>102.937</b>	<b>1.577.382</b>	<b>937.187</b>	
<b>GASTOS DE MANTENIMIENTO</b>																								
<b>Mantenimiento preventivo</b>																								
Revisiones y mediciones	0	24.809	25.553	26.320	27.109	27.923	28.760	29.623	30.512	31.427	32.370	33.341	34.341	35.372	36.433	37.526	38.652	39.811	41.005	42.236	43.503	666.627	396.070	
Limpeza de luminarias	0	3.290	3.389	3.490	3.595	3.703	3.814	3.928	4.046	4.168	4.293	4.421	4.554	4.691	4.831	4.976	5.126	5.279	5.438	5.601	5.769	88.404	52.524	
Reposición de lámparas al final de su vida útil	0	0	0	0	7.029	0	0	223.714	7.911	0	0	0	8.904	0	275.140	0	10.021	0	0	0	0	532.719	318.640	
Reposición de equipos al final de su vida útil	0	0	0	0	0	0	0	0	19.331	0	0	0	0	0	0	0	24.488	0	0	0	0	43.819	24.302	
<b>Mantenimiento correctivo</b>																								
Reposición de lámparas averiadas	0	426	439	452	466	480	494	509	524	540	556	573	590	608	626	645	664	684	705	726	747	11.453	6.805	
Reposición de equipos auxiliares	0	76	79	81	83	86	88	91	94	97	100	103	106	109	112	115	119	122	126	130	134	2.050	1.218	
<b>TOTAL GASTOS DE MANTENIMIENTO:</b>	<b>0</b>	<b>28.602</b>	<b>29.460</b>	<b>30.343</b>	<b>38.283</b>	<b>32.191</b>	<b>33.157</b>	<b>257.866</b>	<b>62.418</b>	<b>36.232</b>	<b>37.319</b>	<b>38.438</b>	<b>48.495</b>	<b>40.779</b>	<b>317.142</b>	<b>43.262</b>	<b>79.069</b>	<b>45.897</b>	<b>47.274</b>	<b>48.692</b>	<b>50.153</b>	<b>1.345.072</b>	<b>799.560</b>	
<b>TOTAL GASTOS:</b>	<b>420.240</b>	<b>87.305</b>	<b>89.924</b>	<b>92.622</b>	<b>102.429</b>	<b>98.262</b>	<b>101.210</b>	<b>327.961</b>	<b>134.616</b>	<b>110.595</b>	<b>113.913</b>	<b>117.331</b>	<b>129.754</b>	<b>124.476</b>	<b>403.350</b>	<b>132.057</b>	<b>170.527</b>	<b>140.099</b>	<b>144.302</b>	<b>148.631</b>	<b>153.090</b>	<b>3.342.695</b>	<b>2.156.987</b>	

<b>DIFERENCIA DE FLUJOS ECONÓMICOS</b>	(331.958)	28.932	29.800	30.694	40.764	32.563	33.540	(189.168)	49.205	36.650	37.749	38.882	51.639	41.250	(232.653)	43.762	62.333	46.427	47.820	49.254	50.732	(1.784)	(136.915)	-0,04%
--	-----------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	-----------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	-----------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	---------	-----------	--------

<b>ACUMULADO</b>	(331.958)	(303.027)	(273.227)	(242.533)	(201.769)	(169.206)	(135.666)	(324.834)	(275.629)	(238.979)	(201.230)	(162.348)	(110.709)	(69.459)	(302.112)	(258.350)	(196.017)	(149.590)	(101.771)	(52.516)	(1.784)			
------------------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	----------	---------	--	--	--



## ***APÉNDICE 1. PLANOS***



***ALTERNATIVA 1 VSAP***



MADRID ←

BOCA SUR

Pleno sol: 3x150 W.  
Nublado: 0 W.  
Crepuscular: 0 W.  
Nocturno: 27x150 W

Pleno sol: 6x250 W.  
Nublado: 4x250 W.  
Crepuscular: 5x250 W.  
Nocturno: 5x150 W.

Pleno sol: 10x400 + 1x250 W.  
Nublado: 5x400 W.  
Crepuscular: 5x250 W.  
Nocturno: 5x150 W.

Pleno sol: 25x400 W.  
Nublado: 10x400 W.  
Crepuscular: 10x400 W.  
Nocturno: 6x150 W.

410 m

70 m

70 m

70 m

Pleno sol: 4x150 W.  
Nublado: 0 W.  
Crepuscular: 0 W.  
Nocturno: 27x150 W.

Pleno sol: 4x250 W.  
Nublado: 0 W.  
Crepuscular: 5x250 + 1x150 W.  
Nocturno: 5x150 W.

Pleno sol: 9x400 W.  
Nublado: 1x400 + 3x250 + 2x150 W.  
Crepuscular: 4x400 W.  
Nocturno: 5x150 W.

Pleno sol: 21x400 + 2x250 + 3x150 W.  
Nublado: 10x400 W.  
Crepuscular: 11x400 W.  
Nocturno: 5x150 W.

GALERÍA 1

GALERÍA 2

Pleno sol: 25x400 W.  
Nublado: 9x400 + 1x250 + 1x150 W.  
Crepuscular: 10x400 W.  
Nocturno: 5x150 W.

Pleno sol: 10x400 W.  
Nublado: 4x400 + 1x150 W.  
Crepuscular: 1x400 + 4x250 W.  
Nocturno: 5x150 W.

Pleno sol: 4x250 W.  
Nublado: 6x250 W.  
Crepuscular: 0 W.  
Nocturno: 5x150 W.

Pleno sol: 5x150 W.  
Nublado: 0 W.  
Crepuscular: 0 W.  
Nocturno: 28x150 W.

92 + 092

92 + 712

Pleno sol: 25x400 W.  
Nublado: 9x400 + 1x250 W.  
Crepuscular: 10x400 W.  
Nocturno: 6x150 W.

Pleno sol: 10x400 W.  
Nublado: 5x400 W.  
Crepuscular: 5x400 W.  
Nocturno: 5x400 W.

Pleno sol: 5x250 + 1x150 W.  
Nublado: 5x250 W.  
Crepuscular: 0 W.  
Nocturno: 4x150 W.

Pleno sol: 4x150 W.  
Nublado: 0 W.  
Crepuscular: 0 W.  
Nocturno: 28x150 W.

410 m

70 m

70 m

70 m

BOCA NORTE

→ BURGOS

CASETA TÉCNICA





***ALTERNATIVA 2 LED+VSAP***



MADRID ←

BOCA SUR

Pleno sol: 0 W.  
Nublado: 0 W.  
Crepuscular: 0 W.  
Nocturno: 21x104 W.

Pleno sol: 0 W.  
Nublado: 0 W.  
Crepuscular: 4x104 W.  
Nocturno: 0 W.

Pleno sol: 2x250 W.  
Nublado: 0 W.  
Crepuscular: 5x250 W.  
Nocturno: 8x104 W.

Pleno sol: 3x400 + 2x250 W.  
Nublado: 1x400 + 1x250 W.  
Crepuscular: 2x250 W.  
Nocturno: 3x104 W.

Pleno sol: 6x400 W.  
Nublado: 1x400 W.  
Crepuscular: 4x400 W.  
Nocturno: 2x104 W.

Pleno sol: 18x400 W.  
Nublado: 14x400 W.  
Crepuscular: 9x400 W.  
Nocturno: 5x104 W.

320 m

97,5 m

52,5 m

52,5 m

30 m

67,5 m

Pleno sol: 0 W.  
Nublado: 0 W.  
Crepuscular: 0 W.  
Nocturno: 21x104 W.

Pleno sol: 0 W.  
Nublado: 0 W.  
Crepuscular: 4x104 W.  
Nocturno: 0 W.

Pleno sol: 2x250 W.  
Nublado: 0 W.  
Crepuscular: 5x250 W.  
Nocturno: 8x104 W.

Pleno sol: 3x400 + 2x250 W.  
Nublado: 1x400 + 1x250 W.  
Crepuscular: 2x250 W.  
Nocturno: 3x104 W.

Pleno sol: 6x400 W.  
Nublado: 1x400 W.  
Crepuscular: 4x400 W.  
Nocturno: 2x104 W.

Pleno sol: 18x400 W.  
Nublado: 14x400 W.  
Crepuscular: 9x400 W.  
Nocturno: 5x104 W.

GALERÍA 1

GALERÍA 2

Pleno sol: 13x400 W.  
Nublado: 4x400 W.  
Crepuscular: 9x400 W.  
Nocturno: 5x104 W.

Pleno sol: 4x400 W.  
Nublado: 0 W.  
Crepuscular: 4x400 W.  
Nocturno: 2x104 W.

Pleno sol: 3x250 W.  
Nublado: 0 W.  
Crepuscular: 5x250 W.  
Nocturno: 3x104 W.

Pleno sol: 0 W.  
Nublado: 0 W.  
Crepuscular: 2x104 W.  
Nocturno: 1x250 + 4x104 W.

Pleno sol: 0 W.  
Nublado: 0 W.  
Crepuscular: 7x104 W.  
Nocturno: 6x104 W.

Pleno sol: 0 W.  
Nublado: 0 W.  
Crepuscular: 0 W.  
Nocturno: 21x104 W.

92 + 092

67,5 m

30 m

52,5 m

52,5 m

97,5 m

320 m

92 + 712

Pleno sol: 13x400 W.  
Nublado: 4x400 W.  
Crepuscular: 9x400 W.  
Nocturno: 5x104 W.

Pleno sol: 4x400 W.  
Nublado: 0 W.  
Crepuscular: 4x400 W.  
Nocturno: 2x104 W.

Pleno sol: 3x250 W.  
Nublado: 0 W.  
Crepuscular: 5x250 W.  
Nocturno: 3x104 W.

Pleno sol: 0 W.  
Nublado: 0 W.  
Crepuscular: 2x104 W.  
Nocturno: 1x250 + 4x104 W.

Pleno sol: 0 W.  
Nublado: 0 W.  
Crepuscular: 7x104 W.  
Nocturno: 6x104 W.

Pleno sol: 0 W.  
Nublado: 0 W.  
Crepuscular: 0 W.  
Nocturno: 21x104 W.

BURGOS →

CASETA TÉCNICA

LEYENDA

■ VSAP  
■ LED



SECRETARÍA DE ESTADO DE INFRAESTRUCTURAS  
DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS

PROYECTO DE REHABILITACIÓN Y MEJORA DE LA INSTALACIÓN DE ALUMBRADO DEL TÚNEL JUAN MANUEL MORÓN GARCÍA. AUTOVÍA A-1. P.K. 92+092

CLAVE: -

EL INGENIERO DE CAMBIOS DIRECTOR DEL PROYECTO:

VºPº EL JEFE DE LA DEMARCACION  
D. VICENTE MANOYA MARTINEZ-FALERO

CONSULTOR:



EL INGENIERO AUTOR DEL PROYECTO:

FECHA:

ENERO 2012

ESCALAS:

SIN ESCALA

TÍTULO DEL PLANO:

ALTERNATIVA 2 - LED  
DISTRIBUCIÓN DE PUNTOS DE LUZ

NÚMERO DE PLANO:

AP 1.1

HOJA 1 DE 1



## ***APÉNDICE 2. PRESUPUESTOS***



***ALTERNATIVA 1 VSAP***





# PRESUPUESTO Y MEDICIONES

CÓDIGO	RESUMEN	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
<b>CAPÍTULO 1 OBRA CIVIL</b>				
1.1	P.A. PUESTA AL DÍA OBRA CIVIL A justificar para puesta al día de la obra civil.	1,00	3.000,00	3.000,00
<b>TOTAL CAPÍTULO 1 OBRA CIVIL .....</b>				<b>3.000,00</b>
<b>CAPÍTULO 2 INSTALACIÓN ELÉCTRICA</b>				
2.1	P.A. PUESTA AL DÍA INSTALACIÓN ELÉCTRICA A justificar para puesta al día de la instalación eléctrica.	1,00	35.000,00	35.000,00
2.2	ud SUSTITUCIÓN DE LÁMPARA 150 W Sustitución de lámpara de VSAP de 150 W. de potencia.	196,00	25,83	5.062,68
2.3	ud SUSTITUCIÓN DE LÁMPARA 250 W Sustitución de lámpara de VSAP de 250 W. de potencia.	56,00	27,47	1.538,32
2.4	m SUSTITUCIÓN DE LÁMPARA 400 W Sustitución de lámpara de VSAP de 400 W. de potencia.	259,00	32,00	8.288,00
2.5	m SUSTITUCIÓN DE BALASTO Sustitución de balasto. Totalmente conexionado y probado.	511,00	35,00	17.885,00
<b>TOTAL CAPÍTULO 2 INSTALACIÓN ELÉCTRICA.....</b>				<b>67.774,00</b>
<b>CAPÍTULO 3 SEGURIDAD Y SALUD</b>				
3.1	PRESUPUESTO SEGURIDAD Y SALUD Presupuesto de seguridad y salud, según anejo.	1,00	1.000,00	1.000,00
<b>TOTAL CAPÍTULO 3 SEGURIDAD Y SALUD.....</b>				<b>1.000,00</b>
<b>TOTAL .....</b>				<b>71.774,00</b>



***ALTERNATIVA 2 LED+VSAP***



# PRESUPUESTO Y MEDICIONES

CÓDIGO	RESUMEN	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
<b>CAPÍTULO 1 OBRA CIVIL</b>				
1.1	P.A. PUESTA AL DÍA OBRA CIVIL A justificar para puesta al día de la obra civil.	1,00	32.000,00	32.000,00
<b>TOTAL CAPÍTULO 1 OBRA CIVIL .....</b>				<b>32.000,00</b>
<b>CAPÍTULO 2 INSTALACIÓN ELÉCTRICA</b>				
2.1	P.A. PUESTA AL DÍA INSTALACIÓN ELÉCTRICA A justificar para puesta al día de la instalación eléctrica.	1,00	24.000,00	24.000,00
2.2	ud DESMONTAJE DE LUMINARIA INTERIOR Desmontaje de luminaria interior, incluso transporte a zona de almacenamiento o zona de gestión de residuos y canon.	491,00	15,00	7.365,00
2.3	ud SUSTITUCIÓN DE LÁMPARA 250 W Sustitución de lámpara de VSAP de 250 W. de potencia. Totalmente instalada y conexionada.	42,00	24,47	1.027,74
2.4	ud SUSTITUCIÓN DE LÁMPARA 400 W Sustitución de lámpara de VSAP de 400 W. de potencia. Totalmente instalada y conexionada.	180,00	29,00	5.220,00
2.5	ud SUSTITUCIÓN DE BALASTO Sustitución de balasto. Totalmente conexionado y probado.	222,00	33,00	7.326,00
2.6	ud REUTILIZACIÓN LUMINARIA INTERIOR Instalación de luminaria interior. Totalmente instalada y conexionada.	222,00	15,00	3.330,00
2.7	ud LUMINARIA INTERIOR LED 104 W Suministro e instalación de luminaria LED modelo Tunled BCP560 1xECO113-1S/740 DSN de Philips o similar para lámpara LED de 104 W., incluso fuentes de luz y balasto. Totalmente conexionada y probada.	194,00	1.235,00	239.590,00
2.8	ud SUSTITUCIÓN LUMINARIA EXTERIOR Retirada de luminaria de VSAP y suministro e instalación de luminaria LED de 210 W., incluso balasto. Totalmente conexionada y probada.	20,00	890,00	17.800,00
<b>TOTAL CAPÍTULO 2 INSTALACIÓN ELÉCTRICA.....</b>				<b>305.658,74</b>
<b>CAPÍTULO 3 SEGURIDAD Y SALUD</b>				
3.1	PRESUPUESTO SEGURIDAD Y SALUD Presupuesto de seguridad y salud, según anejo.	1,00	4.000,00	4.000,00
<b>TOTAL CAPÍTULO 3 SEGURIDAD Y SALUD.....</b>				<b>4.000,00</b>
<b>TOTAL .....</b>				<b>341.658,74</b>