

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

TOMO I Recomendaciones para la iluminación de carreteras a cielo abierto



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE FOMENTO

SECRETARÍA DE ESTADO
DE INFRAESTRUCTURAS
TRANSPORTE Y VIVIENDA

SECRETARÍA GENERAL
DE INFRAESTRUCTURAS

DIRECCIÓN GENERAL
DE CARRETERAS

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

TOMO I
Recomendaciones para la iluminación
de carreteras a cielo abierto





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 1.
RECOMENDACIONES PARA LA ILUMINACIÓN
DE CARRETERAS A CIELO ABIERTO.**

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^a. del Rosario Cornejo Arribas
- María Carmen Corral Escribano
- Ignacio García-Arango Cienfuegos-Jovellanos
- Angel Luis García Garay
- Fernando Hernández Alastuey
- M^a. 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

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN. OBJETO	1
1.1 Justificación. Antecedentes	1
1.2 Objeto	2
1.3 Campo de aplicación	2

CAPÍTULO 2

CRITERIOS PARA ILUMINAR UN TRAMO DE CARRETERA. CLASES DE ALUMBRADO	3
2.1 Criterios para iluminar un tramo de carretera	3
2.2 Situaciones de proyecto, criterios de calidad y Clases de Alumbrado	4
2.2.1 Situaciones de proyecto.....	4
2.2.2 Criterios de calidad aplicables y Clases de Alumbrado	5
2.2.3 Selección de la clase de alumbrado	7

CAPÍTULO 3

ELEMENTOS COMPONENTES DE UNA INSTALACIÓN DE ILUMINACIÓN	9
3.1 Fuentes de luz	9
3.1.1. Lámparas de vapor de sodio de alta presión	10
3.1.2. Diodos electroluminiscentes (LEDS)	11
3.1.3. Relación entre la visibilidad y la cromaticidad de las fuentes de luz	14
3.1.4. Características cromáticas de las fuentes de luz y su importancia a bajos niveles de iluminación	15
3.2 Equipos eléctricos auxiliares	18
3.2.1 Equipos para lámparas de vapor de sodio de alta presión	18
3.2.1.1.- Balasto de tipo inductivo o capacitivo	18
3.2.1.2.- Balasto con dos niveles de potencia o “de doble nivel”	19
3.2.1.3.- Balasto electrónico	20
3.2.2 Sistemas de alimentación para LED	20
3.3 Luminarias	21
3.3.1 Luminarias de alumbrado vial	21
3.3.2 Proyectores	23
3.4 Columnas y soportes de puntos de luz	24
3.5 Dispositivos de regulación del flujo luminoso y consumo de los puntos de luz.....	25
3.5.1 Normativa específica	25
3.5.2 Requisitos cualitativos	26
3.5.3 Sistemas de regulación contemplados en el REEIAE	26
3.6 Distribución eléctrica	36
3.6.1 Canalizaciones	36
3.6.2 Conductores	38
3.6.3 Sistemas de protección	39
3.6.4 Cuadros de mando y medida	41
3.7 Control y gestión de la instalación	44
3.7.1 Requisitos	45
3.7.2 Tipos más importantes de sistemas de control y gestión	45
3.7.3 Normativa aplicable	49

CAPÍTULO 4

PROYECTOS DE ILUMINACIÓN	50
4.1 Introducción	50
4.2 Justificación de la solución adoptada.....	50
4.2.1 Implantación y disposición de luminarias.....	51
4.2.2. Obra civil	56
4.2.2.1 Cimentaciones.....	56
4.2.2.2 Zanjas.....	59
4.2.2.3 Arquetas	60
4.3 Cálculos luminotécnicos.....	64
4.4 Cálculos eléctricos	65
4.5 Distribución eléctrica	66
4.6 Calificación energética de la instalación (REEIAE)	67
4.6.1 Eficiencia energética de una instalación	67
4.6.2 Requisitos mínimos de eficiencia energética (ϵ)	68
4.6.3 Calificación energética de las instalaciones de alumbrado.....	68
4.7 Análisis Económico	69
4.8 Cuadro de características de la instalación de iluminación	71
4.9 Documentación a incluir	72
4.10 Normativa a tener en cuenta en la redacción de proyectos.....	73

CAPÍTULO 5

EJECUCIÓN DE OBRAS	75
5.1. Replanteo	75
5.2 Realización de las obras	75
5.2.1 Obra civil	76
5.2.1.1 Cimentaciones de báculos	76
5.2.1.2 Zanjas	76
5.2.1.3 Cruces.....	77
5.2.1.4 Arquetas	78
5.2.2 Instalación de cables.....	78
5.3 Control de Calidad.....	78
5.3.1 Control de los materiales y equipos	78
5.3.2 Control de ejecución.....	81
5.4 Recepción de las obras	82
5.4.1 Comprobaciones a realizar para la recepción	82
5.4.2 Verificaciones e inspecciones legales	83
5.4.3 Documentación final	84

CAPÍTULO 6

MANTENIMIENTO Y EXPLOTACIÓN DE LAS INSTALACIONES	86
6.1 Introducción	86
6.2 Normativa de aplicación	86
6.3 Inventario de instalaciones. Elementos y características	87
6.3.1 Estructura del inventario.....	88
6.3.2 Módulos de medida o punto de suministro.....	89
6.3.3 Centros de mando o cuadros de control	90
6.3.4 Conductores.....	91

6.3.5 Puntos de luz.....	91
6.4 Mantenimiento programado o preventivo.....	93
6.4.1 Operaciones de mantenimiento programado	93
6.4.2 Descripción y frecuencia de las operaciones de mantenimiento programado	95
6.4.3 Verificaciones e inspecciones obligatorias periódicas	98
6.5 Mantenimiento casual o correctivo.....	98
6.6 Agenda de Estado de la instalación.....	99
6.7 Reposición o sustitución masiva de luminarias.....	99
6.8 Explotación de la instalación	100
6.8.1 Niveles luminosos	100
6.8.2 Horarios	100
6.8.3 Eventos ocasionales.....	100
6.8.4 Análisis de costes de explotación	101
CAPÍTULO 7	
MEJORA Y REHABILITACIÓN DE LAS INSTALACIONES	102
7.1 Introducción.....	102
7.2 Evaluación del estado de la instalación	102
7.2.1 Revisiones periódicas. Incumplimiento de parámetros.....	102
7.2.2 Análisis de los costes de explotación	103
7.3 Actuaciones de rehabilitación y mejora.....	104
7.3.1 Actuaciones para el cumplimiento de los parámetros obligatorios	104
7.3.1.1 Eficiencia energética	104
7.3.1.2 Contaminación lumínica	105
7.3.2 Actuaciones para mejora de los costes de explotación.....	105
7.4 Análisis Económico de las actuaciones de rehabilitación y mejora	106
CAPÍTULO 8	
ILUMINACIÓN Y MEDIOAMBIENTE	107
8.1. Contaminación luminosa.....	107
8.1.1 Control del resplandor luminoso nocturno	107
8.1.2 Limitación de la luz intrusa o molesta sobre los residentes	109
8.2 Contaminación medioambiental.....	110
8.2.1 Diseño ecológico aplicable a los productos que utilizan energía	111
8.2.2 Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE).....	112
8.3 Eficiencia del uso final de la energía.....	113
8.4 Normativa sobre protección del medio ambiente.....	114
CAPÍTULO 9	
ILUMINACIÓN DE PUNTOS SINGULARES	115
9.1 Enlaces e intersecciones.....	115
9.2 Glorietas	122
9.3 Pasos de peatones.....	125

ANEJOS:

ANEJO 1. Términos y definiciones

ANEJO 2. Inventario

ANEJO 3. Cálculos luminotécnicos

ANEJO 4. Cálculos eléctricos

ANEJO 5. Cuadros eléctricos

ANEJO 6. Análisis económico

ANEJO 7. Ejemplos de alguna realización

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN. OBJETO

1.1 Justificación. Antecedentes

El tráfico por carretera ha continuado creciendo en las últimas décadas debido al desarrollo de la sociedad que se ha producido y el consiguiente incremento del nivel de motorización de la misma. Aunque la mayor parte del tráfico se produce durante las horas diurnas, un volumen significativo se realiza en los períodos de ausencia de luz natural; en España, aproximadamente el 25% del tráfico circula en horas nocturnas.

Una de las razones por las que se originan los accidentes es la falta de visibilidad por los conductores de los objetos situados en el trazado de su recorrido o que se presentan de forma repentina en el mismo.

Por la noche, los conductores disponen de los faros de los vehículos para resolver las exigencias visuales planteadas durante la conducción; pero a veces esta iluminación no es suficiente, sobre todo cuando la velocidad, la cantidad de vehículos o la complejidad de la escena nocturna son elevadas. En general, la distancia requerida para lograr que un vehículo se detenga de modo seguro suele exceder de la distancia de alcance de los faros del mismo, dependiendo de la velocidad de reconocimiento, de los tiempos de reacción y de frenado y de factores tales como la velocidad del vehículo y el estado seco o mojado de la calzada.

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

En el año 1999, 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 las novedades 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 trascendentales 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, los LEDS, con una serie de ventajas muy importantes con respecto a las tecnologías que se estaban utilizando actualmente, lo que requiere su 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 año 2010 la Comisión Europea de Iluminación aprobó la Recomendación: *CIE 115:2010 Alumbrado de carreteras para tráfico de vehículos y peatones*; en la misma se establecen nuevos criterios para la iluminación de carreteras a los que lógicamente es aconsejable adaptarse.

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 carreteras a cielo abierto” es ser el documento de referencia en las actuaciones de iluminación de los tramos de carretera a cielo abierto de la Red de Carreteras del Estado. Los objetivos que se persiguen con las mismas son:

- Establecer los criterios a aplicar sobre los tramos de carreteras en que está justificado iluminar y con qué nivel de iluminación.
- 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 condiciones 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 tramos de carretera a cielo abierto y sus elementos funcionales de la Red de Carreteras del Estado, tanto las de nueva ejecución como las existentes, 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 ILUMINAR UN TRAMO DE CARRETERA. CLASES DE ALUMBRADO

El objeto de este apartado es establecer los criterios que deben ser tenidos en cuenta en la justificación de la decisión de iluminar o no un tramo de carretera.

2.1 Criterios para iluminar un tramo de carretera

Tal y como recogen las Recomendaciones Internacionales redactadas por los expertos en iluminación a nivel mundial (CIE, Comisión Internacional de Alumbrado) y que han servido de base a las Normas Europeas (EN), los criterios de decisión sobre qué carreteras iluminar o no le corresponden a los Estados Soberanos de la Unión Europea, sirviendo las Normas (EN) sola y exclusivamente para que una vez tomada la decisión de iluminar una carretera, se establezcan los parámetros de la instalación de iluminación basándose en los niveles y criterios cualitativos establecidos en ellas con la finalidad de conseguir uniformidad entre los diferentes países de la Unión Europea.

Para la Red de Carreteras del Estado de España, los criterios que deben tenerse en cuenta a la hora de tomar la decisión sobre la procedencia de iluminar un tramo de carretera son:

- a) **AUTOVÍAS Y AUTOPISTAS:** Estará justificado iluminarlas cuando discurren por suelo urbano (ambas márgenes) y concurre alguna de las siguientes circunstancias:
 - La intensidad media de vehículos sea igual o superior a 80.000 vehículos por día. (**IMD \geq 80.000 vehículos/día**).
 - La intensidad media de vehículos sea igual o superior a 60.000 vehículos por día (**IMD \geq 60.000 vehículos/día**) y se produzcan más de 120 días de lluvia al año.
- b) **CARRETERAS CONVENCIONALES:** No se iluminarán en general, aunque podrá justificarse su iluminación en caso de que el tramo sea un TCA (Tramo de Concentración de Accidentes) y en los dos últimos años más del 50% de los accidentes se hayan producido en periodo nocturno.
- c) **PUNTOS SINGULARES:** Estará justificada la iluminación de los puntos singulares en los siguientes casos:
 - Glorietas situadas en carreteras convencionales, en las que por tener una importante intensidad de tráfico o por su peligrosidad no sea suficiente con una correcta señalización y balizamiento de la misma.
 - Enlaces situados en zonas interurbanas en los que la intensidad media de vehículos sea igual o superior a 80.000 vehículos por día (**IMD \geq 80.000 vehículos/día**).
 - Enlaces situados en zonas interurbanas en los que la intensidad media de vehículos sea igual o superior a 60.000 vehículos por día (**IMD \geq 60.000 vehículos/día**) y se produzcan más de 120 días de lluvia al año.
 - Cruces con glorietas e intersecciones a nivel, siempre que el tráfico de la carretera secundaria sea mayor que 10.000 vehículos por día, o bien sea un TCA con un porcentaje de accidentes nocturnos superior al 50% del total de accidentes durante los dos últimos años.

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

La iluminación de un tramo carretera o de un punto singular de la Red que no cumpla los criterios anteriores requerirá la autorización expresa del Director General de Carreteras, previo informe justificativo del Jefe de la Demarcación correspondiente.

2.2 Situaciones de proyecto, criterios de calidad y Clases de Alumbrado

Una vez tomada la decisión de iluminar una carretera, lo que procede es identificar la situación de proyecto a la que corresponde el tramo de carretera en cuestión, ya que en función de ésta se fijan los parámetros que definen la Clase de Alumbrado que hay que asignar al tramo.

2.2.1 Situaciones de proyecto

Las situaciones de proyecto en las que pueden quedar enmarcados los diferentes tipos de vía de circulación o puntos singulares se obtienen del Informe CR 13201-1:2002 del Comité Europeo de Normalización (CEN), en el cual se establecen en función de dos criterios:

- La velocidad típica del usuario principal
- Los tipos de usuario (principal, autorizado y excluido) que utilizan la carretera

De acuerdo con lo establecido en dicho informe, son objeto de estas Recomendaciones tan sólo las situaciones A1, A2 y A3, ya que las demás clases (B, C, D y E) no se dan en la Red de Carreteras del Estado, aunque pueden existir algunas situaciones excepcionales, como la situación C, que identifica, por ejemplo, las zonas conflictivas de las carreteras.

Velocidad típica del usuario principal km/h.	Tipos de usuario en el mismo área			Conjuntos de situaciones de alumbrado	Tipos de vías de circulación
	Usuario principal	Usuario autorizado	Usuario excluido		
> 60	Tráfico motorizado		Vehículos lentos Ciclistas Peatones	A1	Carreteras de calzadas separadas con cruces a distinto nivel y accesos controlados (autovías). Carreteras de calzada única de doble sentido de circulación y accesos limitados.
		Vehículos lentos	Ciclistas Peatones	A2	Carreteras interurbanas sin separación de aceras o de carriles bici
		Vehículos lentos Ciclistas Peatones		A3	Rondas de circunvalación. Carreteras interurbanas con accesos no restringidos.

Tabla 2.1. Situaciones de Proyecto

Una vez definidas las situaciones de proyecto según la Tabla 2.1, el paso siguiente es elegir la Clase de Alumbrado, que se establece en función del tipo de carretera a iluminar, y definir los criterios cuantitativos y cualitativos de iluminación que corresponden a cada una de las Clases de Alumbrado asignadas.

2.2.2 Criterios de calidad aplicables y Clases de Alumbrado

Una Clase de Alumbrado se define como el 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.

El propósito de introducir el concepto de Clase de Alumbrado es hacer más fácil el desarrollo y uso de los productos y servicios de alumbrado viario o de vías públicas en los países miembros del CEN.

La Norma UNE EN 13201-2 describe varias Clases de Alumbrado; son aplicables al ámbito de estas Recomendaciones las clases ME, MEW y CE.

Las clases ME y MEW están destinadas a conductores de vehículos motorizados en vías de tráfico fluido, ya que permiten velocidades de circulación elevadas; en algunos países también se emplean para vías residenciales.

Las clases CE están destinadas también a conductores de vehículos motorizados pero en áreas conflictivas, tales como calles comerciales, intersecciones de vías públicas de alguna complejidad, gloriets y áreas en las que se forman retenciones. Estas clases tienen también aplicación para peatones y ciclistas.

Los criterios de calidad usados para caracterizar las distintas clases de alumbrado son:

- Luminancia media de la superficie de la calzada (L_m).
- Uniformidad global de luminancia (U_0).
- Uniformidad longitudinal de luminancia (U_1).
- Relación de entorno (SR) .
- Incremento de umbral (TI en %).

Estos valores se aplican a los tramos de carretera cuya longitud es suficientemente larga para que pueda ser usado el concepto de luminancia (por la repetitividad de su implantación), fuera de las áreas conflictivas y/o áreas exteriores con medidas de tráfico en calma. La relación de entorno (SR) se tiene en cuenta para carreteras con aceras o pistas de bicicletas adyacentes solo cuando no se requieren exigencias específicas (englobadas dentro de la Norma como las Clases de Alumbrado P).

En todos los casos, los niveles aquí recogidos son valores máximos y no deberían ser superados en más de un 20%, salvo en las circunstancias excepcionales que se establecen en estas Recomendaciones.

El uso del concepto de luminancia requiere el conocimiento de las propiedades de reflexión de la superficie de la carretera. Son tenidas en cuenta bien a través de las propiedades reales (mediciones con reflectómetro de pavimentos) o bien mediante una **tabla r** de reflectancias de referencia, tales como las de los pavimentos estándares C y R definidos por la CIE (CIE 132-1999 y CIE144:2001).

Cuando de acuerdo con las indicaciones establecidas anteriormente, en los tramos de carretera que discurren por zonas en las que el número de días de lluvia al año es superior a 120 y sea necesario por tanto aplicar la serie MEW de Clases de Alumbrado, los valores exigibles de los criterios cualitativos aplicables a la instalación serán los que figuran en la tabla 2.3.

Clase	Luminancia media de la superficie de la calzada para estado seco			Deslumbramiento incapacitativo	Alumbrado de alrededores
	L_m en cd/m^2	U_o	U_l		
ME1	2,0	0,4	0,7	10	0,5
ME2	1,5	0,4	0,7	10	0,5
ME3a	1,0	0,4	0,7	15	0,5
ME3b	1,0	0,4	0,6	15	0,5
ME3c	1,0	0,4	0,5	15	0,5
ME4a	0,75	0,4	0,6	15	0,5
ME4b	0,75	0,4	0,5	15	0,5
ME5	0,5	0,35	0,4	15	0,5
ME6	0,3	0,35	0,4	15	Sin requisitos

^aUn aumento de 5 puntos de porcentaje en TI puede ser permitido cuando se usan fuentes de luz de baja luminancia

^bEste criterio puede ser aplicado solo cuando no hay áreas de tráfico con sus propios requisitos junto a la calzada

Tabla 2.2. Series ME de Clases de Alumbrado

Clase	Luminancia media de la superficie de la calzada			Deslumbramiento Incapacitativo	Alumbrado de alrededores	
	Estado seco		Húmedo			TI^a en % ^a [máximo]
	L_m en cd/m^2	U_o	U_l	U_o [mínima]		
MEW1	2,0	0,4	0,6	0,15	10	0,5
MEW2	1,5	0,4	0,6	0,15	10	0,5
MEW3	1,0	0,4	0,6	0,15	10	0,5
MEW4	0,75	0,4	No hay requisitos	0,15	10	0,5
MEW5	0,5	0,4	No hay requisitos	0,15	10	0,5

^aLa aplicación de este criterio es voluntaria, pero puede ser aplicado en autovías.

^bUn aumento de 5 puntos de porcentaje en TI puede ser permitido cuando se usan fuentes de luz de baja luminancia baja

^cEste criterio puede ser aplicado solo cuando no hay áreas de tráfico con sus propios requisitos la calzada

Tabla 2.3. Series MEW de Clases de Alumbrado

Además de lo indicado hasta ahora, las instalaciones de iluminación que se proyecten y se ejecuten deberán poder adaptarse a las diferentes necesidades de circulación que se produzcan en cada periodo horario, debiendo ser lo más eficientes posibles desde los puntos de vista energético y de mantenimiento y todo ello a un coste razonable de inversión, conservación y explotación.

También se consideran las clases CE que han sido definidas de acuerdo con la Norma UNE EN 13201-2 y que están destinadas a conductores de vehículos motorizados y otros usuarios de la vía pública en áreas conflictivas.

Clase	Iluminancia horizontal	
	E_m en lux [mínima mantenida]	U_o [mínima]
CE0	50	0,4
CE1	30	0,4
CE2	20	0,4
CE3	15	0,4
CE4	10	0,4
CE5	7,5	0,4

Tabla 2.4. Series CE de Clases de Alumbrado

Las clases CE están fundamentalmente destinadas a ser usadas cuando los cálculos de luminancia de superficie de calzada no se aplican o son impracticables. Esto puede ocurrir cuando las distancias de visión son menores de 60 m y cuando los resultados de luminancia varían dependiendo de la posición del observador en la vía por la que circula, como sucede por ejemplo en las glorietas. Por estar destinadas a otros usuarios de la vía pública, las clases CE tienen aplicación adicional para peatones y ciclistas en casos donde las clases S y A definidas en el capítulo 6 no son adecuadas.

La iluminancia media (E_m) y la uniformidad global de la iluminancia (U_o) han de ser calculadas y medidas de acuerdo con las normas EN 13201-3 y EN 13201-4.

El área de vía pública para la que se aplican los requisitos de la Tabla 2.4 puede incluir la calzada solamente, cuando se aplican requisitos separados para el alumbrado adecuado de otras áreas de una vía pública para peatones y ciclistas, o puede incluir también otras áreas de vía pública.

La limitación del deslumbramiento puede ser conseguida mediante la selección de luminarias de acuerdo con las clases G.1, G.2, G.3, G.4, G.5 o G.6 del anexo A de la norma UNE EN 13201-2; alternatively, cuando es practicable para evaluar valores de TI para cualesquiera combinaciones importantes de direcciones y posiciones del observador, puede aplicarse el valor TI tomado de la Tabla 2.2.

Con la finalidad de ahorrar energía, disminuir el resplandor luminoso nocturno y limitar la luz molesta, se deben adoptar las medidas siguientes:

- a) Durante ciertas horas de la noche (normalmente entre las 24:00 y las 06:00), debe reducirse el nivel de iluminación en las instalaciones de alumbrado vial, pudiendo llegar incluso a apagar completamente algunas partes o toda la instalación si así se justifica
- b) Emplear luminarias que cumplan con los límites de emisión de flujo hacia el hemisferio superior impuestas por el REEIAE y la CIE

Cuando se reduzca el nivel de iluminación, es decir, se varíe la Clase de Alumbrado a una hora determinada, deberán mantenerse los criterios de uniformidad de luminancia/iluminancia y el control del deslumbramiento.

2.2.3 Selección de la clase de alumbrado

Las clases de alumbrado designadas ME en la Norma UNE EN13201 corresponden a aquellas carreteras destinadas a vehículos motorizados que permiten una gama de velocidades de media a alta.

De acuerdo con las características que definen los distintos tipos de situaciones a las que pertenecen las carreteras de la Red de Carreteras del Estado, se emplearán las siguientes clases:

a) Criterio general:

- **AUTOVÍAS Y AUTOPISTAS.** En general se empleará el nivel **ME3**.
- **CARRETERAS CONVENCIONALES.** En general se empleará el nivel **ME4**.

En cualquier caso, en los tramos que sean TCA, si el 50% de los accidentes durante los dos últimos años se ha producido en periodos nocturnos, justificándose podrá elevarse de categoría la Clase de alumbrado, pasando de ME3 a ME2, en autovías, y de ME4 a ME3, en carreteras convencionales.

b) Cuando en el tramo de carretera o autovía a iluminar se produzcan más de 120 días de lluvia al año, se aplicarán las clases recogidas bajo la denominación MEW, y las Clases de Alumbrado a emplear serán:

- **AUTOVÍAS Y AUTOPISTAS.** Con carácter general se empleará la clase **MEW3**.
- **CARRETERAS CONVENCIONALES.** Con carácter general se empleará la clase **MEW4**.

En cualquier caso, siempre que el tramo sea un TCA y en los dos últimos años el 50% de los accidentes se hayan producido en periodo nocturno, justificándose podrá elevarse de categoría la Clase, pasando de MEW3 a MEW2, en autovías, y de MEW4 a MEW3, en carreteras convencionales.

c) Cuando se trate de iluminar puntos singulares, se aplicarán las clases recogidas bajo la denominación CE. Las Clases de alumbrado a emplear serán:

- **PUNTOS SINGULARES.** Con carácter general se empleará la clase CE2, excepto en glorietas que será CE1.

En cualquier caso, siempre que el tramo sea un TCA y en los dos últimos años el 50% de los accidentes se hayan producido en periodo nocturno, justificándose podrá elevarse de categoría la Clase, pasando de CE2 a CE1.

Además, debe cumplirse la normativa medioambiental vigente que se expone en el capítulo 8.

CAPÍTULO 3

ELEMENTOS COMPONENTES DE UNA INSTALACIÓN DE ILUMINACIÓN

Los elementos componentes de una instalación de alumbrado de carreteras a cielo abierto son:

- Fuentes de luz.
- Equipos eléctricos auxiliares.
- Luminarias.
- Columnas y soportes.
- Dispositivos de regulación de flujo luminoso y consumo.
- Distribución eléctrica.
- Control y gestión de la instalación.

A continuación se describen sus características más importantes y los criterios que se deben tener en cuenta para la selección de los tipos más adecuados en cada caso.

3.1 Fuentes de luz

Estos elementos son los generadores de la emisión de luz que posibilita, en ausencia de la luz natural, la realización de la tarea visual de los usuarios de la carretera. No se va a realizar una descripción detallada de las mismas, con carácter general, ni de la forma de producir la emisión luminosa, ni de la variedad de modelos y formas; tan solo se indicarán aquellos parámetros que se consideran importantes para poder realizar una selección adecuada de las mismas.

La denominación “fuentes de luz” engloba toda la variedad de elementos que son capaces de generar luz. Hasta hace aproximadamente una década, las únicas fuentes de luz que se empleaban en instalaciones de alumbrado para carreteras eran las lámparas de descarga (las incandescentes no son utilizables por su cortísima duración de vida, del orden de unas 500 a 1500 horas), pero hace justo una década han aparecido los dispositivos emisores de luz de estado sólido, LED, que tienen unas excelentes prestaciones.

En general, las fuentes de luz deben responder a las exigencias siguientes:

- Conseguir, mediante su empleo, el cumplimiento de los criterios de calidad de iluminación (luminancia, uniformidad, etc.) de una instalación de alumbrado.
- Permitir economizar la energía eléctrica consumida, mediante unas buenas eficacia luminosa (lm/W) y eficiencia fotométrica.
- Cubrir (duración de vida) el mayor número posible de horas de funcionamiento de la instalación, que en el caso de alumbrado a cielo abierto se cifra en 4.200 horas/año aproximadamente.
- Hacer posible la mayor separación entre puntos de luz posible, manteniendo un flujo luminoso correcto y uniforme.
- 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 instalaciones adaptables a las necesidades del tráfico.
- Responder adecuadamente a las condiciones climatológicas de la instalación (temperaturas extremas, etc.).
- Cumplir con la exigencia de limitar el resplandor luminoso.

Del análisis de las diferentes fuentes de luz en relación con las exigencias anteriores, se concluye que, para una instalación de alumbrado de carreteras a cielo abierto, las dos que mejor satisfacen las mismas con clara diferencia sobre las demás son:

- Lámparas de descarga de vapor de sodio de alta presión.
- Diodos Electroluminiscentes (LEDS).

Los otros tipos de fuentes de luz, tales como las lámparas fluorescentes, las lámparas de inducción, las lámparas de vapor de mercurio y de halogenuros metálicos y las lámparas de vapor de sodio de baja presión se descartan por los motivos siguientes:

- Bien por su baja eficiencia fotométrica y tamaño físico para conseguir un flujo luminoso suficiente, como es el caso de las lámparas fluorescentes o de las de inducción.
- Bien por su escasa eficacia luminosa (< 65 lm/W) y baja eficiencia energética, como es el caso de las lámparas de vapor de mercurio.
- Bien por su corta duración de vida útil (inferior a 12.000 h), como sucede con las lámparas de halogenuros metálicos.
- Bien por su mala eficiencia fotométrica (debida a su gran tamaño), su reducida cromaticidad y porque su tamaño físico condiciona las dimensiones de las luminarias y por tanto su coste a pesar de su elevada eficacia luminosa, como sucede con las lámparas de sodio baja presión.

Con objeto de tener una perspectiva de las características más importantes de los dos tipos más adecuados, a continuación se describen sus características.

3.1.1. Lámparas de vapor de sodio de alta presión

Las características de las lámparas de vapor de sodio alta presión son las que se exponen en la tabla 3.1. Los valores son orientativos, pero se encuentran bastante próximos a la generalidad de los fabricantes de lámparas más conocidos, pudiendo en algún caso haber diferencias inferiores al 10% en los valores de sus parámetros.

Potencia (W)	Flujo a 100h (lm)	Eficacia (lm/W)	Pérdidas en equipo (W) (**)	Eficacia conjunto lámpara+equipo (lm/W)	Vida útil (horas)	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

(*) Datos válidos en 2010

(**) Considerándose equipos inductivos

Tabla 3.1. Lámparas de vapor de sodio alta presión (*)

Las características de estas lámparas son:

- Como resumen energético, se puede afirmar que incluso 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), además de

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

- Es conveniente aclarar que este tipo de fuente de luz es bastante estable en su funcionamiento eléctrico y además posee una vida útil elevada (más de 18.000 h, que equivalen a más de 4 años de funcionamiento en una instalación de alumbrado de carreteras, pudiendo llegar hasta las 25.000 horas con buen equipo y tensión apropiada).
- 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 segundos, tardando aproximadamente 5 minutos en alcanzar el 100% de su flujo luminoso nominal, lo que la convierte en una de las lámparas más flexibles en este sentido.
- También merece la pena destacar que esta lámpara puede regularse en flujo luminoso y consumo energético, mediante alguno de los tres sistemas mencionados en el REEIAE (Reglamento de Eficiencia Energética para Instalaciones de Alumbrado Exterior), balasto de doble nivel, estabilizador-reductor de cabecera de línea y balasto electrónico. Una reducción del flujo luminoso por cualquiera de estos sistemas de un 50%, permite ahorrar como término medio un 40% de la energía consumida.
- Como se puede apreciar a la vista del valor consignado, 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 Kelvin) le confiere un típico color amarillo dorado, muy habitual en todas las instalaciones de alumbrado público.



Por último, añadir que la Norma que regula la fabricación de estas lámparas es la UNE EN 60662, que fija los valores eléctricos de funcionamiento para cada uno de los diferentes tipos y potencias.

3.1.2. Diodos electroluminiscentes (LEDS)

En la tabla 3.2 se resumen las características generales de los LED.

TIPO DE LED	FLUJO LUMINOSO (lm)	TEMPERATURA DE COLOR (Kelvin)	APARIENCIA DE COLOR
R2 – R5	114 – 139	5000 – 8000	BLANCO FRÍO
R2 – R4	114 – 130	4000 – 5300	BLANCO PARA EXTERIOR
Q5 – R3	107 – 122	3700 – 5000	BLANCO NEUTRO
Q3 – Q5	94 – 107	2600 – 4300	BLANCO Ra 80
Q3 – Q5	94 – 107	2600 – 3700	BLANCO CÁLIDO
P4 – Q3	80,6 – 94	2600 – 3200	BLANCO Ra 85
P4 – Q2	80,6 – 87,4	2600 – 3200	BLANCO Ra 90

Tabla 3.2. Diodos electroluminiscentes de alta potencia (2011)

Las variaciones observadas de color para las diferentes temperaturas 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.

Las características de esta fuente de luz son:

- 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%. Por tanto, puede hablarse, en función de las diferentes temperaturas de color, de un margen de variación de eficacia comprendido entre 75 y 125 lm/W, siendo menor cuanto más cálida es la temperatura del color y cuanto mayor es su índice de reproducción cromática. Habitualmente, en alumbrado de carreteras se suelen emplear LED de unos 95 – 100 lm/W de eficacia global.

En cuanto a su eficiencia energética, basada en sus capacidades fotométricas, debe indicarse que los LED emiten en general en un ámbito de 180 grados, 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 grados.

- Este dispositivo emisor de luz es bastante simple de funcionamiento eléctrico, tal y como se desprende del hecho de que es un componente semiconductor por el que sólo circula corriente en una dirección, de ahí que su funcionamiento responda al gráfico siguiente:

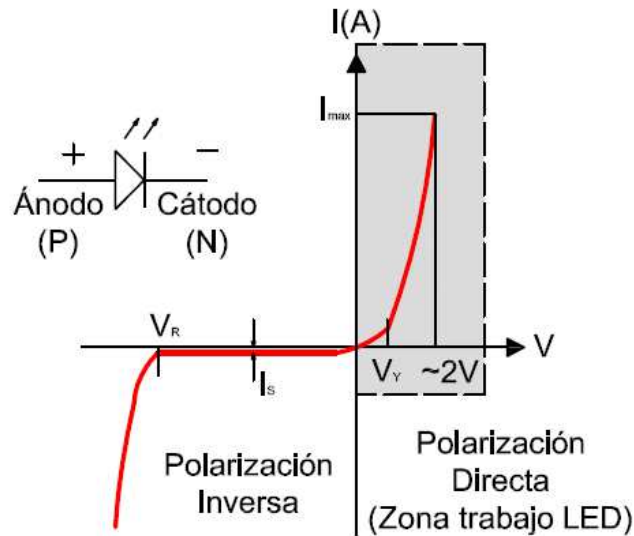


Figura 3.1. Funcionamiento del LED

- Respecto a la eficacia del LED, hay que tener en cuenta que a un mismo LED se le puede hacer trabajar a diferentes niveles de intensidad de corriente (normalmente 350mA, 750mA o 1A), dando como resultado que con el aumento de la corriente que circula en el LED, se incrementa también el flujo que emite, y al mismo tiempo la potencia consumida. Generalmente, la corriente para la cual la eficacia es mayor es 350mA, según se muestra en el gráfico adjunto.

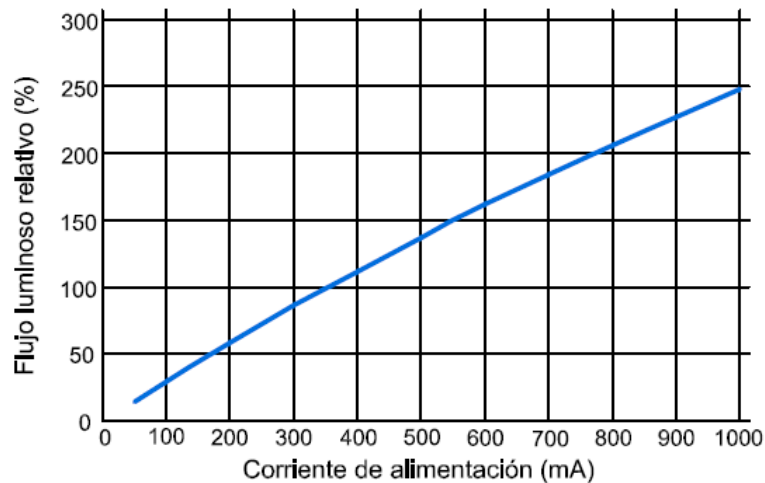


Figura 3.2. Influencia de la corriente de alimentación

- El LED es un elemento estable en su funcionamiento eléctrico, y además posee una vida útil bastante elevada (hasta 50.000 h, siempre que las condiciones térmicas de funcionamiento sean las adecuadas, lo que equivale a más de 12 años de funcionamiento en una instalación de alumbrado de carreteras). Su envejecimiento, que se debe en general a una depreciación luminosa en función de la temperatura de lo que se denomina como unión (junction en inglés), varía mucho con el valor de esta temperatura. En la gráfica siguiente se puede apreciar cómo varía el flujo luminoso emitido en función de la $T_{unión}$ (T_J).

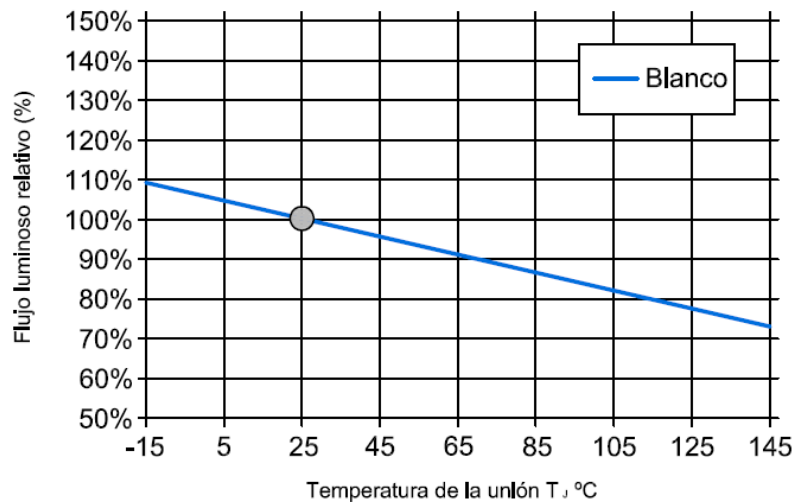


Figura 3.3. Flujo luminoso emitido en función de la temperatura de la unión

- En cuanto a su característica de respuesta a fallos temporales en la alimentación de la red, este tipo de lámparas reenciende en caliente instantáneamente, lo que la convierte en la fuente de luz más idónea en este sentido.
- Los LEDS, como ya se ha descrito, permiten su alimentación a distintas intensidades, por lo que puede regularse su flujo luminoso y consumo energético. Esta variación de la intensidad se logra a través de la fuente de alimentación, pudiendo hacer adaptable la instalación a las necesidades del tráfico, cumpliendo así con lo dispuestos en el REEIAE (Reglamento de Eficiencia Energética para Instalaciones de Alumbrado Exterior).
- El rendimiento cromático de estas fuentes de luz puede ser desde 65 a 90, como se observa en la tabla que se ha expuesto con sus características.

3.1.3. Relación entre la visibilidad y la cromaticidad de las fuentes de luz

Lo que aquí se recoge 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 y el comportamiento del ojo humano a los niveles de visión denominados mesópicos y también la evolución de la capacidad visual con la edad de las personas.

El tema es de una importancia manifiesta, por cuanto si los resultados definitivos de los estudios coinciden con las conclusiones que ya se tienen, se podrán disminuir los niveles de iluminación manteniendo una conducción de seguridad similar a la que existe actualmente (con niveles más elevados de iluminación).

Los resultados de estas investigaciones se recogen, 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 3 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. 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 sobre la visión a bajos niveles de iluminación. Los términos “Visión Mesópica” y “Visión Escotópica” son claves en esta discusión. Si bien parecía interesante con las fuentes de luz convencionales, hasta el punto de que hay normas nacionales, tales como la BS que para unos determinados niveles de iluminación permiten reducir el nivel a conseguir con una lámpara de luz blanca con buen rendimiento cromático, esta situación se ha agudizado con la aparición de los LED como fuente de luz de futuro, y su interés en aplicaciones tales como el alumbrado exterior de carreteras y calles.

Como fundamentos básicos para la comprensión de lo que aquí se va a exponer conviene comenzar con 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 la luminancia de adaptación en condiciones de alumbrado de carreteras.

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 fóvea 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 a 10 cd/m², 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 nm, correspondiente a un color verde-amarillento. Debido a esto las fuentes de luz con un elevado contenido en amarillo pueden tener eficacias elevadas.

Normalmente, en la actualidad todas las mediciones de luz se hacen usando la función de eficiencia luminosa espectral fotópica.

Visión escotópica: Los bastones son células sensibles a la luz con una gran sensibilidad, su distribución en la retina aumenta en el área periférica de la misma, siendo su máxima concentración aproximadamente a 15° de la dirección de visión. En el área central de la fovea no hay 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 cd/m², 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 se observa un claro desplazamiento hacia el extremo azul del espectro.

Como una característica de cuán efectivo 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. La Tabla 3.3 da los valores típicos para las 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 3.3. Relación S/P de cada fuente de luz.

Visión mesópica: A niveles de adaptación comprendidos entre 0,003 y 10 cd/m², tanto los conos como los bastones son activos. Cuanto menor es el nivel de adaptación más importantes son los conos. 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: Como en la fovea hay pocos bastones, las células que deciden 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 cd/m². Para este tipo de visión, pues, deben usarse unidades de luz fotópicas.

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?

Como resultado del efecto del espectro de la fuente de luz en el rango mesópico de la visión periférica, la Tabla 3.4 da resultados del modelo MOVE. 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 están dadas para diferentes luminancias de adaptación.

S/P	Luminancia de adaptación fotópica (cd/m ²)		
	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 3.4. Luminancia de adaptación

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

Visión de color en el rango mesópico

Como 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 contribuye a las prestaciones visuales. Además, recientes ensayos han demostrado que el reconocimiento facial con un índice de rendimiento cromático de $R_a > 50$, es mucho más fácil que con lámparas de sodio alta presión con un R_a menor de 25. Así, con luz blanca de $R_a > 50$ es necesario tan solo la mitad del nivel de iluminación para obtener la misma posibilidad de identificación. 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 $R_a > 60$.

Efecto 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. 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 ello y según lo expuesto con anterioridad, posiblemente las ventajas de utilización de luz rica en azul no son aplicables a las personas mayores.

De lo expuesto se deduce que la utilización de LEDS tiene, en general, más ventajas que las que aportan las lámparas de vapor de sodio, si bien en cada caso habrá que llevar a cabo el estudio comparativo correspondiente.

3.2 Equipos eléctricos auxiliares

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

3.2.1 Equipos para lámparas de vapor de sodio de alta presión

Las lámparas de descarga tienen necesidad, para su funcionamiento correcto 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. Los tipos de balasto pueden ser:

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

3.2.1.1.- Balasto de tipo inductivo o capacitivo

El balasto de tipo inductivo está constituido por una inductancia, es decir una impedancia inductiva (bobina), en serie con la lámpara y que estabiliza la corriente de lámpara desfasando la tensión y la intensidad.

El balasto de tipo capacitivo está constituido por una impedancia capacitiva (capacidad) en serie con la lámpara y que estabiliza la corriente de lámpara, además de producir un desfase entre la tensión y la intensidad; el empleo de condensadores a la frecuencia de 50 Hz puede provocar descargas muy dañinas para las lámparas, por lo que no se suele emplear si no es a frecuencias mayores de 300 Hz.

Así pues, con carácter prácticamente exclusivo, se emplean los balastos inductivos, y no se utilizan los balastos capacitivos, porque las inductancias son unos elementos de circuito que provocan menos incidentes.

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 la 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 como se puede apreciar en la tabla siguiente, se deben respetar ciertos límites del valor de pérdidas para que sean admisibles.

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

Tabla 3.5. Pérdidas de balastos inductivos admisibles para lámparas de vapor de sodio de alta presión

Los condensadores, que en los circuitos de lámpara tienen como función corregir el factor de potencia o desfase de la tensión e intensidad del circuito, se conectan en paralelo con la red.

Todos los balastos inductivos deberán cumplir lo exigido en las Normas UNE EN 60923:2006 y UNE-EN 61347-2-9:2003.

En cuanto a los arrancadores, definidos como 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 varios tipos:

- 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).

Es muy importante tener cuidado con la capacidad 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.

Las Normas que prescriben sus características son las UNE EN 61347-2-1:2002 y 60927.

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

Los balastos de dos niveles de potencia o “de doble nivel” funcionan variando la intensidad de la lámpara y están constituidos por dos bobinas, una principal y otra auxiliar, conectadas en serie con la lámpara de modo que en un momento determinado, mediante un relé se pueda alterar la impedancia del conjunto de las dos bobinas, intercalando una de las dos o las dos en el circuito de lámpara, bien disminuyéndola para que la lámpara pase de un régimen reducido de flujo luminoso y potencia a un régimen máximo o nominal, o bien aumentándola para que la lámpara pase de un régimen máximo o nominal a un régimen reducido.

La forma de añadir o quitar la bobina 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 determinado de la noche para que se produzca el incremento 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.

Hay varios sistemas para realizar este proceso, unos tipos lo hacen por presencia de corriente y otros por ausencia de la misma.

La corrección del factor de potencia en los equipos de doble nivel es defectuosa, 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 primitiva, pero la complejidad del sistema no consigue sino introducir un elemento más de fallo.

El control 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 lámpara de vapor de sodio alta presión es la UNE EN 61347-2-9:2003, aplicable a balastos para lámparas de descarga.

3.2.1.3.- Balasto electrónico

El balasto electrónico difiere totalmente del balasto inductivo; 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 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, como es el de la temperatura ambiente para un correcto funcionamiento (sabido es que 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 hasta el 50% de energía. 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.

3.2.2 Sistemas de alimentación para LED

Los LED tienen sus propias exigencias debido a la polarización de los mismos, lo que se debe llevar a cabo mediante lo que se ha dado en denominar “drivers”, que es el término inglés del sistema de alimentación.

Hay diferentes sistemas de alimentación, entre los que cabe destacar 4 tipos diferentes:

- 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 tienen 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 que 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; garantizan una buena eficiencia y una buena regulación de corriente así como permitir 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 hace falta la resistencia limitadora. Son de coste muy elevado y pueden plantear problemas de compatibilidad electromagnética, pero garantizan una óptima eficiencia y regulación de corriente, así como permitir la reducción de flujo luminoso y consumo mediante una señal de control.

La normativa aplicable a estos sistemas está en preparación, pero ya existen las siguientes:

- UNE EN 62031 aplicable a Módulos LED para alumbrado general. Requisitos de seguridad.
- 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 para su funcionamiento, al tiempo que se encargan de filtrar o transformar la luz emitida por la fuente de luz.

Las luminarias para alumbrado de carreteras a cielo abierto pueden ser de dos tipos:

- Luminarias de alumbrado vial.
- Proyectores.

3.3.1 Luminarias de alumbrado vial

Estas luminarias se caracterizan por su distribución asimétrica, en alas de murciélago, que permite su separación de otro punto de luz a una distancia considerable. Los parámetros fotométricos más importantes de la distribución luminosa que definen estas luminarias son: alcance, dispersión y control de deslumbramiento.

- El alcance es la distancia longitudinal a la que la luz emitida por la luminaria queda distribuida a lo largo de la calzada y queda definida por el ángulo de elevación de la parte central del haz.

ALCANCE	Corto	Intermedio	Largo
Ángulo	$\gamma_{\max} < 60^\circ$	$60^\circ \leq \gamma_{\max} \leq 70^\circ$	$\gamma_{\max} > 70^\circ$

Tabla 3.6. Alcances

- La dispersión es la distancia transversal a la que la luz emitida por la luminaria queda distribuida a lo ancho de la calzada, y se define mediante la posición de la línea, paralela al eje de la calzada, que es tangente al contorno de la curva del 90 % de la intensidad máxima de calzada γ_{90} .

DISPERSIÓN	Estrecha	Media	Ancha
Ángulo	$\gamma_{90} < 45^\circ$	$45^\circ \leq \gamma_{90} \leq 55^\circ$	$\gamma_{90} > 55^\circ$

Tabla 3.7. Dispersiones

- El control del deslumbramiento se define por el índice específico de la luminaria (IEL), que queda establecido del siguiente modo:

$$IEL = 13,84 - 3,31 \cdot \log I_{80} + 1,3 \cdot \log \left(\frac{I_{80}}{I_{88}} \right)^{0,5} - 0,08 \cdot \log \left(\frac{I_{80}}{I_{88}} \right) + 1,29 \cdot \log F + C$$

Donde:

- IEL = Índice específico de la luminaria
- I_{80} = Intensidad luminosa con un ángulo de elevación de 80° en dirección paralela al eje de la calzada, expresada en candelas (cd.).
- I_{88} = Intensidad luminosa con un ángulo de elevación de 88° en dirección paralela al eje de la calzada, expresada en candelas (cd.).
- I_{80}/I_{88} = Razón de la intensidad luminosa en 80° y 88° , denominada razón de retroceso.
- F = Superficie aparente del área limitada de la luminaria vista bajo un ángulo de 76° , expresada en m^2 .
- C = Factor cromático que depende del tipo de lámpara: sodio de baja presión +0,4; otras 0.

Los distintos grados de control del deslumbramiento para las luminarias son los siguientes:

CONTROL	Débil	Moderado	Fuerte
IEL	$IEL < 2$	$2 \leq IEL \leq 4$	$IEL > 4$

Tabla 3.8. Control de deslumbramiento

Los antiguos valores relativos a luminarias “cut-off”, etc., han sido reemplazados por la tabla contenida en el REEIAE que especifica para cada clase de zona E, cuál debe ser el valor máximo del FHS (Flujo luminoso emitido hacia el hemisferio superior).

Estas luminarias normalmente se fabrican de aleación de aluminio inyectada o extruida, y en el caso de las luminarias para lámparas de vapor de sodio de alta presión las ópticas o el portalámparas tienen reglajes para adaptar su fotometría a las diferentes condiciones de las vías. En el caso de las luminarias para módulos de LED, la regulación de la fotometría se consigue mediante la disposición de los módulos y el empleo de ópticas adecuadas para los diferentes tipos de geometría de la carretera. Todas ellas se fijan al soporte o columna mediante una pieza incorporada a la luminaria que hace una función similar a la de una abrazadera.

Un parámetro a tener en cuenta en este tipo de luminarias es su superficie ó área de exposición al viento, ya que un mayor valor de ésta (peor coeficiente aerodinámico) supone también un mayor esfuerzo para el poste en el que va fijada y por lo tanto una mayor sección del mismo en su fabricación. Normalmente el fabricante proporciona el mayor valor de esta superficie para su vista lateral y su vista frontal ya que la Norma UNE EN 40-6 establece las cargas de viento sobre un elemento mediante la fórmula:

$$F = A \cdot C \cdot Q$$

Siendo:

A= Área proyectada por el elemento sobre un plano perpendicular al viento

C= Coeficiente de forma del elemento

Q= Presión de cálculo.

3.3.2 Proyectores

Los proyectores son luminarias fabricadas para poder “proyectar” el haz luminoso a distancia, es decir, para poder iluminar superficies alejadas del punto geométrico de su ubicación. Sirven en general para iluminar superficies amplias, sin limitaciones de geometría en general, y su distribución fotométrica no responde a la necesidad de cumplir con las exigencias de luminancia que si tienen las luminarias de alumbrado vial.

Los proyectores, fotométricamente, se pueden clasificar en 3 grupos:

- **Simétricos de revolución:** El cuerpo tiene forma de cono, con la base formada por el vidrio de cierre. Su distribución fotométrica responde a una proyección circular con centro en la perpendicular del aparato cuando éste mira perpendicularmente hacia el suelo. Al inclinarse da origen a elipses que se solapan para conseguir iluminar superficies. Estos proyectores tienen óptica parabólica o circular de tal forma que crean un haz intenso, por lo que se utilizan en grandes alturas o a grandes distancias de la superficie a iluminar. No deben emplearse en iluminación vial por su potencial deslumbramiento.
- **Simétricos rectangulares respecto de 2 ejes:** Su forma es de paralelepípedo y su óptica cilíndrica de sección parabólica en general, lo que junto a la colocación de la lámpara paralela al vidrio de cierre, hace que el proyector cree distribuciones lumínicas rectangulares, que cuando se inclina producen una forma trapezoidal con elevadas uniformidades en las superficies, siendo su intensidad máxima de valor limitado. No deben emplearse en iluminación vial por su potencial deslumbramiento, solo son aconsejables en casos excepcionales de iluminaciones singulares.
- **Simétricos rectangulares respecto de un solo eje o “asimétricos”:** Como en el caso anterior, el cierre es de forma rectangular pero el cuerpo tiene una forma cilindro-parabólica desplazada, lo que unido a la forma de la óptica crea su propiedad más destacada: La intensidad máxima está desplazada de la perpendicular al cierre del proyector entre 55 y 65 grados, lo que en la mayor parte de los casos hace innecesaria su inclinación respecto de la horizontal para obtener una adecuada iluminación. Al mismo tiempo, su propia carcasa limita la emisión de luz fuera de los límites necesarios, por lo que son ideales para eliminar la luz intrusa y las emisiones al hemisferio superior. Son los que deben emplearse cuando se proyecten iluminaciones viales con torres de gran altura.

Los proyectores, por su forma y dimensiones bastante mayores que las de las luminarias de alumbrado vial, admiten también otras técnicas de fabricación de su cuerpo, tales como el repulsado o la extrusión.

En la tabla 3.9. se recogen las características que deben cumplir las luminarias que se empleen en las instalaciones de alumbrado de carreteras y puntos singulares.

TIPO DE LUMINARIA	AUTOVÍAS Y AUTOPISTAS	CARRETERAS CONVENCIONALES	INTERSECCIONES, GLORIETAS, NUDOS
Factor de utilización	80%	75%	65%
FHS	≤ 3%	≤ 3%	≤ 5%
Fotometría	Alcance: largo Dispersión: media – ancha Control: fuerte	Alcance: largo Dispersión: media – ancha Control: fuerte	Alcance: corto-intermedio Dispersión: media – ancha Control: moderado
Grado de protección (s/ UNE EN 60598)	IP 65	IP 65	IP 65
Clase eléctrica	Clase I o II	Clase I o II	Clase I o II
Cuerpo de luminaria	Al. inyectado	Al. inyectado o extruido	Al. inyectado o extruido
Capacidad en lámparas de descarga	Hasta 400 W de vapor sodio alta presión	Hasta 250 W de vapor sodio alta presión	Hasta 1000 W de vapor sodio alta presión
Capacidad en módulos de LED	Hasta 250 W	Hasta 150 W	Hasta 250 W

Tabla 3.9. Características de las luminarias de alumbrado de carreteras.

Como documentación fotométrica imprescindible, al objeto de comprobar los cálculos que aporten los autores de los proyectos, se debe adjuntar la tabla de distribución de intensidades de la luminaria, así como su factor de utilización y el FHS de la luminaria.

3.4 Columnas y soportes de puntos de luz

Los soportes son el elemento de sustentación de los puntos de luz; pueden ser de diferentes formas y materiales. Normalmente se sujetan con una cimentación propia de hormigón, mediante un sistema de sujeción por pernos o espárragos que sobresalen de la cimentación y unas tuercas de fijación de la placa de base del soporte a dicha cimentación.

En su parte superior tienen previstos los casquillos que han de permitir el acoplamiento y montaje de las luminarias a través de sus elementos de fijación.

De forma resumida, los soportes pueden ser:

- Columnas rectas con la luminaria montada sobre un casquillo en la parte superior (“post-top”).
- Columnas rectas con un brazo horizontal o provisto de una cierta inclinación que forma, o bien un ángulo recto o bien un ángulo ligeramente obtuso con la parte del fuste del soporte que queda por debajo de él, y en el extremo de cuyo brazo se dispone el casquillo para fijación de la luminaria.
- Soportes con forma de báculo, de una pieza, y cuyo brazo se forma como consecuencia de un curvado del fuste en su parte superior para permitir la sujeción de la luminaria al casquillo de su extremo.
- Columnas de dos o más brazos, tanto rectos como curvos, que se acoplan al fuste de la columna principal, mediante soldadura, si es metálico el soporte, o por fijación mediante un acoplamiento especial si es metálico o de otro material.

- Columnas para fijar en su parte superior bastidores sencillos donde se sujetan varias luminarias o proyectores.

En cuanto a los materiales de los que pueden estar contruidos, son los que están admitidos por la normativa europea:

- Acero: EN 40-5.
- Aluminio: EN 40-6.
- Polímeros compuestos reforzados con fibras: EN 40-7.
- Hormigón armado y hormigón pretensado: EN 40-4.

Además del cumplimiento de las Normas aplicables a cada uno de los materiales consignados en ellas, la Norma UNE EN 40-1 y -2 contiene las hipótesis de cálculo a aplicar y el método de cálculo de dimensionamiento para los distintos tipos de soportes.

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

Tal y como se ha comentado en el capítulo 2, las instalaciones deben estar preparadas para reducir el flujo luminoso, y por consiguiente los consumos, en los periodos de bajo tráfico. Para conseguir este objetivo se emplean los dispositivos de regulación de flujo luminoso.

Los sistemas de regulación son elementos que permiten modificar ciertos parámetros eléctricos de la instalación cuando el uso para el que ha sido diseñada así lo requiera, ya sea por disminución del tráfico que circula por una carretera o por otra razón justificada, sin afectar con ello a la seguridad ni disminuir la vida de los componentes de la instalación; de este modo se pueden reducir los importantes gastos que representa la explotación de dichas instalaciones y su conservación en el tiempo, a la vez que la instalación se hace adaptable a las necesidades de cada momento.

En este sentido y a mayor abundancia, el REEIAE define perfectamente, en su Instrucción EA-04, la necesidad del empleo de estos dispositivos, recogiendo textualmente:

*“Las instalaciones de alumbrado público, al objeto de ahorrar energía, se proyectarán con dispositivos o sistemas para regular el nivel luminoso mediante, por ejemplo, balastos serie de tipo inductivo para doble nivel de potencia, reguladores - estabilizadores en cabecera de línea o balastos electrónicos de potencia regulable, **disminuyendo el nivel de iluminación pero manteniendo la uniformidad en dicha instalación**”.*

En la actualidad, los sistemas admitidos con carácter formal y recogidos en el REEIAE son:

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

Sin embargo, está apareciendo un cuarto sistema que hasta ahora no ha sido recogido en el Reglamento, pero que dada la rápida expansión de las nuevas fuentes de luz de estado sólido (los LED), merece la pena recoger en este documento por lo que puede suponer de ayuda en el conocimiento tecnológico del sector.

Dicho sistema lo constituyen los Dispositivos de alimentación regulables para LED.

3.5.1 Normativa específica

La normativa específica a aplicar a cada uno de los sistemas de regulación es:

- Para los balastos serie de tipo inductivo de doble nivel de potencia, 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 balasto 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 reguladores-estabilizadores en cabecera de línea, 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 50 294 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 en inglés siguiente: “Energy performance of lamp control gear”, y en cuya 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 tienen que 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 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.
- Deben poder emplearse en instalaciones ya existentes, con el objeto de mejorar la eficiencia energética de las mismas.

3.5.3 Sistemas de regulación contemplados en el REEIAE

Como ya se ha citado, los 3 sistemas que se recogen en el Reglamento son:

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

a) Balastos de serie de tipo inductivo para doble nivel de potencia

Los balastos de serie de tipo inductivo de doble nivel de potencia, denominados comúnmente 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 para 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 la vía pública o área iluminada, o en sentido contrario, cuando a partir de cierta hora de la madrugada, antes de amanecer, se pretende aumentar dicho nivel de iluminación reducido y transformarlo en el nivel máximo para prevenir accidentes por aumento del tráfico, 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 2 conductores, por la que se envía una señal de tensión para provocar el disparo del relé.
- Bien 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, puede ser el que se da a continuación:

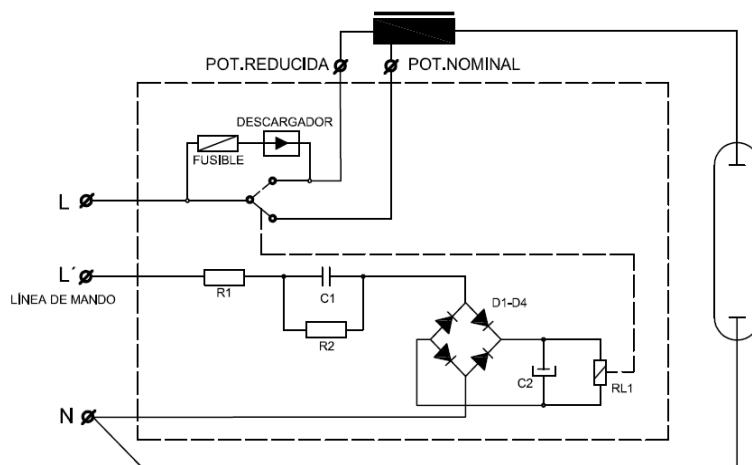


Figura 3.4. Balasto de doble nivel

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 acompañan 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 los sobre consumos de 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 debería 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 comúnmente como “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 la siguiente tabla, se muestran, con datos obtenidos en un ensayo real, las variaciones de 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)	λ	P (W)	U (V)	I (A)	λ	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%)	0,90	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

POTENCIA REDUCIDA (RÉGIMEN REDUCIDO)									
Lámpara v.s.a.p. 150 W									
Parámetros en red				Parámetros en lámpara				Pérdidas balasto (W)	Rendimiento (%)
U (V)	I (A)	λ	P (W)	U (V)	I (A)	λ	P (W)		
207 (-10%)	0,50	0,81	84	72	1,20	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	1,50	0,83	107	21	83,5

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, en lámparas con un envejecimiento notable, puede producir el apagado de la lámpara. 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 en 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 certifica ni garantiza sus prestaciones, perdería el marcado N o similar. Tan solo en el caso de que las luminarias admitan el equipo con temporizador podría emplearse éste en instalaciones ya existentes.

b) Equipos reguladores-estabilizadores en cabecera de línea

En los proyectos se deberá justificar la instalación de uno u otro sistema, si bien cuanto mayor es el número de receptores instalados más rentable es la instalación.

Una definición de los equipos reguladores-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.
- 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 $230V \pm 7\%$, la función de estabilización es **imprescindible** en instalaciones existentes que poseen balastos de tensión nominal a 220V.

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.

La reducción de flujo luminoso y consumo proporciona un ahorro energético constante durante las horas de funcionamiento en régimen reducido. El esquema de funcionamiento del equipo estabilizador-reductor que representa lo expuesto es el que se muestra en la figura 3.5.

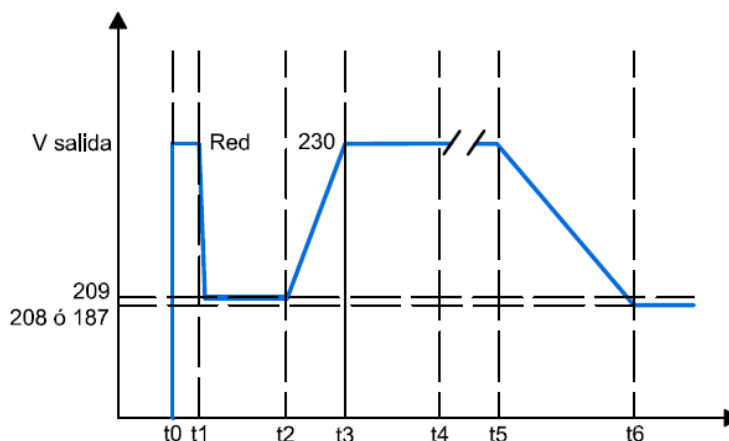


Figura 3.5. Equipo estabilizador-reductor. Esquema de funcionamiento

- t0: Instante de encendido del equipo en la instalación
- t1-t0: Tiempo para el arranque de las lámparas (1 a 2 segundos)
- t2-t1: Tiempo durante el que se mantiene limitada la intensidad de arranque de las lámparas (aprox. 2 minutos).
- t3-t2: Tiempo de subida de tensión a 230V, Régimen Nominal
- t4-t3: Tiempo de 12 min. para finalizar la estabilización térmica de las lámparas
- t5: Orden de reducción del flujo y potencia
- t6: Periodo de régimen reducido

Condiciones particulares:

Para evitar que en caso de fallo parcial o total del sistema, se vea afectado el funcionamiento del alumbrado hasta el punto de resultar apagado, basta con que el sistema esté provisto de un by-pass convenientemente acreditado y avalado conforme a la definición que consta en la Especificación AENOR EA-0033:2008 y que define a este elemento como: *“Dispositivo electrónico o electromecánico integrante del Equipo, que conecta directamente la entrada con la salida, inhibiéndolo en caso de un determinado tipo de fallos internos, para asegurar en estos casos el suministro de energía a la instalación de alumbrado, y permitiendo al Equipo volver a su funcionamiento normal (estabilización-reducción) al menos en la siguiente conexión a la red, siempre que haya desaparecido la causa que lo activó”.*

De cualquier forma estos equipos deben realizar el arranque inicial o cebado de las lámparas a tensión nominal o de red (según se hace constar en el Cuaderno nº 5 del IDAE-CEI), y nunca a tensiones inferiores que perjudican gravemente su vida y anulan la garantía, se conserva la vida de los componentes de la instalación, sin inducir anomalías en su funcionamiento,

Para conseguir la máxima fiabilidad, incluso en condiciones ambientales muy severas, estos equipos deben incluir obligatoriamente el siguiente conjunto de protecciones:

- Protecciones térmicas (según Cuaderno IDAE-CEI) independientes de los magnetotérmicos, para que en el caso de que no se activen éstos por sobrecargas insuficientes, el sobrecalentamiento progresivo que genera, active el By-pass e impida que el Equipo se averíe o pueda llegar a quemarse.
- Protecciones adecuadas e internas integradas con su electrónica contra descargas atmosféricas (según Cuaderno nº 5 IDAE-CEI), que protejan su entrada y salida.
- Modo de ventilación natural de los equipos (sin ventiladores), lo que posibilita a su vez que sean alojados en una envolvente o armario con hermeticidad mínima IP55, (como exige el R.E.B.T).
- En caso de un equipo trifásico, este se compondrá de tres unidades funcionales monofásicas independientes (según Cuaderno nº 5 del IDAE-CEI), para que cualquier anomalía en una de ellas no afecte en nada al funcionamiento de las otras dos, por razones de fiabilidad y eficiencia energética.

Ventajas

- Estos sistemas permiten conseguir una buena eficiencia energética, dado que no introducen mayores pérdidas en los circuitos de lámpara, resultando la no linealidad de la eficiencia al variar la tensión por la propia característica de rendimiento de las lámparas, que al no funcionar a tensión nominal, emiten menos flujo luminoso.
- Adicionalmente, los equipos estáticos permiten mantener su compatibilidad electromagnética inicial, por realizar sus funciones de estabilización y reducción con elementos o componentes estáticos, y en consecuencia no presentar fallos por desgastes y fogeos que pueden llegar a producir interferencias electromagnéticas.
- Es el único de los 3 sistemas a que hace referencia el REEIAE que puede emplearse directamente, sin ninguna modificación adicional de los puntos de luz de una instalación de alumbrado existente. Por ello son los más sencillos de utilizar en todas las instalaciones, pero sobre todo en las existentes para conseguir mejorar la eficiencia energética como exige el Reglamento antes citado.

Inconvenientes

- También hay equipos que no encienden inicialmente a la tensión nominal, sino que lo hacen por debajo de la misma, con lo que se perjudica la vida de las lámparas.
- Deben evitarse los equipos que funcionen con ventilación forzada, pues estos no se podrían alojar en armarios IP 55 como exige el REBT.

En general, no se deben emplear equipos sin garantías formales y convenientemente legalizadas a efectos de plazo de la garantía, firma, condiciones excluyentes y responsabilidades. Para validar la garantía y rentabilidad de la inversión con estos sistemas, deben realizarse periódica y sistemáticamente controles de las facturaciones de la instalación, con el objeto de comprobar los ahorros obtenidos mediante su empleo. También es conveniente obtener una garantía sobre las operaciones de mantenimiento sin coste adicional.

c) Balastos electrónicos de potencia regulables

Los balastos electrónicos son unos dispositivos formados por componentes electrónicos que en su mayoría hacen funcionar a las lámparas de descarga no a las frecuencias de la red (50 ó 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.
- 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.
- La 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 los dos regímenes de funcionamiento (nominal y reducido), 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 que 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 de doble nivel, la utilización de los balastos electrónicos en instalaciones ya existentes es muy complicada; más aún cuando no todas las luminarias 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.
- Su margen de reducción de flujo y consumo, en el caso de las lámparas de mercurio con halogenuros metálicos, no es muy amplio (oscila entre un 25% - 40%).

A título únicamente demostrativo de las diferencias que se podrían dar en la práctica y a falta de un método consensuado para evaluar la “potencia total de entrada”, presentamos los resultados de medidas realizadas sobre una misma lámpara con dos modelos de balastos inductivos y un balasto electrónico. Todos los modelos son de marcas N y ENEC para los balastos del ensayo comparativo.

Para las medidas se ha utilizado una lámpara seleccionada de forma que tuviera unas características próximas a las de una lámpara “patrón”.

Los equipos de control de lámpara utilizados son de 3 tipos diferentes, los denominados tipo A y tipo B son balastos inductivos en serie de doble nivel, es decir, que constan todos ellos además del balasto propiamente dicho, de los componentes necesarios para el encendido (arrancador), el circuito para el cambio de nivel de potencia y los elementos para corregir el factor de potencia tal y como se incorporarían en la luminaria. El tercer tipo, denominado BE es un balasto electrónico regulable también de serie.

POTENCIA NOMINAL Lámpara v.s.a.p. 100 W										
	Parámetros en red				Parámetros en lámpara					Pérdidas balasto (W)
MUESTRA	U (V)	I (A)	λ	P (W)	U (V)	I (A)	λ	P (W)	f (Hz)	
Tipo A	230	0,569	0,92	121	110	1,12	0,82	102	50	19
Tipo B	230	0,515	0,93	110	103	1,09	0,82	94	50	16
Tipo BE	230	0,445	0,98	100	95	1,00	0,99	94	57000	6

POTENCIA REDUCIDA Lámpara v.s.a.p. 100 W										
	Parámetros en red				Parámetros en lámpara					Pérdidas balasto (W)
MUESTRA	U (V)	I (A)	λ	P (W)	U (V)	I (A)	λ	P (W)	f (Hz)	
Tipo A	230	0,361	0,88	73	75	0,92	0,84	58	50	15
Tipo B	230	0,316	0,92	67	72	0,89	0,84	55	50	12
Tipo BE	230	0,272	0,96	60	67	0,83	0,99	55	69000	5

Tabla 3.11. Potencia nominal y reducida

A continuación se da una breve explicación del comportamiento eléctrico de la lámpara alimentada por un balasto inductivo o un balasto electrónico:

En el siguiente gráfico, se muestran, las evoluciones típicas que seguiría en cuanto a potencia una lámpara controlada por un balasto inductivo a diferentes tensiones de red, y esa misma lámpara asociada a un balasto electrónico de alta frecuencia. El flujo luminoso emitido por la lámpara, como anteriormente se ha comentado, variaría de forma directamente proporcional a la variación de la potencia.

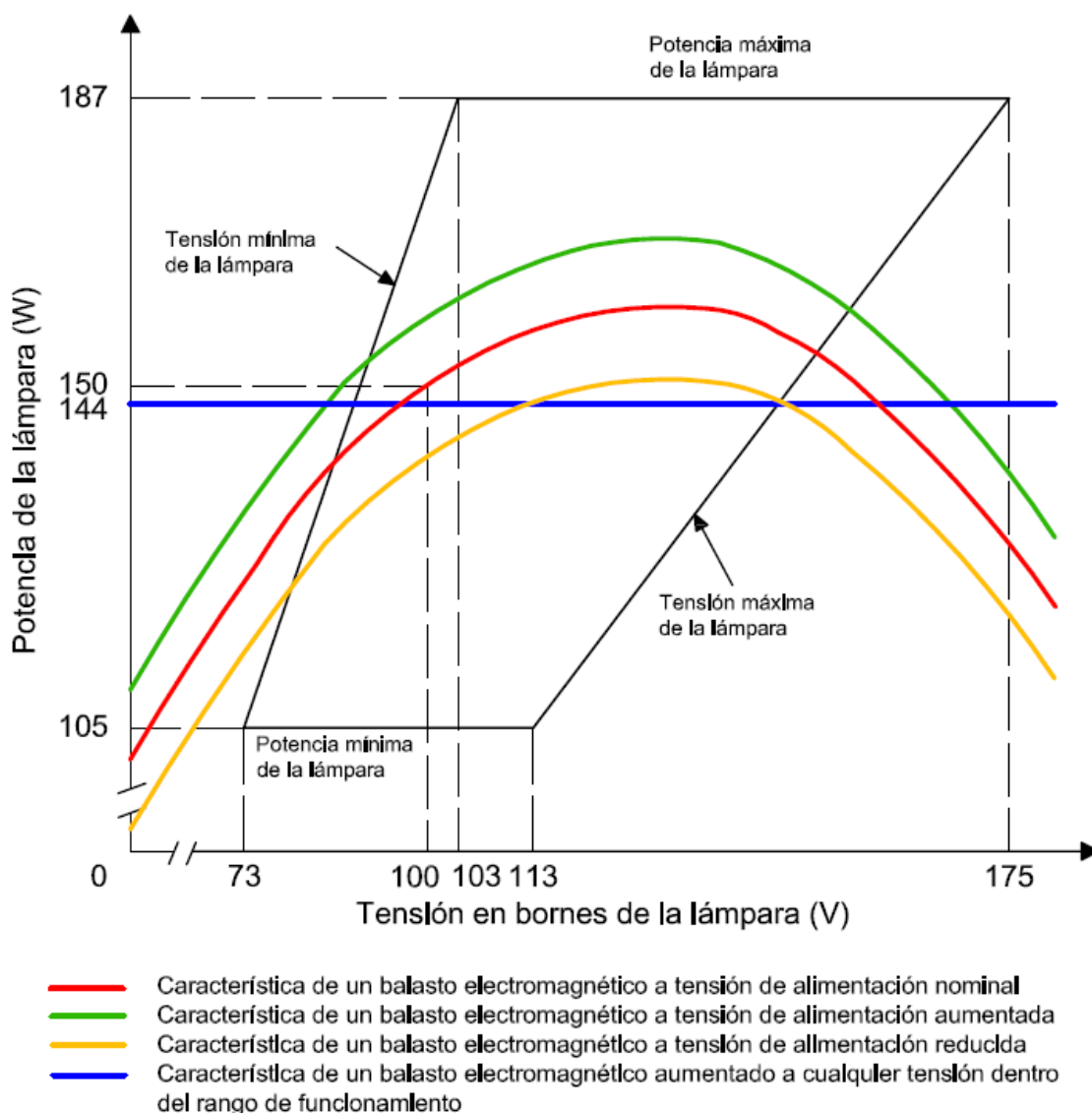


Figura 3.6. Límites de funcionamiento de una lámpara de vapor de sodio alta presión de potencia nominal 150 W. (Ampolla tubular clara) 662-IEC-1050-2

Este gráfico, extraído de la Norma IEC 662 relativa a las lámparas de descarga en sodio de alta presión, representa un paralelogramo en línea continua que está formado por dos lados horizontales, correspondientes a la potencia mínima y a la potencia máxima de la lámpara que se pueden alcanzar, mientras los lados inclinados, aunque con distinta inclinación, corresponden a los valores de tensión mínima y máxima de funcionamiento de la lámpara, fuera de cuyas tensiones la lámpara, o no enciende, o se apaga de forma intermitente.

Por tanto el ámbito de funcionamiento de este tipo de lámparas siempre debe poseer unos valores eléctricos contenidos dentro de ese paralelogramo.

Lo que se trata de explicar con este gráfico es que mientras los balastos de tipo inductivo, que están representados por las líneas curvas de colores rojo, marrón y naranja, son sensibles a la tensión de alimentación de red y a sus posibles variaciones, denominadas sobretensiones (tensiones de alimentación aumentadas) o subtensiones (tensiones de alimentación reducidas), y por tanto la tensión, la potencia, y el flujo luminoso de la lámpara varían, a mayor o menor tensión de alimentación. Lo que demuestra que los balastos inductivos tienen una baja capacidad de regulación como ya se ha dicho en este documento.

Por el contrario, la gráfica representada en color azul, que corresponde a un balasto electrónico, es independiente de las variaciones de la tensión de alimentación dentro del rango de funcionamiento, por lo que los parámetros eléctricos de la lámpara no variarán, independientemente de la tensión de alimentación. Lógicamente la variación de la tensión de alimentación tiene unos límites, pues el balasto electrónico también tiene un rango de regulación, aunque mucho mayor de un 15%.

d) 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 ó 24 voltios, con mayor profusión a 24 voltios. Estos dispositivos de alimentación, que convierten la tensión de red a la tensión necesaria para el buen funcionamiento de los LED, pueden ser regulables:

En lo que se refiere a la intensidad de salida exclusivamente.

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 voltios, la intensidad suministrada puede ser la nominal de funcionamiento de los LED o 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 lógicamente. 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, en mayor medida que cualquier balasto inductivo al tener unas pérdidas propias reducidas.
- 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), característica imposible de lograr con los balastos inductivos convencionales de tipo choque.
- El flujo luminoso emitido por un LED depende en cada momento de la intensidad que circula por él.

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.
- Hay que invertir una importante cantidad de dinero en las operaciones de reposición, al tener que acceder a cada punto de luz y cambiar todo menos la envoltura exterior de la luminaria, con lo que además se incurriría en el incumplimiento del marcado N, a menos que el fabricante de la luminaria original autorizara y garantizara el cambio.

3.6 Distribución eléctrica

Las instalaciones eléctricas comprenden las redes de alimentación de los puntos de luz, la puesta a tierra de la instalación y la implantación de los centros de mando y medida, que se ajustarán en su conjunto a lo dispuesto en el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión y en las Instrucciones MI-BT complementarias del mismo.

3.6.1 Canalizaciones

REDES SUBTERRÁNEAS

Se emplearán sistemas y materiales análogos a los de las redes subterráneas de distribución reguladas en la ITC-BT-07. Los cables se dispondrán directamente enterrados o en canalización enterrada bajo tubo, a una profundidad mínima de 0,4 m del nivel del suelo, medidos desde la cota inferior del tubo, y su diámetro no será inferior a 60 mm.

Directamente enterrados

La profundidad, hasta la parte inferior del cable, no será menor de 60 cm. en acera, ni de 80 cm. en calzada.

Cuando existan impedimentos que no permitan lograr las mencionadas profundidades, éstas podrán reducirse, disponiendo protecciones mecánicas suficientes, tales como las establecidas en el apartado 2.1.2 de la ITC-BT-07. Por el contrario, deberán aumentarse cuando las condiciones que se establecen en el apartado 2.2 de la presente instrucción así lo exijan.

Para conseguir que el cable quede correctamente instalado sin haber recibido daño alguno, y que ofrezca seguridad frente a excavaciones hechas por terceros, en la instalación de los cables se seguirán las instrucciones descritas a continuación:

- El lecho de la zanja que va a recibir el cable será liso y estará libre de aristas vivas, cantos, piedras, etc. En el mismo se dispondrá una capa de arena de mina o de río lavada, de espesor mínimo 5 cm. sobre la que se colocará el cable. Por encima del cable irá otra capa de arena o tierra cribada de unos 10 cm. de espesor. Ambas capas cubrirán la anchura total de la zanja, la cual será suficiente para mantener 5 cm. entre los cables y las paredes laterales.
- Por encima de la arena todos los cables deberán tener una protección mecánica, como por ejemplo, losetas de hormigón, placas protectoras de plástico, ladrillos o rasillas colocadas transversalmente. Podrá admitirse el empleo de otras protecciones mecánicas equivalentes. Se colocará también una cinta de señalización que advierta de la existencia del cable eléctrico de baja tensión. Su distancia mínima al suelo será de 10 cm. y a la parte superior del cable de 25 cm. Se admitirá también la colocación de placas con la doble misión de protección mecánica y de señalización.

Canalización bajo tubo:

Los tubos deberán tener un diámetro tal que permita un fácil alojamiento y extracción de los cables o conductores aislados. El diámetro exterior mínimo de los tubos en función del número y sección de los conductores se obtendrá de la tabla 9 del apartado 1.2.4. de la ITC-BT-21.

Los tubos protectores serán conformes a lo establecido en la norma UNE-EN 50.086 2-4. Las características mínimas serán las indicadas a continuación:

- Resistencia a la compresión: 250 N para tubos embebidos en hormigón; 450 N para tubos en suelo ligero; 750 N para tubos en suelo pesado.
- Resistencia al impacto: Grado Ligero para tubos embebidos en hormigón; Grado Normal para tubos en suelo ligero o suelo pesado.
- Resistencia a la penetración de objetos sólidos: protegido contra objetos $D > 1$ mm.
- Resistencia a la penetración del agua: protegido contra el agua en forma de lluvia.
- Resistencia a la corrosión de tubos metálicos y compuestos: protección interior y exterior media.

Se colocará una cinta de señalización que advierta de la existencia de cables de alumbrado exterior, situada a una distancia mínima del nivel del suelo de 10 cm. y a 25 cm. por encima del tubo.

En los cruces de calzadas, la canalización, además de entubada, irá hormigonada y se instalará como mínimo un tubo de reserva.

A fin de hacer completamente registrable la instalación, cada uno de los soportes llevará adosada una arqueta con tapa según normas; estas arquetas se ubicarán también en cada uno de los cruces, derivaciones o cambios de dirección.

La cimentación de las columnas se realizará con dados de hormigón en masa HM-25, con pernos embebidos para anclaje y con comunicación a columna por medio de codo.

REDES AÉREAS

Se emplearán los sistemas y materiales adecuados para las redes aéreas aisladas descritas en ITC-BT-06.

Podrán estar constituidas por cables posados tensados sobre apoyos. Los cables serán autoportantes con neutro fiador o fiador de acero.

Las acometidas podrán ser subterráneas o aéreas con cables aislados, realizándose de acuerdo con las prescripciones particulares de la compañía suministradora. La acometida finalizará en la caja general de protección y a continuación de la misma se dispondrá el equipo de medida.

3.6.2 Conductores

Los conductores de los cables utilizados en las líneas subterráneas serán de cobre y estarán aislados con mezclas apropiadas de compuestos poliméricos. Estarán además debidamente protegidos contra la corrosión que pueda provocar el terreno donde se instalen y tendrán la resistencia mecánica suficiente para soportar los esfuerzos a que puedan estar sometidos. Se emplearán cables armados cuando sea necesaria una resistencia mecánica adicional porque se prevean casos de vandalismo, robos de cable, etc.

Los conductores a emplear en la instalación serán de Cu, multiconductores o unipolares, tensión asignada 0,6/1 KV.

La sección mínima a emplear en redes subterráneas, incluido el neutro, será de 6 mm². En distribuciones trifásicas tetrapolares, para conductores de fase de sección superior a 6 mm², la sección del neutro será conforme a lo indicado en la tabla 1 de la ITC-BT-07. Los empalmes y derivaciones deberán realizarse en cajas de bornes adecuadas, situadas dentro de los soportes de las luminarias, y a una altura mínima de 0,3 m sobre el nivel del suelo o en una arqueta registrable, que garanticen, en ambos casos, la continuidad, el aislamiento y la estanqueidad del conductor.

La sección mínima a emplear en redes aéreas, para todos los conductores incluido el neutro, será de 4 mm². En distribuciones trifásicas tetrapolares con conductores de fase de sección superior a 10 mm², la sección del neutro será como mínimo la mitad de la sección de fase.

La instalación de los conductores de alimentación a las lámparas se realizará de Cu, bipolares, tensión asignada 0,6/1 kV, de 3x2,5 mm² de sección, protegidos por c/c fusibles bipolares calibrados a 6 A. El circuito encargado de la alimentación al equipo reductor de flujo, compuesto por balasto especial, condensador, arrancador electrónico y unidad de conmutación, se realizará con conductores de Cu, bipolares, tensión asignada 0,6/1 kV, de 2,5 mm² de sección mínima. Así mismo, todas las luminarias se cablearán interiormente mediante conductor antitérmico, y unipolar pues la temperatura interior es elevada.

Las líneas de alimentación a puntos de luz con lámparas o tubos de descarga estarán previstas para transportar la carga debida a los propios receptores, a sus elementos asociados, a las corrientes armónicas, de arranque y desequilibrio de fases. Como consecuencia, la potencia aparente mínima en VA, se considerará 1,8 veces la potencia en vatios de las lámparas o tubos de descarga, y en caso de otros tipos de fuentes de luz se justificará mediante el cálculo correspondiente.

La máxima caída de tensión entre el origen de la instalación y cualquier otro punto será menor o igual que el 3 %.

3.6.3 Sistemas de protección

En primer lugar, la red de alumbrado público estará protegida contra los efectos de las sobrecargas (sobrecargas y cortocircuitos) que puedan presentarse en la misma (ITC-BT-09, apdo. 4), para lo cual se utilizarán los siguientes sistemas de protección:

- Protección a sobrecargas y a cortocircuitos: Se utilizará un interruptor automático ubicado en el cuadro de mando, desde donde parte la red eléctrica (según figura en anexo de cálculo). La reducción de sección para los circuitos de alimentación a luminarias (2,5 mm²) se protegerá con los fusibles de 6 A existentes en cada columna.

En segundo lugar, para la protección contra contactos directos e indirectos (ITC-BT-09, apartados. 9 y 10) se deben tomar las medidas siguientes:

- Instalación de luminarias Clase I o Clase II. Cuando las luminarias sean de Clase I, deberán estar conectadas al punto de puesta a tierra, mediante cable unipolar aislado de tensión asignada 450/750 V con recubrimiento de color verde-amarillo y sección mínima 2,5 mm² en cobre.
- Ubicación del circuito eléctrico enterrado bajo tubo en una zanja practicada al efecto, con el fin de resultar imposible un contacto fortuito con las manos por parte de las personas que habitualmente circulan por el acerado.
- Aislamiento de todos los conductores, con el fin de recubrir las partes activas de la instalación.
- Alojamiento de los sistemas de protección y control de la red eléctrica, así como todas las conexiones pertinentes, en cajas o cuadros eléctricos aislantes, los cuales necesitarán de útiles especiales para proceder a su apertura (cuadro de protección, medida y control, registro de columnas, y luminarias que estén instaladas a una altura inferior a 3 m sobre el suelo o en un espacio accesible al público).
- Las partes metálicas accesibles de los soportes de luminarias y del cuadro de protección, medida y control estarán conectadas a tierra.
- Puesta a tierra de las masas y dispositivos de corte por intensidad de defecto. La intensidad de defecto, umbral de desconexión de los interruptores diferenciales, será como máximo de 300 mA y la resistencia de puesta a tierra, medida en la puesta en servicio de la instalación, será como máximo de 30 Ohm. También se admitirán interruptores diferenciales de intensidad máxima de 500 mA o 1 A, siempre que la resistencia de puesta a tierra medida en la puesta en servicio de la instalación sea inferior o igual a 5 Ohm y a 1 Ohm, respectivamente. En cualquier caso, la máxima resistencia de puesta a tierra será tal que, a lo largo de la vida de la instalación y en cualquier época del año, no se puedan producir tensiones de contacto mayores de 24 V en las partes metálicas accesibles de la instalación (soportes, cuadros metálicos, etc. Por lo tanto se instalarán relés diferenciales de reconexión automática en sus diferentes versiones, que permitan ajustar la intensidad de defecto y el tiempo de disparo, así como la visualización de la I de defecto mediante display.

La puesta a tierra de los soportes se realizará por conexión a una red de tierra común para todas las líneas que partan del mismo cuadro de protección, medida y control. En las redes de tierra, se instalará como mínimo un electrodo de puesta a tierra cada 5 soportes de luminarias, y siempre en el primero y en el último soporte de cada línea. Los conductores de la red de tierra que unen los electrodos deberán ser:

- Desnudos, de cobre, de 35 mm² de sección mínima, si forman parte de la propia red de tierra, en cuyo caso irán por fuera de las canalizaciones de los cables de alimentación.

- Aislados, mediante cables de tensión asignada 450/750 V, con recubrimiento de color verde-amarillo, con conductores de cobre, de sección mínima 16 mm² para redes subterráneas, y de igual sección que los conductores de fase para las redes posadas, en cuyo caso irán por el interior de las canalizaciones de los cables de alimentación.

El conductor de protección que une cada soporte con el electrodo o con la red de tierra, será de cable unipolar aislado, de tensión asignada 450/750 V, con recubrimiento de color verde-amarillo, y sección mínima de 16 mm² de cobre.

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.

En tercer lugar, cuando la instalación se alimente por(o incluya) una línea aérea con conductores desnudos o aislados, será necesaria una protección contra sobretensiones de origen atmosférico (ITC-BT-09, apdo. 4) en el origen de la instalación (situación controlada).

Los dispositivos de protección contra sobretensiones de origen atmosférico deben seleccionarse de forma que su nivel de protección sea inferior a la tensión soportada a impulso de la categoría de los equipos y materiales que se prevé que se vayan a instalar.

Los descargadores se conectarán entre cada uno de los conductores, incluyendo el neutro, y la tierra de la instalación.

Los equipos y materiales deben escogerse de manera que su tensión soportada a impulsos no sea inferior a la tensión soportada prescrita en la tabla siguiente, según su categoría.

Tensión nominal de la instalación (V)		Tensión soportada a impulsos 1,2/50 (kV)			
Sistemas III	Sistemas II	Cat. IV	Cat. III	Cat. II	Cat. I
230/400	230	6	4	2,5	1,5

Tabla 3.12. Tensión nominal de la instalación y tensión soportada a impulsos

- Categoría I: Equipos muy sensibles a sobretensiones destinados a conectarse a una instalación fija (equipos electrónicos, etc.).
- Categoría II: Equipos destinados a conectarse a una instalación fija (electrodomésticos y equipos similares).
- Categoría III: Equipos y materiales que forman parte de la instalación eléctrica fija (armarios, embarrados, protecciones, canalizaciones, etc.).
- Categoría IV: Equipos y materiales que se conectan en el origen o muy próximos al origen de la instalación, aguas arriba del cuadro de distribución (contadores, aparatos de telemedida, etc.).

Los equipos y materiales que tengan una tensión soportada a impulsos inferior a la indicada en la tabla anterior, se pueden utilizar, no obstante:

- En situación natural (bajo riesgo de sobretensiones, debido a que la instalación está alimentada por una red subterránea en su totalidad), cuando el riesgo sea aceptable.
- En situación controlada, si la protección a sobretensiones es adecuada.

3.6.4 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 ajustar la potencia contratada a la necesaria para evitar un sobrecoste de la energía consumida, cuyo control se lleva a cabo mediante el interruptor magnetotérmico (ICP), que interrumpe el suministro si la potencia demandada es superior a la contratada. Por lo que deberá procurarse equilibrar la distribución de cargas entre fases para evitar que el exceso de potencia en una de ellas interrumpa el suministro total, así como seleccionar una adecuada curva de disparo del interruptor de control de potencia (ICP) que soporte las sobrecargas transitorias, especialmente en el arranque de las lámparas de descarga.

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.

La envolvente del cuadro 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 o 4 cuerpos de chapa de acero inoxidable (Norma ASI - 304) de 2 mm. de espesor y pintado, incluyendo:

- Tejadillo vierte aguas para protección contra la lluvia
- 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 plegadas sobre su perímetro para mayor rigidez, con rosca atornillada inoxidable M4 para conexión conductor de tierra.

- Opción: zócalo acero inoxidable, para instalación empotrada en los cimientos con anclaje reforzado y pernos M16.
- Opción: bancada de 300 mm. de acero 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.

Se considera que el armario podrá estar compuesto por tres grupos de módulos:

- Módulo de CGP y equipo de medida.
- Módulo de Equipo regulación de flujo.
- Módulo de maniobra, protección y telegestión.

MODULO DE C.G.P. Y EQUIPO DE MEDIDA

Comprenderá:

Caja general de protección y de seccionamiento según normativa de la Compañía Distribuidora:

- Equipo de medida compuesto por contador multifunción electrónico (mide energía activa, reactiva y maxímetro 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.
- 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, la incorporación en todos los suministros de alumbrado cuyo coste anual sea superior 8.000 €/año. El precio actual del alquiler de este módulo es de unos 30 €/mes. 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.

Si la potencia a contratar supera los 37 kW, está justificado el montaje de transformadores de intensidad y regleta de comprobación, lo cual, implicará un superior dimensionado del armario, o bien una separación entre la CGP y la medida.

MÓDULO REDUCTOR ESTABILIZADOR

En todas las instalaciones de alumbrado con lámparas de VSAP, que no dispongan 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.

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 TELEGESTIÓN

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.
- 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 display indicador 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 futura telegestión. 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 utilizaran magnetotérmicos calibrados según normativa y relés diferenciales SI (súper inmunizados).
- Embarrado de distribución. Todas las conexiones de derivación a equipos de protección se realizaran 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 schuco II de 16 A., debidamente protegida para una carga máxima de 1.000 W.
 - Reloj astronómico. Se recomienda, que para la realización de los ciclos de encendido se instale un reloj astronómico digital con reserva y parametrizable en función de las coordenadas del lugar.
 - Contactos auxiliares. Con el fin de que sea fácil la implantación de la telegestión, 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 16mm², y 1.5 mm² para las de maniobra. Se utilizaran colores normalizados; todas las puntas de conductores dispondrán de terminal de punta y anilla señalizadora.
 - Previsión telegestión. En caso de no instalarse el equipo de telegestión, 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.
 - Módulo de telegestión. Con el fin de poder gestionar de modo centralizado desde un punto, los cuadros de alumbrado deberán disponer de un equipo PLC o terminal específico, que permita la concentración en el mismo del reloj astronómico, comunicación con módulo de analizador o entradas de tensión y de intensidad y módulos de entrada y salida digitales y analógicos, todas ellas ampliables y programables según protocolo estándar.

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.

Pero uno de los ámbitos donde más ha avanzado la tecnología es precisamente el relativo al control y gestión de las instalaciones, que es la mejor forma de hacer que una instalación sea "inteligente", es decir, tenga capacidad para ser gestionada automáticamente o incluso de forma remota con un ordenador, llevando a cabo acciones en función de las necesidades en tiempo real que se pueden plantear en una instalación de alumbrado, tales como:

- 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 todos y cada uno de los puntos de luz.

- Posibilidad de mandar la conmutación de un régimen (máximo) de iluminación a otro (reducido), etc.

3.7.1 Requisitos

Los requisitos cualitativos que deben satisfacer los sistemas de control y gestión 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 se conozcan las mismas en tiempo real.
- Deben hacer posible el mando de acciones encaminadas a hacer funcionar cada punto de luz o un conjunto de puntos de luz de acuerdo con las necesidades detectadas.
- Deben permitir la detección 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.
- Deben 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 proceder en consecuencia.
- No deben producir fallos en la instalación como consecuencia de un fallo del propio sistema.
- Deben poseer protocolos de comunicación abiertos, de manera que no creen dominios cautivos para los usuarios.
- Deben poder emplearse, sobre todo, en instalaciones ya existentes.

3.7.2 Tipos más importantes de sistemas de control y gestión

Desde los sistemas más básicos a los más evolucionados que se conocen como sistemas de control, hay que destacar:

- Los interruptores crepusculares (fotocélulas).
- Los interruptores horarios (relojes astronómicos).
- Los sistemas de control centralizado (telegestión).

Los interruptores crepusculares (fotocélulas) que permitían el encendido y el apagado de los puntos de luz, situados en los armarios de distribución o cuadros de alumbrado o bien individualmente, se caracterizaban por sus ventajas e inconvenientes:

Ventajas:

- Son en general elementos muy simples y baratos, al poder utilizarse uno por cada punto de luz o incluso por cada cuadro de alumbrado.
- Se pueden añadir en instalaciones existentes con control de encendido únicamente manual, siempre que no superen los 5 kW de potencia instalada.

Inconvenientes:

- No se puede utilizar en instalaciones cuya potencia total instalada supere los 5 kW.
- El fallo de este dispositivo genera automáticamente la imposibilidad de encender o apagar el alumbrado.

- El polvo o las sustancias en suspensión en la atmósfera, al depositarse, sobre la carcasa que protege el elemento fotosensible, acaban incidiendo, en la calibración del dispositivo, y dan lugar a errores o funcionamientos incorrectos.
- También existen problemas relacionados con modificaciones del entorno, que afecten a las condiciones originales, respecto a la incidencia de la luz natural sobre el elemento fotosensible, tales como la existencia de obstáculos que arrojan sombra sobre la fotocélula.
- En cuanto a sus funciones no desempeña la misión de control, pues en ningún caso proporciona información sobre el estado de la instalación, ni a nivel de cuadro de alumbrado, ni a nivel de punto de luz.

Los interruptores horarios (relojes), que hasta la evolución actual de los mismos, (relojes astronómicos) hacían 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.

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 ese cuadro.
- Permite desde el encendido y apagado, hasta el cambio del régimen máximo al régimen reducido.
- Su fallo no presupone el apagado del alumbrado.

Inconvenientes:

- Su mayor inconveniente es que 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.

Los sistemas de control centralizado (telegestión), que de una manera similar a lo que ha sucedido en otros sistemas tales como los de regulación, la tecnología ha creado sistemas, que basándose en la electrónica, en las telecomunicaciones y en la informática, hacen posible la detección y transmisión inmediata en tiempo real de varios parámetros a puestos de control.

En líneas generales, estos sistemas constan de los siguientes módulos:

- Unidad de Puesto Centralizado.
- Unidad de Cuadro de Alumbrado.
- Unidad de Punto de Luz (opcional).

a) Unidad de Puesto Centralizado

El puesto centralizado suele ser el servidor central, en el que deberán estar contenidos los software correspondientes a:

- Servidor de la Web.
- Base de datos.
- Servidor de Unidades de Cuadros de Alumbrado.

- Programa de comunicaciones GSM y correo electrónico.
- Software de Control.

El sistema deberá disponer de un protocolo abierto y muy versátil, por lo que los operadores no necesitan tener programas específicos cerrados instalados en un ordenador en particular, con el que tengan que acceder al sistema. No se limita, ni el número de operadores, ni el lugar de acceso, pues basta, simplemente con disponer de acceso a Internet, y lógicamente una clave, para poderlo hacer al nivel autorizado.

Esta versatilidad, puede ser muy útil en determinadas circunstancias, por ejemplo: ante una situación de funcionamiento anormal de un sistema de regulación asociado a un alumbrado, como puede ser un Equipo estabilizador reductor de cabecera de línea, se podría autorizar al fabricante de éste para que con los datos disponibles, estableciera un diagnóstico de la situación, y colaborara en la resolución del problema, de forma rápida y eficaz, sin necesidad de un desplazamiento.

Los niveles de seguridad, garantizarán la protección de datos, de cada usuario, cuando comparten un mismo servidor, de forma que ninguno de ellos, ni sus operadores autorizados, puede acceder a datos que no sean los suyos propios.

b) Unidad de Cuadro de Alumbrado

Un Cuadro de Alumbrado, los Equipos y el conjunto de puntos de luz asociados a éste, constituyen la "unidad" básica a la que se aplica un sistema de telegestión, de forma que quedará diferenciada de entre todas las que gestiona o administra un mismo usuario.

En el cuadro de alumbrado, se ubican, tres elementos, que pueden en algunos casos estar incluidos en un solo elemento o ser tres elementos diferentes:

- Terminal de telecontrol.
- Módem GSM/GPRS.
- Analizador de redes.

El terminal de telecontrol es el corazón del sistema y asume las siguientes funciones:

- Hace las veces de reloj astronómico, con una diferencia, respecto al elemento ya descrito, la de que puede modificarse su programación tanto a distancia por un operario autorizado como in situ de forma presencial, para lo que a fin de facilitar las operaciones, debe disponer de una pantalla que permita visualizar los datos.
- Recibe, de forma ordenada, según un protocolo, los datos de medidas eléctricas, y señales de funcionamiento o alarma, que enviará a través del módem a la base de datos del servidor central, donde quedan almacenadas y a disposición del usuario.
- Simultáneamente, determinadas alarmas, preestablecidas por el usuario, serán enviadas en forma de mensajes SMS y/o E-mail a los servicios de mantenimiento.

Así mismo y a través del módem GSM/GPRS recibe órdenes, para modificar, o reprogramar los parámetros de control y funcionamiento relativos al reloj o al sistema de regulación del alumbrado, a la secuencia de envío de datos, o al envío de estos en tiempo real.

El analizador de redes debe ser capaz de medir por cada fase y en verdadero valor eficaz, parámetros tales como: tensión de entrada, corriente, 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.

Es conveniente, que el sistema propiamente dicho pueda medir simultáneamente con la tensión de entrada, la tensión de salida, cuando se actúe con Equipos estabilizadores-reductores en cabecera de línea, y que esta segunda medida de tensión sea tratada por el programa del sistema de telecontrol, ya que si se dispone de esos dos datos simultáneamente, se puede hacer un diagnóstico útil acerca del funcionamiento correcto de la función de estabilización. Tanto el analizador, como el módem deben comunicarse con el puesto centralizado y así los protocolos de comunicaciones entre ellos serán compatibles.

c) Unidad de Punto de Luz

Esta unidad es similar, a la antes descrita, con la diferencia de que en este caso se controla y se tiene información al nivel de cada punto de luz en una instalación de alumbrado.

El control por cada punto de luz es opcional ya que la instalación puede ser controlada de forma general desde el cuadro. Este sistema permite sin embargo el control punto a punto, de forma que puede elegirse sobre qué número determinado de luminarias se quiere aplicar una decisión.

La comunicación bidireccional entre la Unidad de Cuadro de Alumbrado y la Unidad de Punto de Luz, se puede realizar mediante una línea independiente o por la misma línea eléctrica de alimentación de los puntos de luz, utilizando una técnica denominada PLC (Power Line Communication), o similar o también mediante comunicación inalámbrica.

En la Unidad de Cuadro de Alumbrado, es necesario, añadir una interfaz adicional, para comunicar con las Unidades de Puntos de Luz, superponiendo a la frecuencia de red que actúa como portadora, una alta frecuencia que contiene los datos a transmitir o recibir.

En cada punto de luz, es necesaria la instalación de un dispositivo que discrimine y seleccione los datos que le conciernen (normalmente se asigna una IP a cada luminaria), diferenciándolos de los demás y que esté 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 paso a régimen reducido o viceversa, para modificar el estado de funcionamiento del punto de luz.

Es necesaria, la instalación de filtros y protecciones adicionales, para eliminar las perturbaciones o ruido eléctrico existente en las redes de alumbrado. El sistema se hace más complejo, tanto por el programa Web, ya que son muchísimos más datos a controlar y gestionar, como por la instalación de los dispositivos adicionales en el punto de luz.

Supone también un elevado costo de inversión respecto a un sistema de control a nivel de Unidad de Cuadro de Alumbrado, lo que por el momento, suele limitar el uso de este sistema, a instalaciones en las que concurren necesidades extraordinarias de disponer de un control individualizado de cada luminaria, no bastando un control a nivel general de la instalación, y que justifican plazos mayores de amortización que los proporcionados por la eficiencia energética y la calidad de servicio.

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 correctivas sobre los componentes de la instalación, personándose en el punto en cuestión, o de forma automática si así se desea.
- El sistema es modular, lo cual significa que en función del presupuesto 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:

- El mayor inconveniente lo supone su coste a nivel de punto de luz, aunque las versiones tan solo a nivel de cuadro de alumbrado no son tan caras.
- 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 exige protocolos abiertos para no resultar cautivo de ninguna marca en particular.

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 vial.
- Instalaciones en las que se ha llegado al final de la vida útil de los elementos (reposición).
- Instalaciones que consistan en mejoras de las instalaciones existentes (rehabilitación y/o mejora).

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

- Justificación de la solución adoptada, determinando y justificando:
 - El nivel de iluminación.
 - La selección de tipología de elementos.
 - La implantación de las luminarias.
 - La obra civil que hay que ejecutar.
- Cálculos luminotécnicos.
- Cálculos eléctricos.
- Distribución eléctrica.
- Calificación energética de la instalación.
- 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 la instalación. Cuando se trate de mejoras o reposiciones, en el estudio económico se calculará el VAN y la TIR de la inversión y su periodo de retorno.

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 tramo o en la sustitución del elemento 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 soluciones cuya TIR sea mayor, ponderando, no obstante, su relación 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.
- Tecnología e I+D de la solución.
- Menor contaminación lumínica.
- 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 contaminación y consumo de CO₂.
- Reciclabilidad de materiales.
- Otros.

4.2.1 Implantación y disposición de luminarias

IMPLANTACIÓN DE PUNTOS DE LUZ EN TRAMOS RECTOS O CURVAS DE R>300 m

En tramos rectos o curvas de radio superior a 300 metros existen cuatro tipos de implantación de puntos de luz, más las combinaciones de los mismos que se precisen, si las características geométricas así lo requieren. Estos tipos son: unilateral, bilateral tresbolillo, bilateral pareada y axial.

La dispersión de una luminaria es la que permite dimensionar la instalación previendo una o dos líneas a ambos lados de la calzada para satisfacer los requisitos de iluminación. Así, con una sencilla regla nemotécnica, se puede decidir la adopción de una u otra implantación, en función de la relación anchura de calzada/altura de montaje:

TIPO DE IMPLANTACIÓN	RELACIÓN ANCHURA DE CALZADA/ALTURA DE MONTAJE (A/H)
UNILATERAL	$A < 0,8H$
BILATERAL TRESBOLILLO	$0,8H < A < 1,2H$
BILATERAL PAREADA	$A > 1,2H$
AXIAL	$A < 1,2H$

Tabla 4.1. Tipos de implantación de puntos de luz

La implantación axial tiene la limitación de que la anchura de la mediana de separación de calzadas no debe ser superior a 3 m; permite un ahorro de instalación al precisarse solo de una canalización, una línea de cimentaciones y un solo soporte, pero tiene el inconveniente de la dificultad del mantenimiento, que puede requerir tener que cortar temporalmente la circulación del carril izquierdo en el sentido de circulación.

- **Unilateral**

En esta solución los puntos de luz se sitúan en un mismo lado de la vía de tráfico (Figura 4.1). Se utilizará generalmente cuando la anchura A de la calzada sea igual o inferior a 0,8 veces la altura H de montaje de las luminarias.

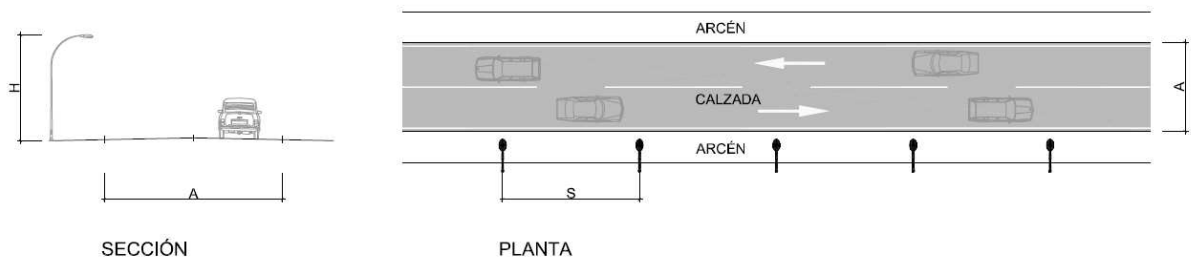


Figura 4.1. Implantación unilateral

– **Bilateral tresbolillo**

En esta solución los puntos de luz se sitúan en ambos lados de la vía de tráfico al tresbolillo (figura 4.2). Se utilizará principalmente cuando la anchura de la calzada A sea de 0,8 a 1,2 veces la altura H de montaje de las luminarias.

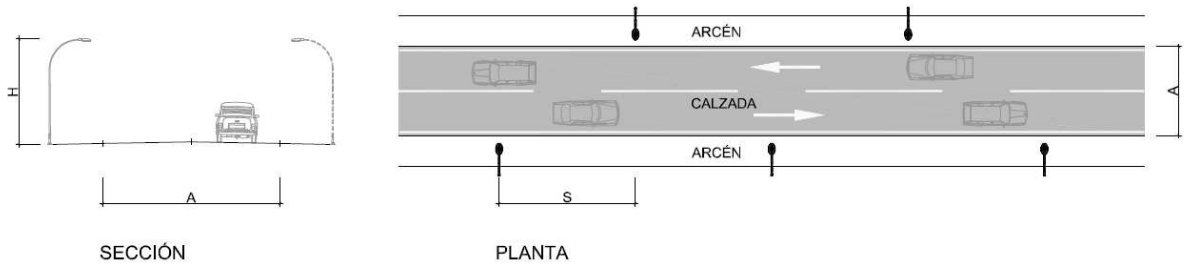


Figura 4.2. Implantación bilateral tresbolillo

– **Bilateral pareada**

En esta solución los puntos de luz se sitúan en ambos lados de la vía de tráfico, uno opuesto al otro (figura 4.3). Se utilizará normalmente cuando la anchura de la calzada A sea mayor de 1,2 veces la altura H de montaje de las luminarias.

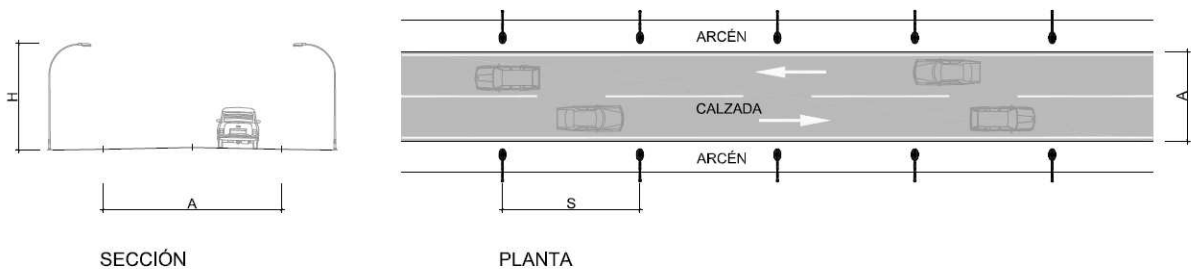
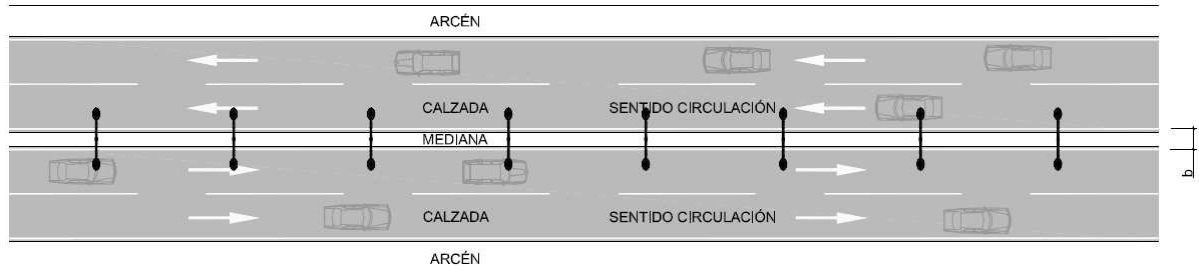


Figura 4.3. Implantación bilateral pareada

– Axial

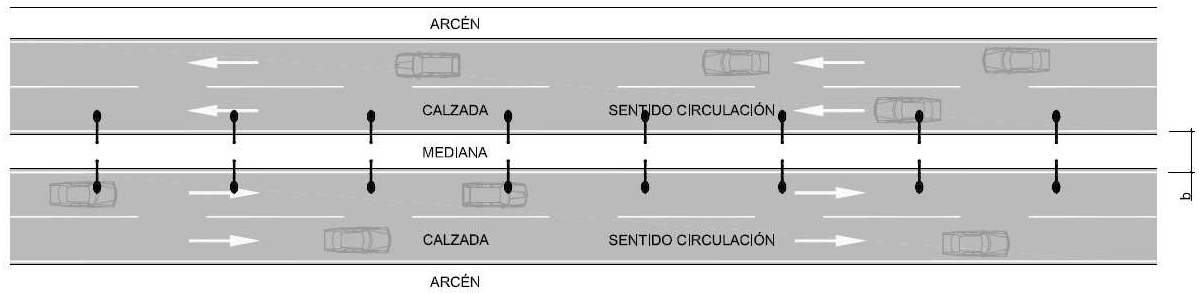
En vías de tráfico con mediana de separación entre los dos sentidos de circulación, los puntos de luz podrán implantarse en columnas o báculos de doble brazo, situados en la mediana central, siempre que su anchura esté comprendida entre 1 y 3 m (figura 4.4).



PLANTA

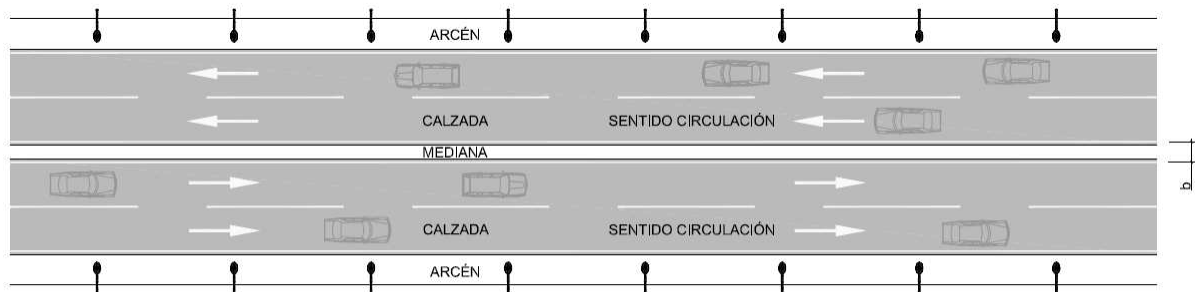
Figura 4.4. Implantación para valores de b entre 1 y 3 m.

Para anchuras de medianas superiores a 3 m no se utilizarán báculos o columnas situados en la mediana y la disposición de puntos de luz se estudiará como si se tratara de dos calzadas independientes, dando lugar a las implantaciones de las figuras 4.5 y 4.6.



PLANTA

Figura 4.5. Implantación para valores de b mayores de 3 m.



PLANTA

Figura 4.6. Implantación para cualquier valor de b

– Agrupaciones combinadas

Cuando sea preciso se podrán utilizar combinaciones de las cuatro disposiciones básicas (unilateral, tresbolillo, pareada y central). Por ejemplo, en vías de dos calzadas con mediana y vías secundarias a ambos lados, es habitual combinar la implantación axial y la bilateral en oposición (Figuras 4.7 y 4.8).

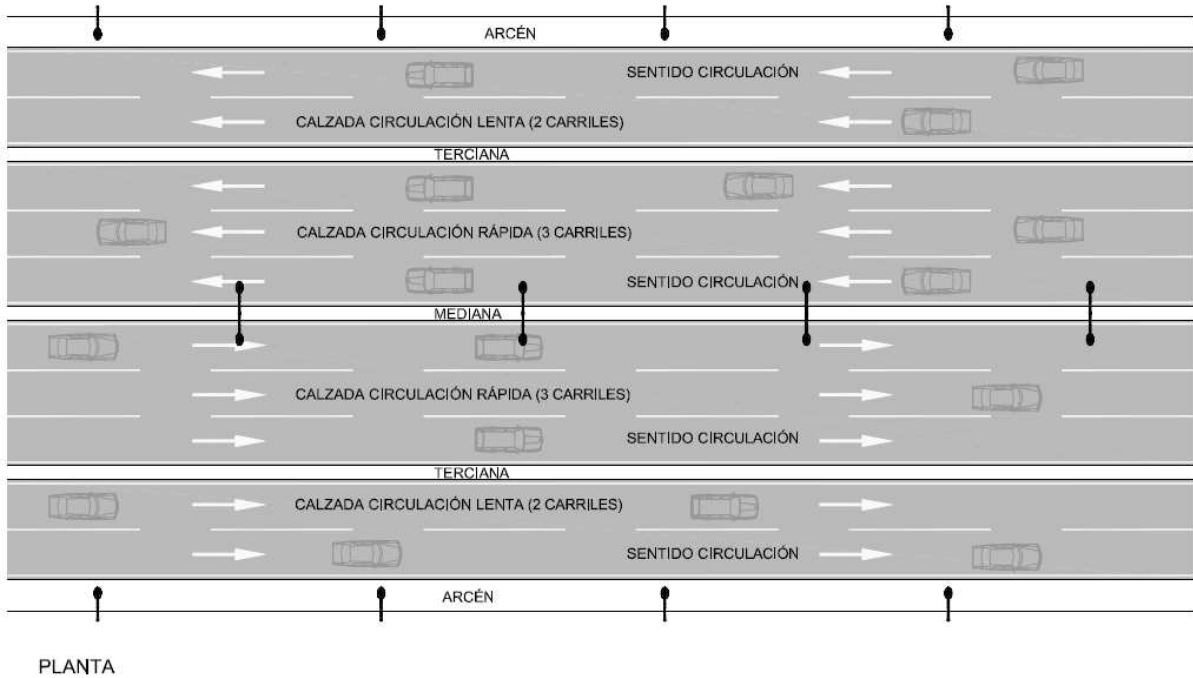


Figura 4.7. Agrupación combinada

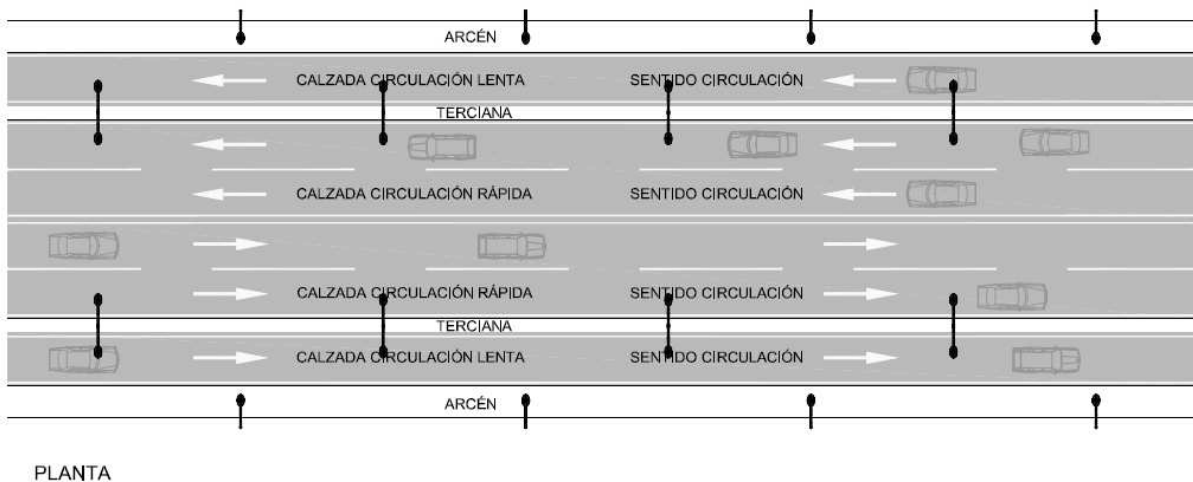


Figura 4.8. Agrupación combinada

IMPLANTACIÓN DE PUNTOS DE LUZ EN CURVAS DE RADIO < 300 m

Si la anchura A de la vía de tráfico es menor de 1,3 veces la altura H de montaje, los puntos de luz deberán implantarse en la parte exterior de la curva, situando un punto de luz en la prolongación del eje de cada carril (Figuras 4.9 y 4.10). La separación entre puntos de luz

deberá ser tanto mayor cuanto mayor sea el radio de curvatura, variando entre $3/4$ y $1/2$ de la separación media calculada en el tramo recto de dicha vía de tráfico.

Para vías de tráfico cuya anchura sea mayor de 1,5 veces la altura H de montaje, la implantación de los puntos de luz deberá ser bilateral pareada. En cualquier caso deberá evitarse la distribución al tresbolillo.

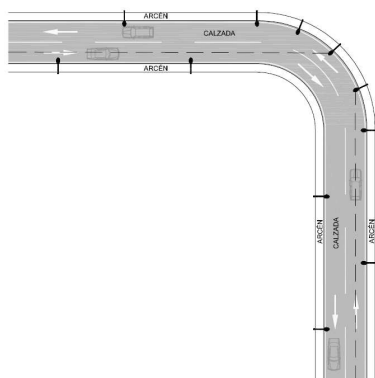


Figura 4.9. Curva en ángulo recto

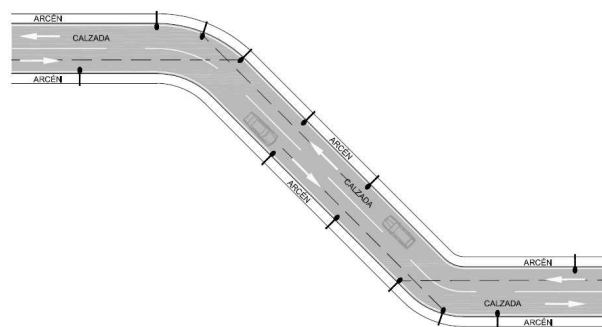


Figura 4.10. Doble curva

DISPOSICIÓN DE PUNTOS DE LUZ EN ALZADO

Para la disposición de los puntos de luz en alzado, la altura adoptada será la de montaje (H) elegida en los cálculos luminotécnicos. No obstante, existen casos especiales en los que la altura de montaje ha de fijarse en función de otros conceptos.

ALUMBRADO DE SITUACIONES ESPECIALES

En muchas situaciones, el alumbrado viario puede plantear problemas muy complicados en cuanto a visión y maniobra de los vehículos, como ocurre por ejemplo en intersecciones, enlaces, glorietas, pasos subterráneos y elevados, nudos de tráfico convergente y divergente, curvas y viales en pendiente, zonas de incorporación de nuevos carriles, interconexiones complejas de tráfico, etc.; el diseño en estas situaciones requiere un estudio específico. Cuando se analizan estos casos, puede observarse la presencia de tres factores básicos, distintos a los de las situaciones estándar:

1. Los conductores sufren un incremento de las tareas mentales y visuales cuando se acercan y tratan de circular por estas zonas.
2. El contorno de los objetos no se reconoce muchas veces, debido a circunstancias como la localización del vehículo, peatones, obstáculos y la geometría general de las calzadas.
3. Muy frecuentemente suele plantearse un problema de deslumbramiento, provocado por las luminarias o proyectores que dirigen la luz en sentido contrario al de circulación.
4. Generalmente no se dispone de suficiente iluminación con los faros del vehículo para poder apreciar con fiabilidad la geometría de la calzada y valorar la dificultad de detenerse a velocidades elevadas. Además, se constata el hecho de que el haz luminoso de los faros del vehículo se aparta de la dirección de desplazamiento al entrar en una curva pronunciada.

En el alumbrado de situaciones especiales deben tenerse en cuenta las consideraciones siguientes:

- Desde el comienzo del estudio de la situación especial o tramo singular, se requerirá, si es posible, efectuar un reconocimiento in situ de la situación al objeto de verificar las posibilidades reales de implantación de la instalación de alumbrado.
- Se evitará la implantación de puntos de luz en isletas de pequeñas dimensiones

El alumbrado de situaciones especiales o tramos singulares tiene como finalidad la lectura o comprensión de dichas situaciones por parte de los usuarios de las mismas. En este sentido, el alumbrado de un tramo singular aislado situado en un itinerario que carece de iluminación, deberá permitir al automovilista lo siguiente:

- A larga distancia (800 a 1.000 m), ver una zona luminosa que llama su atención.
- A media distancia (300 a 500 m), comenzar a percibir una idea de la configuración del tramo singular, mediante un guiado visual llevado a cabo merced a una disposición adecuada de los puntos de luz.
- A corta distancia, ver sin ambigüedad los obstáculos y la trayectoria a seguir.
- Saliendo de la zona iluminada no sufrir el efecto "agujero negro", al pasar súbitamente de la luz a la sombra, estableciendo un decrecimiento progresivo de la luminancia, durante una longitud de al menos 100 m.

4.2.2. Obra civil

La obra civil correspondiente a las instalaciones de alumbrado público comprende: cimentaciones, zanjas, cruces con otras canalizaciones y arquetas.

4.2.2.1 Cimentaciones

En el cálculo de las cimentaciones se comprobará la seguridad al vuelco y al deslizamiento, así como la suficiente capacidad portante del terreno. También se comprobará que las tracciones sobre los pernos de anclaje son admisibles.

Siempre y cuando las condiciones de la rasante lo permitan, las cimentaciones de las columnas o báculos de hasta nueve metros (9 m) de altura y de diez (10 m) a catorce metros (14 m) de altura cumplirán las dimensiones indicadas en la Tabla 4.2, excepto que mediante el cálculo específico correspondiente se justifique otra solución, el cuál debe realizarse en todo caso para alturas distintas de las indicadas en el cuadro. Siempre que sea posible, las arquetas de paso o de derivación se adosarán a la cimentación del soporte. El sistema de sustentación de la columna o soporte será siempre mediante placa de asiento.

Los materiales empleados en la ejecución de las cimentaciones deberán cumplir la normativa vigente, utilizándose hormigón HM-20 como mínimo. Las dimensiones orientativas A y B del dado de hormigón de las cimentaciones de los puntos de luz en metros (figura 4.13) serán las establecidas en la tabla 4.1, en función de la altura h del soporte en metros.

H(m)	Hasta 9	10	11	12	13	14
Ax A(m)	0,7x0,7	0,9x0,9	0,9x0,9	0,9x0,9	1,0x1,0	1,0x1,0
B(m)	1	1,2	1,2	1,2	1,4	1,4

Tabla 4.2. Dimensiones orientativas de las cimentaciones

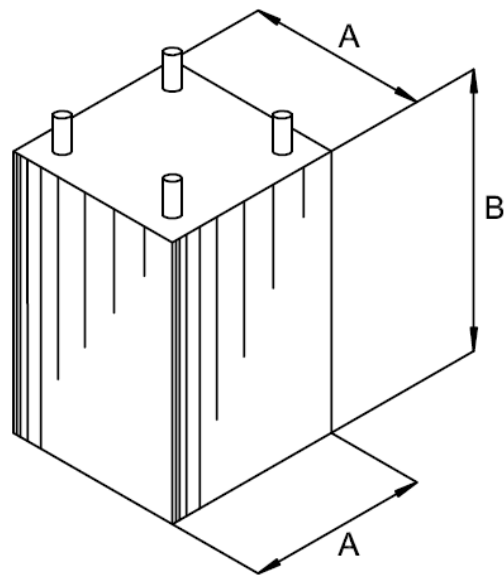


Figura 4.13. Dado de cimentación de punto de luz

Para las cimentaciones de los puntos de luz se dispondrán cuatro pernos de anclaje galvanizados como mínimo, que serán de acero F-111 según la norma UNE-33.051, doblados en forma de cachava y con doble zunchado con redondo de 8 mm de diámetro soldado a los cuatro pernos, tal y como se indica en la Figura 4.14.

a = longitud del perno.

ϕ = diámetro del perno.

R = longitud del perno con roscado métrico.

b = distancia desde la parte baja del perno al zunchado inferior.

c = distancia del zunchado inferior al superior.

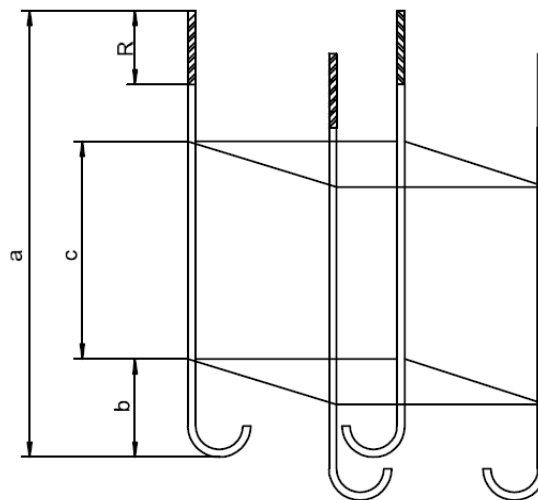


Figura 4.14. Conjunto de pernos con doble zunchado.

Los pernos tendrán roscado métrico en la parte superior realizado con herramientas de tallado y no por extrusión del material, debe estar realizada por el sistema de fricción, según la norma UNE 17704, "Rosca métrica ISO de empleo general. Medidas básicas".

Los pernos de anclaje para los soportes indicados en la tabla 4.2 serán de la forma y dimensiones indicadas en la tabla 4.3. Para situar correctamente los pernos en la cimentación, el contratista dispondrá una plantilla por cada diez (10) soportes o fracción.

h	7	8	9	10	11	12	14
a	700	700	700	900	900	900	1000
φ	24	24	24	27	27	27	33
R	110	110	110	130	130	130	150
b	150	150	150	200	200	200	250
c	350	350	350	450	450	450	450

Nota. Salvo h, que se expresa en metros, las demás magnitudes se han consignado en milímetros

Tabla 4.3 Pernos de anclaje

Las dimensiones mínimas que se recomiendan de las tuercas métricas cincadas o cadmiadas se establecen en función de la altura h del soporte, según se establece en la tabla 4.4 y en la figura 4.15. El par de apriete de las tuercas sobre los pernos de anclaje cumplirá lo especificado en la Norma UNE EN 40.

t = distancia entre caras de la tuerca métrica.

t₁ = altura de la tuerca métrica.

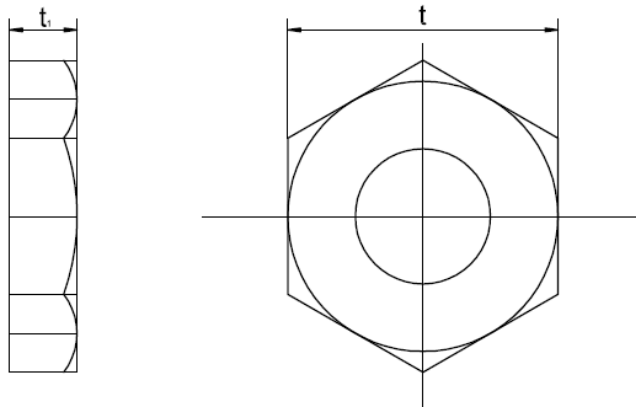


Figura 4.15. Tuercas métricas.

h	7	8	9	10	11	12	14
t	36	36	36	40	40	40	50
t₁	18,5	18,5	18,5	21,5	21,5	21,5	25

Nota. Salvo h que se expresa en metros, las demás magnitudes se han definido en milímetros

Tabla 4.4 Tuercas Métricas.

Las arandelas serán cuadradas, de acero y galvanizadas; sus dimensiones recomendadas se determinan en función de la altura h del soporte, según se establece en la figura 4.16, y en la tabla 4.5.

A₁ = lado de la arandela.

a₁ = espesor de la arandela.

φ₁ = diámetro agujero arandela.

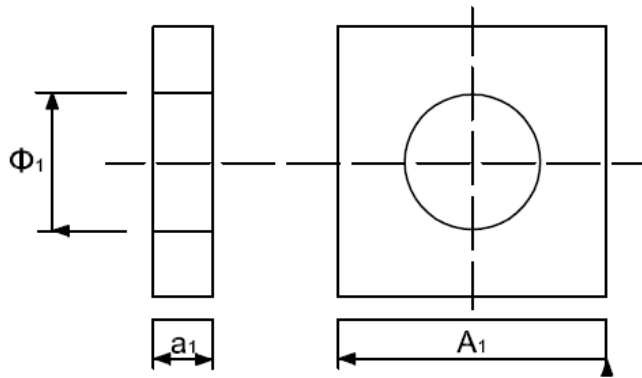


Figura 4.16. Arandela

h	7	8	9	10	11	12	14
A ₁	50	50	50	60	60	60	70
a ₁	5	5	5	8	8	8	8
φ ₁	24,5	24,5	24,5	27,5	27,5	27,5	33,5

Nota. Salvo h que se expresa en metros, las demás magnitudes se han definido en milímetros

Tabla 4.5 Arandelas.

En el caso de los soportes de altura superior a 14 metros o que sustenten más de dos luminarias con independencia de la altura, se recomienda calcular las características de la cimentación para cada caso concreto.

4.2.2.2 Zanjas

La zanja bajo arcenes, medianas, aceras y zonas verdes, cuya terminación sea pavimentada o de tierra o césped, tendrán una profundidad mínima de 80 cm, de manera que la parte superior de los tubos de plástico se encuentre a una distancia superior a 50 cm por debajo de la rasante del pavimento, suelo de tierra o césped. La anchura de la zanja será de 40 cm, pudiéndose admitir que la misma sea de 30 cm cuando existan otras canalizaciones o servicios que dificulten la ejecución de la zanja de alumbrado; en el caso de zanjas en zonas verdes, éstas tendrán una anchura de 30 cm, pudiendo admitirse que en el caso de un único tubo de plástico sean de 20 cm.

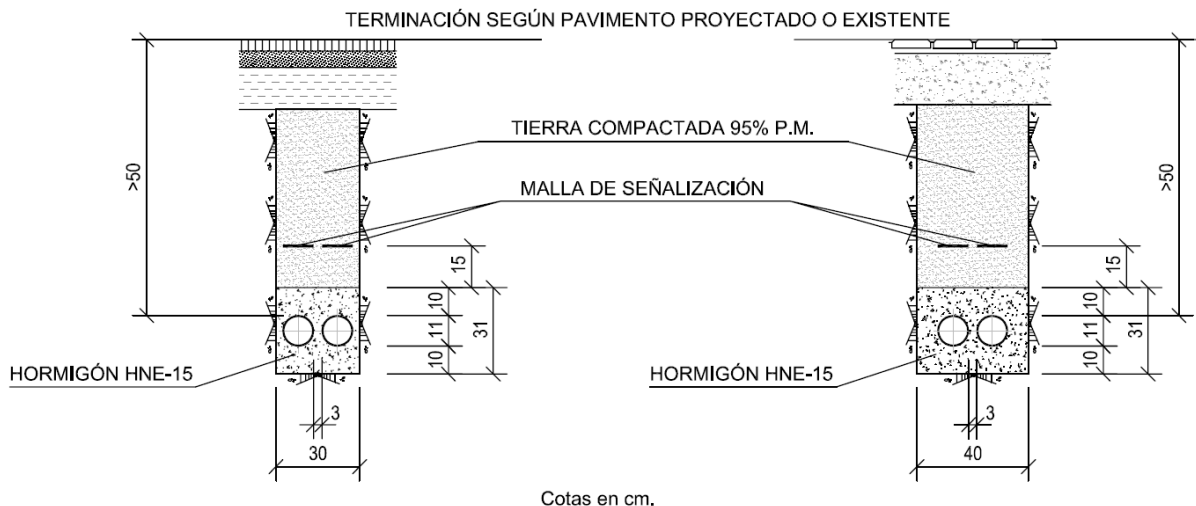


Figura 4.17. Zanjas en arcenes, medianas y aceras

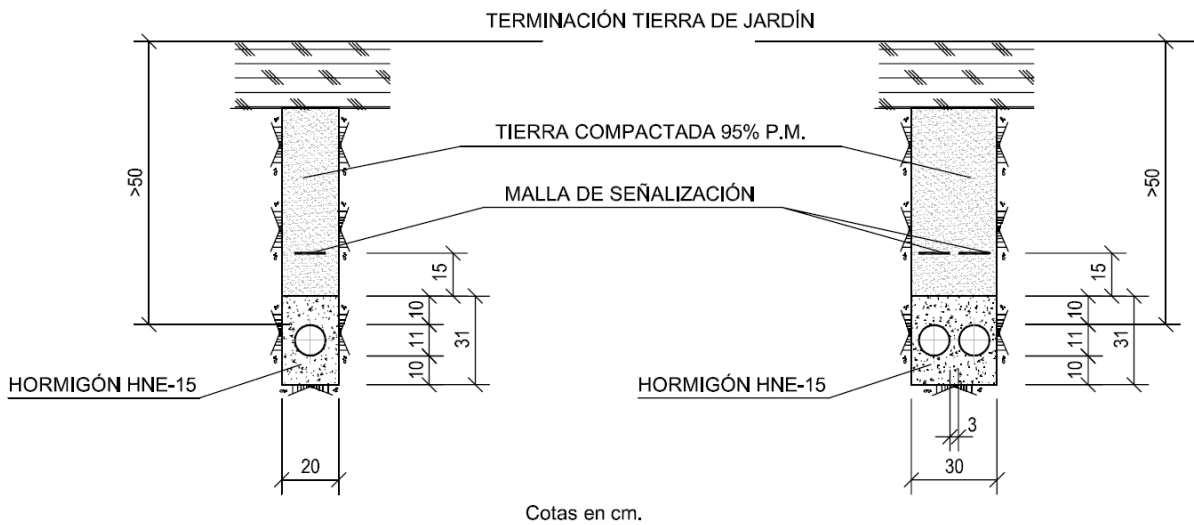


Figura 4.18. Zanjas en zonas verdes

La zanja en cruces de calzada tendrá una profundidad mínima de 85 cm de manera que la parte superior de los tubos de plástico más próximos a la calzada se encuentren 50 cm por debajo del pavimento de la misma; su anchura será de 40 cm.

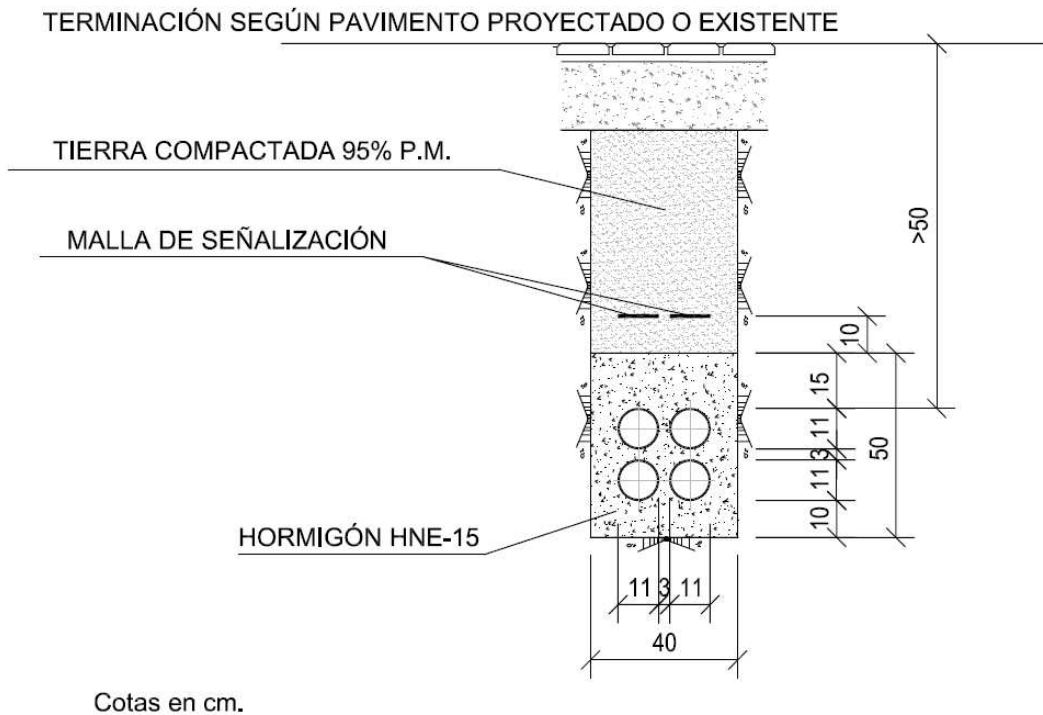


Figura 4.19. Zanja en cruce de calzada.

4.2.2.3 Arquetas

Las arquetas de derivación a punto de luz se ejecutarán de hormigón HM-20 o de fábrica de ladrillo. Las paredes tendrán un espesor mínimo de 15 cm; las dimensiones interiores serán de 60 x 60 cm y la profundidad de 80 cm, en el caso de zanjas en aceras, arcenes y medianas; se podrán admitir dimensiones interiores de hasta 40 x 40 cm, cuando existan

problemas de espacio. En las zanjas en zonas verdes, las dimensiones interiores serán de 40 x 40 cm y 80 cm de profundidad. En todo caso, la superficie inferior de los tubos de plástico liso estará a 10 cm sobre el fondo permeable de la arqueta.

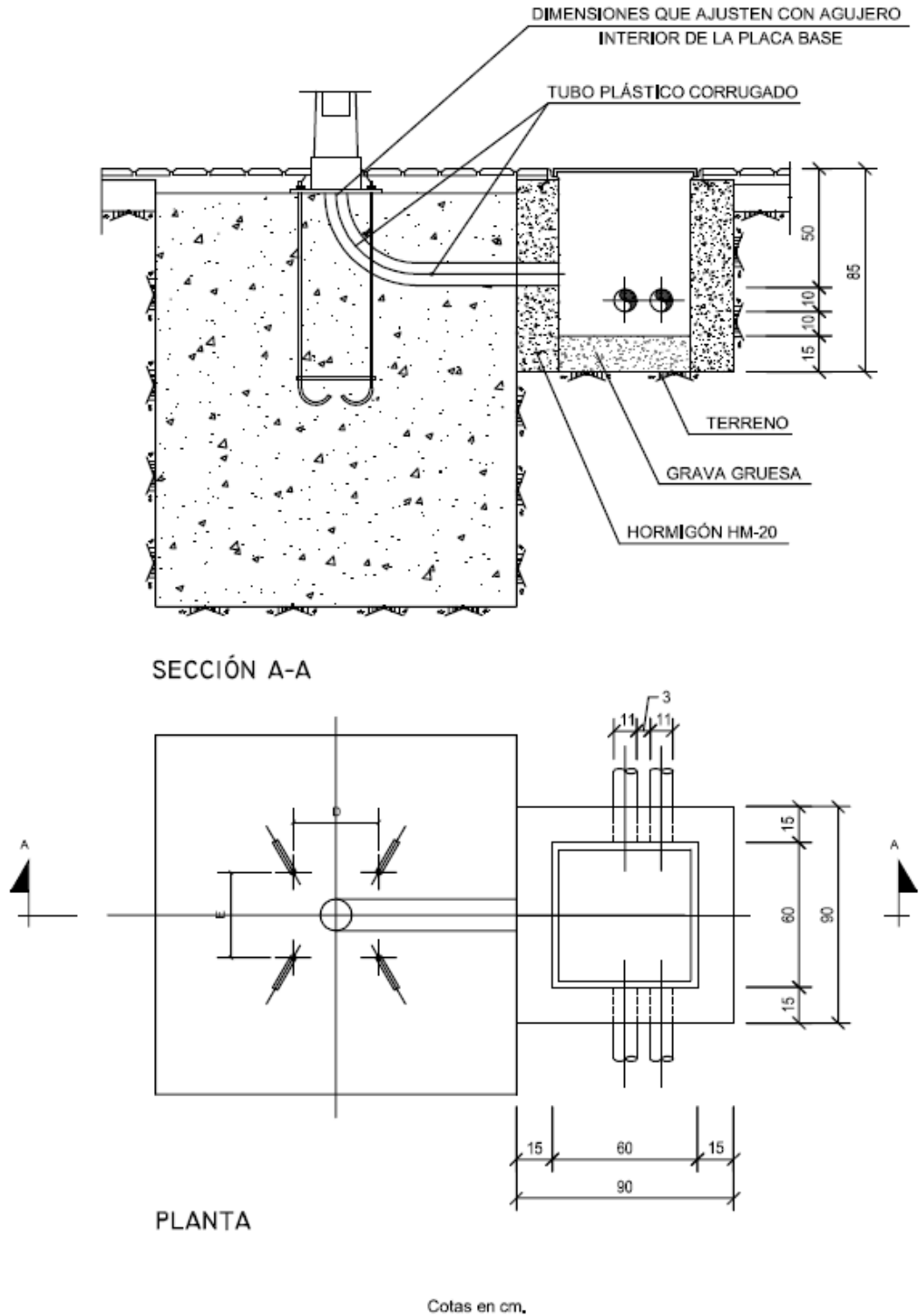


Figura 4.20. Arqueta de derivación a punto de luz

Las arquetas irán dotadas de marco y tapa de fundición modular de grafito esferoidal tipo FGE 42-12 según norma UNE-EN 1563: 2012. Fundición. Fundición de grafito esferoidal, con testigo de control en forma de mamelón troncocónico de diámetro 15 mm y salida 3°. Se preverá un anclaje del marco solidario con el mismo adecuado; el peso del marco será de 11,2 kg para arquetas de 60 x 60 cm y de 6,4 kg para arquetas de 40 x 40 cm, mientras que el peso de la tapa será respectivamente de 36,8 y 13,6 kg. El marco y la tapa también podrán ser de hormigón de las características adecuadas.

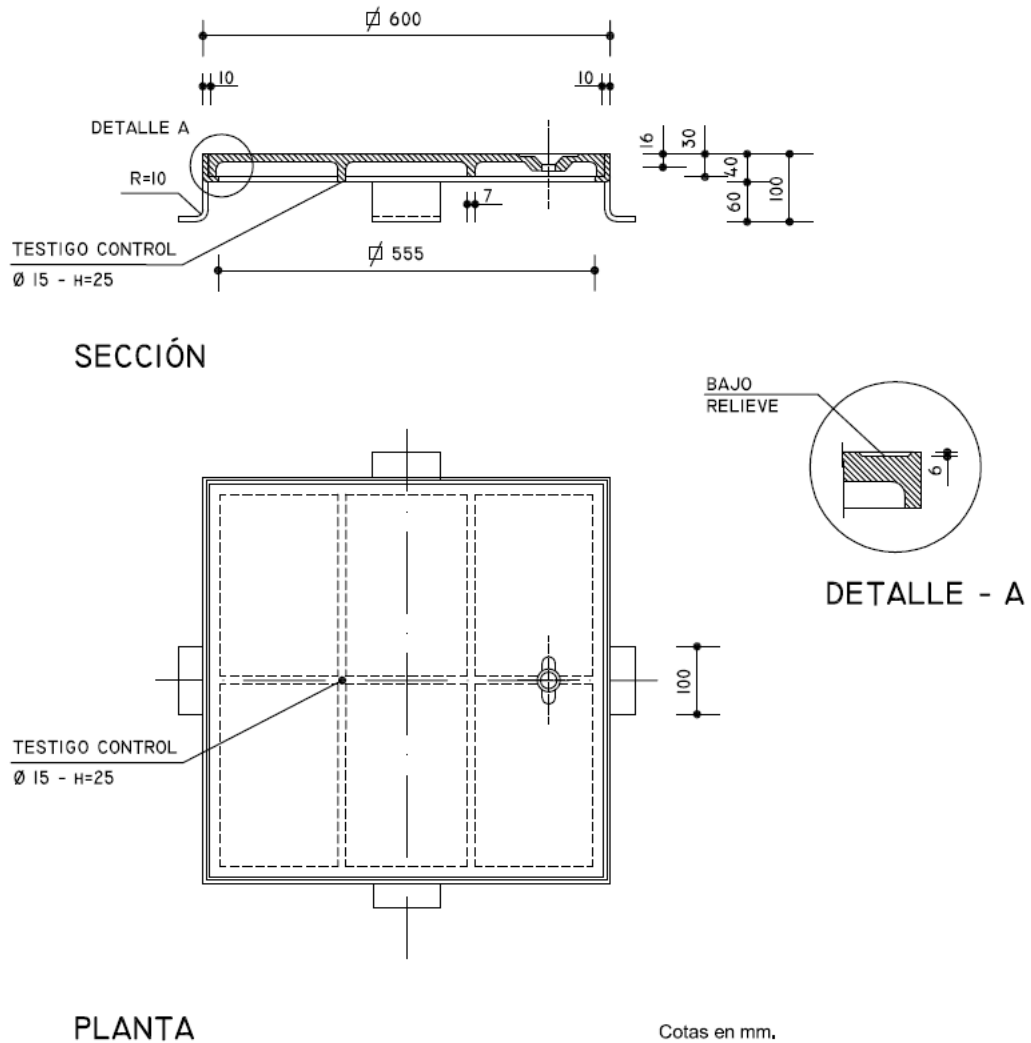
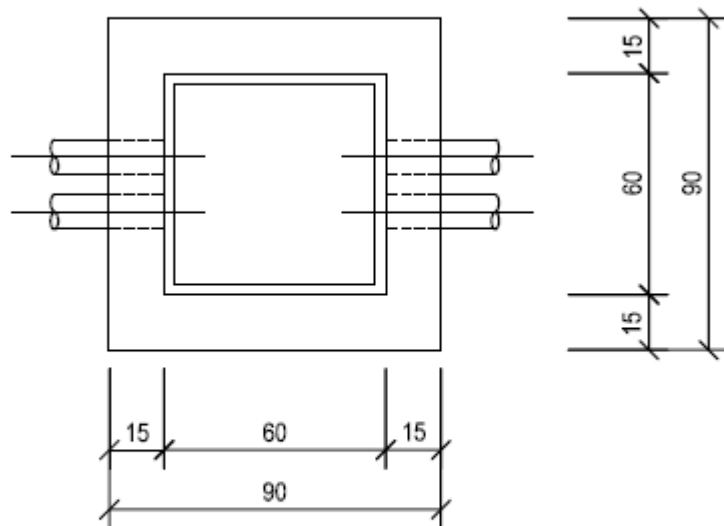
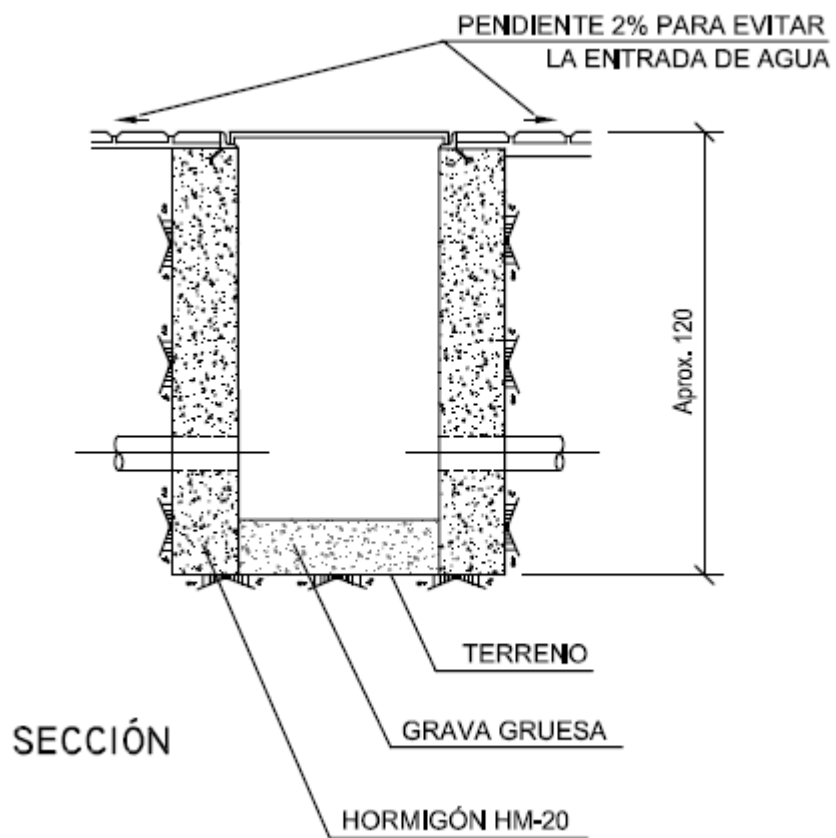


Figura 4.21. Modelo de tapa de arqueta de 0,6x0,6 m.

Las arquetas para cruce de calzada serán similares a las de derivación a punto de luz, de dimensiones interiores de 60 x 60 cm y con profundidad mínima de 1 m. En situaciones especiales podrá utilizarse la arqueta de cruce de calzada como arqueta de derivación.



PLANTA

Cotas en cm.

Figura 4.22. Arqueta tipo cruce de calzada.

Estos registros se utilizan para:

- Pasar el cable al inicio de la obra sin empalme.
- Reparaciones en caso de avería en los conductores.
- Comprobar la presencia de roedores y colocar componentes químicos anti roedor.
- Recoger a su interior los cables de la columna si esta se desmonta.

No obstante y con el fin de evitar el vandalismo y el robo de los conductores, se debe rellenar la arqueta con tierra fina y cubrirla con hormigón y disponer una tapa soldada; en caso de avería, las puntas de los conductores están en la bases de las columnas y no es preciso abrir las arquetas.

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 luminancia.
- Cálculo de la iluminancia.
- Cálculo del deslumbramiento perturbador (TI).
- Cálculo de la relación de entorno SR.

En el Anejo 3 de estas Recomendaciones se resumen los conceptos y métodos de cálculo de cada criterio en base a lo expuesto en la norma UNE EN 13201-3; a continuación se indica cómo deben presentarse los resultados de estos cálculos (tabla 4.5) y las consideraciones previas que hay que tener en cuenta para realizar el cálculo correspondiente.

L_m [cd/m ²]	U_0	U_l	TI [%]	SR
1.2	0.6	0.8	9	0.6
≥ 1.0	≥ 0.4	≥ 0.7	≤ 15	≥ 0.5
✓	✓	✓	✓	✓

Tabla 4.5. Ejemplo de presentación de resultados obtenidos

En la primera línea figuran los criterios luminotécnicos a satisfacer, en la segunda se recogen los valores encontrados en el cálculo y en la tercera se relacionan los límites admisibles que deben cumplirse para que la instalación sea correcta. Los signos en verde indican el cumplimiento de los criterios.

Sobre las consideraciones previas es preciso matizar los siguientes aspectos a los que se debe prestar una atención especial:

- La cuadrícula de cálculo tiene que ser equivalente para todas las alternativas de los diferentes proyectistas.
- Se debe definir la Clase de Alumbrado a la que pertenece cada caso.
- Los tipos o clases de pavimento que se tomen para el cálculo deben estar perfectamente justificados, indicando el tipo de pavimento así como el valor de q_0 (factor de reflexión del pavimento).

- Debe quedar clara la aplicación del denominado factor de mantenimiento (FM), que tiene en cuenta que los valores calculados son mantenidos durante la vida de la instalación.
- Deben hacerse constar, sin posibilidad de error, las siguientes características de los componentes empleados:
 - El tipo de fuente de luz y su documentación fotométrica (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.
 - La longitud del brazo del soporte si lo hay.
 - 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.

4.4 Cálculos eléctricos

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

- 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.

La determinación de la potencia instalada, de acuerdo con lo indicado en la Instrucción MI BT09 del Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión, se realizará considerando una potencia en voltamperios de 1,8 veces la potencia en vatios de las lámparas o tubos de descarga; para otros tipos de fuentes de luz se justificará el coeficiente a aplicar mediante el cálculo correspondiente.

El cálculo de las secciones en cada tramo de cada circuito se realizará considerando una caída de tensión máxima a origen del 3%, con secciones mínimas de 6 mm² en canalizaciones subterráneas, y de 4 mm² 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: $400 \times 3/100 = 12 \text{ V}$.

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 coloca. Esta resistividad varía frecuentemente de un punto a otro del terreno y también con la profundidad.

Los conductores de la red de tierra que unen los electrodos serán aislados y conductores de cobre de sección de 16 mm², mediante cables de tensión asignada 450/750 V con recubrimiento de color verde-amarillo.

Las picas serán de cobre con núcleo de acero al carbono, de longitud mínima 1 metro y diámetro mínimo 14 mm. Se hincarán en el fondo de las arquetas, de manera que la parte superior de la pica sobresalga 20 cm sobre la superficie superior del lecho de grava. Se instalará una pica por arqueta de derivación a punto de luz.

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

4.5 Distribución eléctrica

Los criterios que se recomienda tener en cuenta en la redacción del proyecto son:

- Utilizar conductores multipolar, 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 las canalizaciones. 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 en redes de alumbrado público este concepto es poco significativo, al primar más el cálculo por caída de tensión que el de cortocircuito en origen y final de línea.
- Utilizar conductores armados, dado que su resistencia mecánica es superior y no se deteriora por la presencia de roedores, preferentemente en las zonas en las 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 mm², aunque en los tramos iniciales podrán instalarse hasta de 50 mm² ya que facilita mucho las labores de conexionado, mantenimiento y el paso de los conductores por las canalizaciones.
- Se recomienda disponer de doble línea en todos los tramos, a efectos de una mayor seguridad en el funcionamiento de las instalaciones de alumbrado en viales, 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 se consigue una mejor sectorización y reparto de cargas. Este criterio es más importante en el alumbrado de glorietas.
- En sistemas de alumbrado en los que se utilicen puntos de luz de SAP es recomendable que las líneas que se derivan de un cuadro no sobrepasen los siguientes puntos por línea:
 - SAP-150 W: 21 puntos.
 - SAP-250 W: 18 puntos.
 - SAP-400 W: 15 - 18 puntos.
- La ubicación del cuadro general de protección debe estar en el centro de la instalación, siempre que sea posible, a efectos de una mejor sectorización y un mejor 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, el coste de instalación y facilita el mantenimiento.

4.6 Calificación energética de la instalación (REEIAE)

4.6.1 Eficiencia energética de una instalación

La eficiencia energética de una instalación de alumbrado exterior se define como la relación entre el producto de la superficie iluminada por la iluminancia media en servicio de la instalación y la potencia activa total instalada.

$$\varepsilon = \frac{S \cdot E_m}{P} \left[\frac{\text{m}^2 \cdot \text{lux}}{\text{W}} \right]$$

Siendo:

ε = eficiencia energética de la instalación de alumbrado exterior ($\text{m}^2 \cdot \text{lux}/\text{W}$).

P = potencia activa total instalada (lámparas y equipos auxiliares) (W).

S = superficie iluminada (m^2).

E_m = iluminancia media en servicio de la instalación, considerando el mantenimiento previsto (lux).

La eficiencia energética se puede determinar mediante la utilización de los siguientes factores:

ε_L = eficiencia de las lámparas y equipos auxiliares ($\text{lum}/\text{W} = \text{m}^2 \cdot \text{lux}/\text{W}$).

f_m = factor de mantenimiento de la instalación (valores por unidad).

f_u = factor de utilización de la instalación (valores por unidad).

$$\varepsilon = \varepsilon_L \cdot f_m \cdot f_u \left[\frac{\text{m}^2 \cdot \text{lux}}{\text{W}} \right]$$

Donde:

-Eficiencia de la lámpara y equipos auxiliares (ε_L): Es la relación entre el flujo luminoso emitido por una lámpara y la potencia total consumida por la lámpara mas su equipo auxiliar.

-Factor de mantenimiento (f_m): 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.

-Factor de utilización (f_u): 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.

El factor de utilización de la instalación es función del tipo de lámpara, de la distribución de la intensidad luminosa y del rendimiento de las luminarias, así como 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 exterior (tipo de implantación, altura de las luminarias y separación entre puntos de luz).

Para mejorar la eficiencia energética de una instalación de alumbrado se puede 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 Requisitos mínimos de eficiencia energética (ϵ)

INSTALACIONES DE ALUMBRADO VIAL FUNCIONAL

Las instalaciones de alumbrado vial funcional, con independencia del tipo de lámpara, del pavimento y de las características o geometría de la instalación, deberán cumplir los requisitos mínimos de eficiencia energética que se relacionan en la tabla 4.6.

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

Tabla 4.6. Requisitos mínimos de eficiencia energética

OTRAS INSTALACIONES DE ALUMBRADO

Se iluminará únicamente la superficie que se quiere dotar de alumbrado, instalando lámparas de elevada eficacia luminosa y equipos auxiliares de pérdidas mínimas; las luminarias y proyectores tendrán un rendimiento luminoso elevado; el factor de utilización y mantenimiento de la instalación será el más elevado posible.

4.6.3 Calificación energética de las instalaciones de alumbrado

Las instalaciones de alumbrado exterior se calificarán en función de su índice de eficiencia energética.

El índice de eficiencia energética (I_ϵ) se define como el cociente entre la eficiencia energética de la instalación (ϵ) y el valor de eficiencia energética de referencia (ϵ_R), en función del nivel de iluminancia media en servicio proyectada, que se indica en tabla 4.7.

Alumbrado vial funcional		Alumbrado vial ambiental y otras instalaciones de alumbrado	
Iluminancia media en servicio proyectada E_m (lux)	Eficiencia energética de referencia ϵ_R $\left(\frac{m^2 \cdot \text{lux}}{W} \right)$	Iluminancia media en servicio proyectada E_m (lux)	Eficiencia energética de referencia ϵ_R $\left(\frac{m^2 \cdot \text{lux}}{W} \right)$
≥ 30	32	--	--
25	29	--	--
20	26	≥ 20	13
15	23	15	11
10	18	10	9
$\leq 7,5$	14	7,5	7
--	--	≤ 5	5

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

Tabla 4.7. Valores de eficiencia energética de referencia

Con objeto de facilitar la interpretación de la calificación energética de la instalación de alumbrado y de acuerdo con lo establecido en la reglamentación vigente, se define una etiqueta que caracteriza el consumo de energía de la instalación mediante una escala de siete letras que va desde la letra A (instalación más eficiente y con menos consumo de energía) a la letra G (instalación menos eficiente y con más consumo de energía).

La calificación energética de la instalación, en función del índice de eficiencia energética (I_e) o del índice de consumo energético ICE ($ICE = 1/ I_e$), será la que corresponda según lo expuesto en la tabla 4.8. Cualquier instalación de alumbrado vial debe tener la calificación "D" o superior.

<u>Calificación Energética</u>	<u>Índice de consumo energético</u>	<u>Índice Eficiencia Energética</u>
A	$ICE < 0,91$	$I_e > 1,1$
B	$0,91 \leq ICE < 1,09$	$1,10 \geq I_e > 0,92$
C	$1,09 \leq ICE < 1,35$	$0,92 \geq I_e > 0,74$
D	$1,35 \leq ICE < 1,79$	$0,74 \geq I_e > 0,56$
E	$1,79 \leq ICE < 2,63$	$0,56 \geq I_e > 0,38$
F	$2,63 \leq ICE < 5,00$	$0,38 \geq I_e > 0,20$
G	$ICE \geq 5,00$	$I_e > 0,20$

Tabla 4.8. Calificación energética de la instalación

4.7 Análisis Económico

Teniendo en cuenta que el ahorro energético se ha convertido en un objetivo prioritario para el Ministerio de Fomento, y que la optimización de las instalaciones de iluminación de carreteras puede colaborar de forma importante a que se consiga, se recomienda que todos los proyectos de iluminación incluyan un anejo con el análisis económico de la inversión; cuando se trate de reposiciones, actualizaciones o modernización de instalaciones es obligatorio la realización del mismo y debe incluir un estudio de rentabilidad 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
- 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:

- Coste de estudios y proyectos.
- Coste de construcción.
- Coste de recepción y puesta en servicio de la instalación.
- Costes de inversiones realizadas durante el periodo de estudio.

Los costes 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 costes de inversión deben incluirse todos aquellos que se estime que es 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:

1º) En primer lugar se establecerá el modelo de explotación anual. En cada año del periodo de estudio hay que estimar para cada zona de la instalación el número de horas de funcionamiento y el nivel luminoso en cada franja horaria, de acuerdo con los sistemas de regulación instalados.

2º) A continuación se debe calcular la energía total consumida en cada año, en kWh.

3º) Seguidamente se deben estimar las tarifas a aplicar en cada año.

4º) Por último, multiplicando los consumos anuales en kWh por la tarifa correspondiente se obtendrá el gasto estimado por consumo.

COSTES DE MANTENIMIENTO

Se incluirán los costes estimados de:

- Las revisiones programadas.
- Las reparaciones que se prevean.
- La sustitución de las lámparas, luminarias y otros elementos que puedan fallar.
- La limpieza periódica de la instalación.

ANÁLISIS ECONÓMICO

Su objeto es calcular la rentabilidad de las diferentes alternativas que se hayan contemplado, lo que permitirá seleccionar 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 se calculará además la tasa interna de retorno (TIR) y el plazo de retorno de la inversión, si procede.

- Para cada alternativa se calculará el VAN en el año en que se produce la inversión, obteniendo los valores actualizados de los flujos de los gastos de inversión y de los gastos anuales de explotación durante el periodo de estudio.
- La TIR del proyecto se calculará como la tasa de descuento que aplicada a los flujos de inversiones, gastos y ahorros 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 de una instalación.
- 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 ésta.

Se realizarán análisis de sensibilidad de los ratios de rentabilidad, en relación con las variaciones de la inversión, con el coste estimado de los consumos y con los costes de explotación.

El análisis se realizará con los criterios siguientes:

- Todas las magnitudes monetarias se expresarán en euros de cada año.
- 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 con 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 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 "Características de la instalación" en el que figurará un cuadro con los datos siguientes como mínimo:

- Características del tráfico y su distribución.
- Tipo y número de luminarias.
- Potencia instalada.
- Niveles lumínicos y potencias teóricas máximos, mínimos y medios para cada zona (lux, cd/m² y kW).
- Porcentajes de los anteriores parámetros que se aplican en cada situación (pleno día, nublado, etc.).
- Consumo teórico mensual y anual.
- Ratios:
 - Potencia por m² (kW/m²).
 - Consumos teóricos por m² y m.

- Iluminación media (lux/m²).
- Luminancia media cd/m².
- Eficiencia energética.
- Calificación energética de la instalación.

Una vez finalizadas las obras, este cuadro debe ser actualizado e incluirse en la documentación final de la obra.

4.9 Documentación a incluir

Los proyectos de iluminación de viales a cielo abierto deberán cumplir lo que en cada momento se establezca por 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 Cálculos luminotécnicos

ANEJO Nº 2 Cálculos eléctricos

ANEJO Nº3 Cálculos estructurales

ANEJO Nº 4 Soluciones propuestas al tráfico durante la ejecución de las obras

ANEJO Nº 5 Replanteo

ANEJO Nº 6 Coordinación con otros organismos y servicios

ANEJO Nº 7 Expropiaciones e indemnizaciones

ANEJO Nº 8 Reposición de servicios

ANEJO Nº 9 Plan de obras

ANEJO Nº 10 Clasificación del contratista

ANEJO Nº 11 Justificación de precios

ANEJO Nº12 Presupuesto de inversión

ANEJO Nº 13 Fórmula de revisión de precios

ANEJO Nº 14 Valoración de ensayos

ANEJO Nº 15 Análisis económico

ANEJO Nº 16 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

Se prestará especial atención a los aspectos siguientes:

- La memoria resumirá con precisión el contenido del proyecto y la justificación de la solución, tanto desde el punto de vista técnico como económico.
- Anejos de cálculos luminotécnicos y eléctricos, desvíos provisionales y análisis económico.
- Se definirán con precisión los puntos de cruce.
- Se definirán los esquemas unifilares
- Los requerimientos mínimos exigidos para su legalización, según la normativa autonómica correspondiente.

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 del Ministerio de Fomento, se deberá cumplir la normativa específica vigente. A efectos orientativos y sin pretender 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-EN 13201, Iluminación de carreteras.
- Real Decreto 2642/1985, de 18 de diciembre (B.O.E. de 24-1-86), sobre homologación de columnas y báculos.
- Real Decreto 401/1989 de 14 de abril, por el que se modifican determinados artículos del Real Decreto anterior (B.O.E. de 26-4-89).
- Orden de 16 de mayo de 1989, que contiene las especificaciones técnicas sobre columnas y báculos (B.O.E. de 15-7-89).
- Orden de 12 de junio de 1989 (B.O.E. de 7-7-89), por la que se establece la certificación de conformidad a normas como alternativa de la homologación de los candelabros metálicos (báculos y columnas de alumbrado exterior y señalización de tráfico).
- 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 y Ordenanzas Municipales.

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

- CIE 115:2010 Alumbrado de carreteras para tráfico de vehículos y peatones.
- CIE 132:1999 Métodos de diseño para la iluminación de carreteras.

CAPÍTULO 5

EJECUCIÓN DE OBRAS

En este apartado se exponen los aspectos específicos de las obras de iluminación de carreteras a cielo abierto 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 realizar la revisión del 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 las posibles acometidas (comprobando con las compañías suministradoras su conformidad), a que los cruces de los viales se realizan en los sitios más adecuados y a las posibles interferencias con otros servicios.

5.2 Realización de las obras

Como es costumbre, 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 cuando y como 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 Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto.

Estas especificaciones generales se complementan con lo establecido en el Pliego de Prescripciones 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 puntos de luz: montaje de fuente de luz en luminarias, sujeción de luminaria al soporte e izado del soporte.
- Instalación de cables.
- Montaje e instalación de los equipos de mando y maniobra en los cuadros de sector.
- Montaje y conexionado de los sistemas de regulación.
- Conexionado eléctrico total de la instalación.
- Legalización del proyecto en administración autonómica.
- Contratación del suministro con compañía suministradora.

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

5.2.1 Obra civil

5.2.1.1 Cimentaciones de báculos

En primer lugar se realizará la excavación por medios mecánicos preferiblemente, la cual debe quedar limpia de tierra y piedras; a continuación, se situará una plantilla con los cuatro pernos con doble zunchado nivelados y fijos y la tubería de PVC, de 110 mm de diámetro como mínimo, para el paso de los conductores eléctricos; por último, se procederá a verter el hormigón.

Una vez hayan transcurrido siete días como mínimo desde la ejecución de la cimentación, se procederá a la colocación de los báculos; en primer lugar, se colocarán y nivelarán las tuercas y arandelas inferiores en los pernos; seguidamente, se izará el soporte apoyando la base sobre las arandelas y se pondrán las arandelas y las tuercas superiores de sujeción, el cual se nivelará manipulando las tuercas inferiores; por último, se ajustarán convenientemente las tuercas superiores.

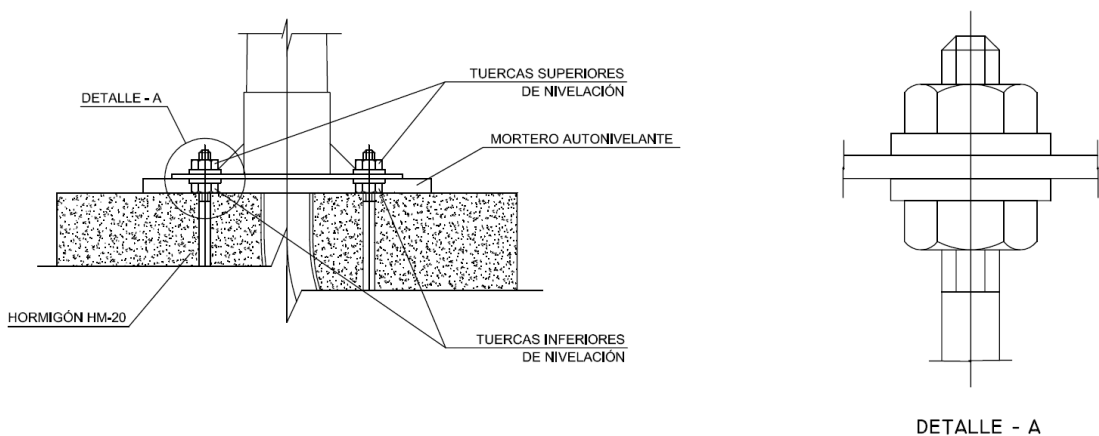


Figura 5.1. Nivelación del soporte.

5.2.1.2 Zanjas

Las zanjas se ejecutarán con las dimensiones y condiciones que se establezcan en el proyecto, de acuerdo con lo especificado en las figuras 4.17, 4.18 y 4.19. Existen dos posibilidades, que los conductores estén entubados o que se dispongan directamente sobre el terreno.

+ Conducciones entubadas

Una vez limpio el fondo de la zanja de tierra y piedras, se colocarán los separadores de PVC cada 80 cm y se colocarán sobre los mismos los tubos de polietileno de alta densidad, según norma UNE-EN 50086:1995, de 110 mm de diámetro exterior, de doble capa corrugada, la exterior de color rojo, y la interior lisa e incolora. Los espesores serán los indicados por el fabricante en sus catálogos y se comprobarán a su recepción. A continuación, se rellenará el fondo de la zanja y se recubrirán los tubos con hormigón HM-20 hasta una altura de 10 cm por encima de los mismos.

El resto de la zanja se rellenará con material seleccionado procedente de la propia excavación o de aportación, que esté limpio de piedras y cascotes; se compactará mecánicamente en tongadas no superiores a 15 cm, al 95% del proctor modificado.

A los 15 cm de la parte superior del hormigón donde se encuentran embebidos los tubos de plástico, se colocará una malla de señalización de 30, 20 o 10 cm de ancho según sea la zanja de 40, 30 o 20 cm de anchura. La terminación de la zanja se ejecutará reponiendo el tipo de pavimento, suelo de tierra o césped existente inicialmente o proyectado. Se evitará que en las proximidades de la zanja se planten árboles de raíz profunda.

En las zanjas que conecten dos arquetas consecutivas, los tubos de plástico liso serán continuos sin ningún tipo de empalme, y las canalizaciones no serán horizontales sino ligeramente convexas, de tal manera que el agua almacenada por condensación o filtrado circule hacia las arquetas.

+ Conductores sobre el terreno

En el caso de que los conductores vayan directamente enterrados en el terreno, en la instalación de los mismos se aconseja cumplir las instrucciones siguientes:

- El lecho de la zanja que va a recibir el cable será liso y estará libre de aristas vivas, cantos, piedras, etc. En el mismo se dispondrá una capa de arena de mina o de río lavada, con un espesor mínimo de 5 cm, sobre la que se colocará el cable; por encima del cable irá otra capa de arena de unos 10 cm de espesor. Ambas capas cubrirán la anchura total de la zanja, la cual será suficiente para que haya como mínimo 5 cm entre los cables y las paredes laterales.
- Encima de la arena, se debe disponer una protección mecánica, como por ejemplo, losetas de hormigón, placas protectoras de plástico, ladrillos o rasillas colocadas transversalmente; podrá admitirse el empleo de otras protecciones mecánicas equivalentes. También se colocará una cinta de señalización que advierta de la existencia del cable eléctrico de baja tensión; se ubicará a 10 cm como mínimo por debajo del pavimento terminado y a 25 cm por encima de la parte superior del cable. Se puede admitir también la colocación de placas con la doble misión de protección mecánica y de señalización.

5.2.1.3 Cruces

Los cruces de calzadas se realizarán preferiblemente mediante perforaciones subterráneas, como la hincada de tubos u otros sistemas similares. Se pueden utilizar tubos de acero, o a poder ser de polietileno, de diámetro superior a 400 mm, dependiendo del número de circuitos-tubos que se quieran pasar; la generatriz superior de la tubería estará a una profundidad mínima equivalente a 3 diámetros. Las tuberías pueden rellenarse con mortero o no dependiendo de las características de permanencia de los circuitos, de modo que se forme un dado de hormigón. Antes de hacer la perforación subterránea, deben conocerse

las características geotécnicas del terreno para comprobar su idoneidad y elegir el método de perforación a emplear más adecuado a las características del mismo.

Si se ejecuta mediante excavación, se procederá igual que en las zanjas normales, pero teniendo en cuenta que generalmente hay que colocar mayor número de conducciones para prever necesidades futuras. Se cubrirán con hormigón HM-20 hasta una altura de 15 cm por encima de las mismas como mínimo; el resto de la zanja se rellenará con hormigón HM-20 o grava-cemento, con objeto de evitar posibles asentamientos; a 25 cm por encima de la parte superior de los tubos se colocará una malla de señalización de 30 cm de ancho.

– CRUCES CON OTRAS CONDUCCIONES

En los cruces con otras canalizaciones eléctricas o de otra naturaleza (agua, alcantarillado, gas, teléfono, etc.), se dispondrán tubos de polietileno de alta densidad, según norma UNE-EN 50086:1995, de 110 mm de diámetro exterior, de doble capa corrugada, de color rojo la exterior y lisa e incolora la interior, cuyos espesores serán los indicados por el fabricante en sus catálogos y se comprobarán a su recepción; se recubrirán con una capa de hormigón HM-20 de 10 cm de espesor. La longitud del tubo hormigonado tendrá como mínimo 50 cm a cada lado de la canalización existente, debiendo ser la distancia entre ésta y la pared exterior del tubo de plástico de 15 cm por lo menos siempre que sea posible.

5.2.1.4 Arquetas

Además de lo prescrito en el apartado 4.2.2.3, para su ejecución en primer lugar se retirará la capa vegetal; posteriormente, una vez limpio el terreno de tierra, piedras y cascotes, se dispondrá un lecho de grava gruesa de 15 cm de espesor para facilitar el drenaje del fondo de la arqueta.

La terminación de la arqueta en su parte superior se repondrá y enrasará de acuerdo con el pavimento existente o proyectado, dándole una pendiente de un 2 % para evitar la entrada de agua.

5.2.2 Instalación de cables

No se admitirán empalmes en los conductores situados en el interior de los tubos o arquetas a lo largo de toda la derivación.

Todos los conductores en su origen y destino deberán tener la identificación del circuito, mediante adaptadores plastificados de probada durabilidad.

5.3 Control de Calidad

El control de ejecución 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 colocar en obra los materiales, debe comprobarse que cumplen las prescripciones establecidas en el proyecto o aprobadas por la Dirección de Obra, para lo cual de cada elemento deben llevarse a cabo los ensayos o controles siguientes:

DOCUMENTACIÓN GENERAL DE LA EMPRESA SUMINISTRADORA

Datos de la 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 las 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).
- En caso de emplear módulos de LED, deberán cumplir las especificaciones contenidas en la Norma UNE-EN 62031 (Documentación acreditada por el fabricante del LED).
- Asimismo deberá cumplir las especificaciones contenidas en la Norma UNE-EN 62471 sobre seguridad fotobiológica. (Documentación acreditada por el fabricante del LED).

Además de esta documentación, deberán hacerse los ensayos y controles de los distintos componentes de la instalación que se indican a continuación, rechazándose aquellos que no satisfagan las tolerancias mínimas exigidas por las Normas UNE EN aplicables a los mismos (luminarias, balastos, equipos, etc.; se relacionan en el Anejo 2), o que incumplan especificaciones particulares recogidas en el Pliego de Prescripciones Particulares del Proyecto.

FUENTES DE LUZ

Se comprobará:

- Tipo y potencia de la fuente de luz.
- Por muestreo, se elegirá un 5% del total de cada tipo y potencia y, con un balasto previamente comprobado siguiendo las indicaciones que figuran en las inspecciones de equipos eléctricos, se tomarán los parámetros siguientes:
 - Tensión de arco.
 - Intensidad.

En caso de emplearse LED, deberán llevarse a cabo los siguientes ensayos:

Se tomará al azar una muestra 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 (aprox. 10%), con los aportados previamente en la documentación, se procederá a ensayar otros 2 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.

EQUIPOS ELÉCTRICOS AUXILIARES

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

- En caso de balastos inductivos, la impedancia; 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; muestreo del 5% de los balastos de cada tipo y potencia.
- Para los arrancadores, se examinará por muestreo un 1% de los distintos equipos completos con su lámpara, con 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).

LUMINARIAS

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

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

EQUIPOS REGULADORES

Se comprobará el tipo de equipo suministrado, que podrá ser uno de los 3 siguientes:

- Balastos de doble nivel.
- Balasto electrónico.
- Estabilizador regulador de cabecera de línea.

Y para cada uno de estos 3 tipos se tomarán por muestreo un 5% de equipos y se harán las comprobaciones siguientes:

- 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 (para conmutar la impedancia) o de dos (para conmutar también la capacidad).
 - Su funcionamiento (si es dando tensión o quitando).
- 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 o dinámico).

- 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.

SOPORTES

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

- Altura del soporte, vuelo del brazo, si lo lleva, e inclinación del mismo.
- Espesor de la chapa metálica de la que está construido, o características del material plástico o de otro tipo.
- Tipo de protección (galvanizado en caso de acero, anodizado en caso de aluminio, etc.) y espesor de la capa de protección.

DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA

Se comprobará:

- Secciones de conductores: certificado del fabricante.
- Aislamiento de conductores: ensayo de aislamientos.

5.3.2 Control de ejecución

OBRA CIVIL

Se comprobará:

- Fondos de excavación: comprobación visual que estén limpio de piedras y otros restos.
- Hormigón: según lo establecido en EHE-08.
- Tuberías PVC: certificados y comprobación visual.
- Rellenos: ensayo proctor modificado 95%.
- Arquetas: materiales y comprobación geométrica.

FUENTES DE LUZ. LUMINARIAS

Se comprobará:

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

SOPORTES

Se comprobará:

- Aplomado de los soportes una vez izados.
- Portezuelas, alojamiento del conexionado y fusibles de la parte inferior del soporte.

DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA

Se comprobará:

- Colocación de conductores en tubos: 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 realizar las inspecciones y verificaciones legales correspondientes.

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:

- a) Potencia eléctrica consumida por la instalación. 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.
- b) Iluminancia media de la instalación. El valor de dicha iluminancia será el valor medio de las iluminancias medidas en los puntos de la retícula de cálculo, de acuerdo con lo establecido en la ITC-EA-07.
- c) Uniformidad de la instalación. Para el cálculo de los valores de uniformidad media se tendrán en cuenta las mediciones individuales realizadas para el cálculo de la iluminancia media.
- d) Luminancia media de la instalación. Esta medición se realizará cuando la situación de proyecto incluya clases de alumbrado con valores de referencia para dicha magnitud.
- e) Deslumbramiento perturbador y relación entorno SR.

Estas mediciones se realizarán para el nivel máximo de iluminación y para varios niveles reducidos.

A partir de las medidas anteriores, se determinarán la eficiencia energética (ϵ) y el índice de eficiencia energética (I_e) reales de la instalación de alumbrado exterior. El valor de la eficiencia energética (ϵ) no deberá ser inferior en más de un 10% al del valor (ϵ) proyectado, y la calificación energética de la instalación (I_e) deberá coincidir con la proyectada.

5.4.2 Verificaciones e inspecciones legales

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.

Según el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión, 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.

Además, según el Reglamento de Eficiencia Energética en instalaciones de alumbrado exterior, se comprobará el cumplimiento de las disposiciones y requisitos de eficiencia energética establecidos en el mismo y sus instrucciones técnicas complementarias mediante verificaciones realizadas por instaladores autorizados de acuerdo con el Reglamento electrotécnico para Baja Tensión. Esta verificación podrá ser:

- Inicial: Previa a su puesta en servicio, en todas las instalaciones.
- Cada 5 años en instalaciones de hasta 5 kW de potencia instalada.

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 a fin de asegurar, en la medida de lo posible, el cumplimiento reglamentario a lo largo de la vida de dichas instalaciones.

Según el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión, las instalaciones de alumbrado exterior con una potencia instalada superior a 5 kW serán objeto de las siguientes inspecciones:

- Inicial: Antes de la puesta en servicio de las instalaciones.
- Periódicas: Cada 5 años.

Además, según el Reglamento de Eficiencia Energética en instalaciones de alumbrado exterior, en dichas inspecciones se comprobará el cumplimiento de las disposiciones y requisitos de eficiencia energética establecidos en el mismo y sus instrucciones técnicas complementarias por parte de 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.

RESULTADOS DE LAS VERIFICACIONES E INSPECCIONES

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:

- a) Favorable: Cuando no se determine la existencia de ningún defecto muy grave o grave.

b) 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:

b.1) Las instalaciones nuevas que sean objeto de esta calificación no podrán ser suministradas de energía eléctrica en tanto no se hayan corregido los defectos indicados y puedan obtener la calificación de favorable.

b.2) A las instalaciones ya en servicio se les fijará un plazo para proceder a su corrección, que no podrá superar los 6 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.

c) Negativa: Cuando se observe, al menos, un defecto muy grave. En este caso:

c.1) Las nuevas instalaciones no podrán entrar en servicio, en tanto no se hayan corregido los defectos indicados y puedan obtener la calificación de favorable.

c.2) 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 debe presentar la documentación completa de la instalación, el Manual de Mantenimiento y los resultados de las mediciones de las comprobaciones finales.

Se deben elaborar los documentos siguientes:

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:

- Los referentes al titular de la instalación.
- Emplazamiento de la instalación.
- Uso al que se destina.
- Relación de luminarias, lámparas y equipos auxiliares instalados y su potencia.
- Factor de utilización (fu) y de mantenimiento (fm) de la instalación de alumbrado exterior, eficiencia de las lámparas y equipos auxiliares a utilizar (ϵ_L), rendimiento de la luminaria (η), flujo hemisférico superior instalado (FHSinst), disposición espacial adoptada para las luminarias y, cuando proceda, la relación luminancia/iluminancia (L/E) de la instalación.
- Régimen de funcionamiento previsto y descripción de los sistemas de accionamiento y de regulación del nivel luminoso.
- Medidas adoptadas para la mejora de la eficiencia y ahorro energético, así como para la limitación del resplandor luminoso nocturno y reducción de la luz intrusa o molesta.

Asimismo, de acuerdo con lo dispuesto en la ITC-EA-01, en las instalaciones de alumbrado exterior, con excepción de las de alumbrado de señales y anuncios luminosos y las de alumbrado festivo y navideño, deberá incorporarse:

- Cálculo de la eficiencia energética de la instalación, para cada una de las soluciones adoptadas.
- 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 (iluminancias, luminancias con sus uniformidades y deslumbramientos, relación de entorno), 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, con cruces de calzadas, 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 las fuentes de luz, de los equipos y de los 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.

Se incluirán los ensayos de control de la ejecución de las obras, así como los partes de no conformidades y las actuaciones correctoras realizadas.

Se incluirán las comprobaciones realizadas para la recepción de las obras.

Se incluirán 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 y telegestión de la instalación, así como planos y mediciones de las obras realmente ejecutadas.

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 hacerse preferiblemente a la vez que 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.

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 evitarlos.

Como se podrá apreciar a lo largo de los apartados siguientes, cuando se habla de un Plan de Mantenimiento, se está haciendo referencia implícita a cada uno de los diversos tipos de mantenimiento que se pueden dar, y en particular al 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; a continuación, se analizan detenidamente los dos tipos de mantenimiento.

6.2 Normativa de aplicación

Para las instalaciones de alumbrado exterior, la normativa 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 y cómo se deben controlar las características de la instalación en tiempo real. A continuación se exponen las indicaciones más significativas que afectan a las instalaciones de alumbrado de carreteras:

– 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”.

Así mismo, 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”.

– 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.”

– 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”.

– 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”.

– 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:

- a) Consumo energético anual.*
- b) Tiempos de encendido y apagado de los puntos de luz.*
- c) Medida y valoración de la energía activa y reactiva consumida, con discriminación horaria y factor de potencia.*
- d) 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 un inventario de los sistemas y elementos componentes de la instalación que son susceptibles de mantenimiento o que precisen operaciones de conservación.

Según los criterios de la Asociación Española de Mantenimiento, los elementos básicos a inventariar en una instalación de alumbrado, son:

- 1) Módulos de Medida o Puntos de Suministro.
- 2) Centros de Mando o Cuadros de Control.
- 3) Puntos de luz (fuentes de luz, luminarias, equipos eléctricos auxiliares, soportes, etc.).

En los anejos del presente documento se adjunta una ficha tipo para realizar el inventario correcto de cada elemento. Con estas fichas quedarán 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, se ha estimado que era más práctico elaborar un método específico para la realización de inventarios adaptado a los requerimientos del alumbrado de carreteras, pero sin entrar en ningún momento en contradicción con lo especificado en 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, los cuales deben contener los epígrafes y códigos que se indican a continuación:

1.- Identificación de la instalación:

- Se debe asignar un código a la instalación que indicará su localización que represente:
 - Demarcación.
 - Provincia.
 - Carretera.
 - P.K.
 - CUP.

2.- Elementos de la Instalación:

- Características generales de la instalación:
 - Características del tráfico.
 - Horas de funcionamiento totales anuales previstas.
 - Horas de funcionamiento anuales con potencia reducida.
 - Nivel de reducción.
 - Luminancias (media, máxima y mínima).
 - Iluminancias (media, máxima y mínima).
 - Consumo teórico en kWh.
- Cuadro :
 - Potencia instalada.
 - Potencia contratada.

- N° de contadores (identificación de cada uno).
 - Regulación (tipo).
 - Otros elementos (relojes, células, luminancímetros, etc.).
- Cables :
 - Tipo y sección.
 - Longitud.
 - Tipo de conducción.
 - Fabricante.
 - Puntos de luz:
 - Número total.
 - Número identificador inicial.
 - Número identificador final.
 - Ficha de cada punto donde conste: tipo báculo, altura, potencia luminaria, tipo luminaria, vida útil lámpara, tipo de elementos accesorios (balastos etc.), fabricante, fecha instalación, fecha última reposición, etc.

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 suelen realizarla la compañía suministradora de electricidad. No obstante, se deben tomar los datos siguientes:

- Código identificador, que debe ser único.
- N° de Suministro o de Contrato de la compañía suministradora de electricidad.
- N° de Contador de Potencia Activa. Dato fundamental para poder localizar el N° 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.
- N° de Contador de Potencia Reactiva.
- Nombre de la carretera 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 ésta 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 la 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; la base de datos específica de los centros de mando o cuadros de control debe tener la información siguiente:

- Código Identificador. Este código debe de 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 modulo de medida que suministra energía.
- Nombre de la carretera y punto kilométrico de la misma, o en su defecto detalle de localización.
- Circuitos de salida, que incluirán los datos complementarios siguientes:
 - Nombre o número.
 - Tipo.
 - Protecciones magnetotérmicas.
 - Protecciones diferenciales.
 - Tipo de conductor.
 - Sección del conductor.
 - Tipo de canalización.
- Protecciones generales con:
 - Sus interruptores generales
 - Protecciones magnetotérmicas
 - Protecciones diferenciales.

Para cada una de estas protecciones se identificarán: intensidad, polaridad, sensibilidad en caso de las protecciones diferenciales, marca y modelo.

Así mismo, 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; de este componente se hará constar si es astronómico, analógico, telegestión etc, incluyendo marca y modelo.
- Sistema de ahorro de energía:
 - 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.

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; se registrarán los datos siguientes:

- Cuadro del sector al que están conectados.
- Fecha de instalación, con indicación de la vida útil dada por el fabricante.
- Circuito al que pertenecen.
- Tipo de conductor y su aislamiento.
- Sección del conductor.
- Fabricante.

6.3.5 Puntos de luz

Son el elemento más numeroso de la instalación, por lo que se han desarrollado herramientas informáticas para facilitar su inventario, y visualizar la información de forma gráfica, adaptada en bases de datos tipo Oracle o SQL Server vinculadas a Sistemas de Información Geográfica tan completas como se quiera. Sin embargo, en la mayoría de las instalaciones estos datos se toman y guardan alfanuméricamente, asignándolos directamente al circuito de salida y carretera. Los datos mínimos a recoger de estos elementos en la base de datos son los siguientes:

- Código de identificación del punto de luz.
- Fecha de instalación, con indicación de la vida útil dada por el fabricante.
- Fecha en que se toman los datos de inventario.
- Carretera en la que se encuentra instalado y punto kilométrico exacto.
- Número de orden del punto de luz.
- Centro de mando al que pertenece.
- Circuito de salida que lo alimenta.
- Contrato. Este dato es fundamental, tanto para las empresas de mantenimiento de la instalación como para las Administraciones que tienen dividida la instalación a efectos de mantenimiento.

De cada componente se recoger la información siguiente:

a) *Soporte del punto de luz*

- Tipo de Soporte, distinguiendo al menos entre:
 - Báculo.
 - Brazo.
 - Columna.
 - Mural o sobre pared.
 - Otros.

- Altura del punto de luz. Que puede ser o no igual a la del soporte.
- Marca (fabricante) del soporte.
- Modelo de soporte. Se recomienda tener una base de datos documental donde se recojan características tales como distancia entre pernos, diámetro de estos, etc.

b) Luminaria

- Tipo de Luminaria. Donde se debe distinguir al menos el tipo de entre:
 - Vial asimétrica abierta.
 - Vial asimétrica cerrada.
 - Proyector.
 - Otros.
- Marca (fabricante) de la luminaria.
- Modelo de luminaria. En este caso también se pueden incorporar las características fotométricas, FHS, 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 mono o bilámpara).

c) Fuente de luz

- Tipo de Fuente de luz. En la que al menos se distinguirá entre:
 - Vapor de Mercurio.
 - Vapor de sodio alta presión.
 - Vapor de sodio baja presión.
 - Halogenuros metálicos.
 - 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 el % de reducción de tensión que admite, así como los equipos eléctricos auxiliares compatibles con ella.
- Potencia de la fuente de luz (en vatios).

d) Equipo eléctrico auxiliar

- Tipo de Equipo eléctrico auxiliar. Se distinguirá entre:
 - Balasto de simple nivel.
 - Balasto de doble nivel.
 - Balasto electrónico.
 - 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 se especificará si a simple vista el estado del equipo es bueno o malo.
- Datos eléctricos (impedancia, pérdidas en vatios, etc.). Estos datos, aunque no son indispensables, ayudarán mucho al mantenimiento preventivo.

6.4 Mantenimiento programado o preventivo

El mantenimiento programado o preventivo consiste en la ejecución de acciones, tales como la sustitución de piezas, 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 e 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 lo que permite conseguir una eficiencia importante.

Las ventajas del mantenimiento programado son:

- Reduce las averías y en consecuencia evita que la instalación tenga fallos de funcionamiento.
- 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.

6.4.1 Operaciones de mantenimiento programado

Existen dos clases diferentes de operaciones de mantenimiento programado: las primeras se refieren a las realizadas con carácter general en la instalación (suelen ser inspecciones y comprobaciones) y las segundas se refieren a las llevadas a cabo en los elementos componentes de la instalación.

- OPERACIONES DE CARÁCTER GENERAL

- Vigilancia general diaria (nocturna), que consistiría 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.
- 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.

- 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 visual 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 3 fases y el neutro (sistemas trifásicos).
 - Comprobación de 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 parte inferior del soporte).
 - Si es de aluminio, (estado del anodizado o pintura, comprobación de pares galvánicos entre la placa base y la cimentación de hormigón, arandelas, etc.).
 - Si es material plástico, (estado de la superficie para comprobar si hay fibras de carga sueltas o abrasión exagerada en la superficie).
 - Comprobación visual de verticalidad o aplomado.
 - Comprobación de conexiones en el interior del soporte (fusibles, etc.).
 - Comprobación de puesta a tierra y medición de resistencia óhmica.
- 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. (Ver Punto 6.7 de estas Recomendaciones)
- Equipos eléctricos auxiliares:
 - Funcionamiento correcto de lámpara, mediante mediciones de valores eléctricos (intensidad, tensión en lámpara, etc.)
 - Factor de potencia,
- a) Balasto:
 - Medición de impedancia.

- Pérdidas eléctricas.
- b) Arrancador:
- Medir con sonda picos de tensión de arranque.
- c) Condensador:
- Medir el factor de potencia en funcionamiento.
- d) Fuente de Alimentación para LED:
- Medición de Intensidad.
 - Variación de tensión de alimentación al variar la tensión de red.

Sistemas de regulación de nivel y ahorro de energía:

Como 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 el régimen reducido respecto al régimen máximo.
- Medición del factor de potencia.
- Medición de los valores eléctricos de las fuentes de luz, tensión, intensidad, etc.

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 en qué consiste cada operación de medición enunciada previamente.

De carácter general:

- Vigilancia general diaria (nocturna). 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. **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 suministradora y se comprueban todos los datos de facturación, potencia contratada, tarifa aplicada, reactiva, etc. **Mensual.**
- Medición de niveles luminosos. Esta operación por su extensión se ha descrito en un anexo de estas Recomendaciones, pues se deben definir los aparatos de medida y el modo de hacer la medición en la cuadrícula o cuadrículas previstas. **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.**

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 un termómetro.* **Mensual.**
- Medición de tensiones. *Con un 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 y ahorro. *Ayudándose de las lecturas de contadores.* **Mensual.**

Conductores:

- Comprobación visual de conexiones y revisión de arquetas. *Tarea visual comprobando si no hay ninguna conexión suelta de su terminal o que ofrezca aspecto de estar recalentada.* **Anual.**
- Mediciones sobre las 3 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 y que no hay una fase con más carga que las otras de forma exagerada.* **Bimensual.**

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 base y en la parte inferior del soporte. *Si se observan desprendimientos de pintura, procederá 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 cimentación de hormigón, arandelas, etc. *Operación visual.* **Anual.**
 - Si es material plástico: estado de la superficie para comprobar si hay fibras de carga sueltas o abrasión exagerada en la superficie. *Operación visual.* **Anual.**
- Comprobación de verticalidad o aplomado. *Operación visual.* **Anual.**
- Comprobación de conexiones en el interior del soporte (fusibles, etc.). *Operación visual.* **Anual.**
- Comprobación de puesta a tierra y medición de resistencia óhmica. *Primero se observa visualmente que no hay conductor de tierra suelto de la pica y después se mide la resistencia óhmica con un polímetro.* **Anual.**

Luminarias:

- Comprobación de integridad de la misma. *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 2 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 4 luminarias por cada tramo de 1 Km. Mensual.*
- 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 cada 1 Km. **Semestral.**
- Sustitución de lámparas: Al final de la vida útil (aproximadamente cada 3-4 años) Ver Punto 6.7 de estas Recomendaciones.

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.*

a) 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.*

b) Arrancador:

- Medir picos de tensión de arranque. *Solo en caso de que la lámpara no arranque con una sonda de alta tensión. Ocasional.*

c) Condensador:

- Medir el factor de potencia en funcionamiento. *Operación ya realizada en el conjunto del equipo eléctrico. Mensual.*

d) 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 regulación de nivel y ahorro de energía:

Como hay varios sistemas, se particularizará para cada uno de ellos, pero las operaciones básicas son:

- Comprobación de que se cumplen los ahorros previstos. Operación llevada a cabo mediante lecturas de contador. Mensual.
- Comprobación de cuánto se reduce el nivel en el régimen reducido respecto al régimen máximo. Operación llevada a cabo mediante lecturas de iluminancia en ciertos puntos concretos, ya descrita para las fuentes de luz. Mensual.
- Medición del factor de potencia. Operación ya realizada, pero ahora en los dos regímenes, máximo y reducido. Mensual.
- Medición de los valores eléctricos de las fuentes de luz, tensión, intensidad, etc. Sobre todo a qué tensión de lámpara se produce el arranque y cómo se comportan los valores medidos con polímetros. Mensual.

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.

Así mismo serán objeto de inspecciones periódicas, cada 5 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 a la acción o acciones de reparación cuando las incidencias o averías ya se han producido en cualquiera de los componentes de la instalación, dejándolo 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 preveer, 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; 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:

1. INCIDENCIA (Fecha, tipo, quien la comunica, etc.).
2. ORDEN DE REPARACIÓN (Referencia del parte, quien la emite, fecha de emisión, etc.)
3. CIERRE DE INCIDENCIA (Fecha, quien la cierra, coste, etc.).

Así mismo, 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 períodos de funcionamiento y el tipo de régimen establecido y por último la previsión de eventos ocasionales. 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 que serán función de las características de la carretera o punto singular que se pretende iluminar, tales como densidad de tráfico, accidentalidad, tráfico, etc. En el capítulo 2 de estas Recomendaciones se establecen cómo deben ser esos niveles, estableciéndose cómo resolver los problemas de coincidencia de vías de circulación de diferentes características.

Así mismo se debe determinar el nivel de iluminación del denominado régimen reducido, en el que se deben conservar las uniformidades de iluminación.

Estos niveles de iluminación ya han quedado fijados en el proyecto de la instalación pero 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 se deberá analizar cuál debe ser el período durante el cual debe estar funcionando la instalación y en qué tipo de régimen, es decir, régimen máximo o régimen reducido.

En principio, las instalaciones de alumbrado a cielo abierto deben funcionar durante el período del día en el que hay ausencia de luz natural, o de existir, ésta es insuficiente.

Por ejemplo, en verano de 21.00 h a 7.00 h, y en invierno de 19.00 h a 8.00 h.

El régimen reducido deberá aplicarse normalmente desde las 23.00 h hasta las 5.00 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 y temporales. Por ejemplo:

- En determinados periodos, en tramos urbanos congestionados (episodios de vialidad invernal, lluvias intensas, 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 las carreteras, tales como partidos de futbol, etc.).
- Cuando se acometen trabajos para realizar obras o limitación de la circulación por dificultades debidas a obras u otras circunstancias.

6.8.4 Análisis de costes de explotación

Entre las tareas de explotación debe llevarse a cabo un 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 eléctrico:

- Número de horas de encendido de la instalación:
 - Régimen máximo.
 - Régimen reducido.
- Potencia total instalada, 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 la instalación.
- Porcentaje de sustituciones de lámparas anuales calculadas en función de la vida útil y de la vida media.
- Coste de una fuente de luz.
- Coste de mano de obra de reposición de una fuente de luz.
- Coste anual de 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 de un equipo eléctrico auxiliar.
- Coste de mano de obra de reposición de un equipo eléctrico auxiliar.
- Coste anual de 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.

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 comprobaciones de los parámetros generales de la instalación) y la importancia que tiene analizar los costes de explotación de forma periódica.

Pero en algunas instalaciones, para su correcto funcionamiento, ya no es suficiente con realizar su mantenimiento, sino que es necesario llevar a cabo actuaciones de rehabilitación y mejora. Puede ser debido a las tres causas siguientes: que pueden darse aisladas o bien de forma simultánea, y que son las siguientes:

1. Incumplimiento de parámetros exigidos por la normativa.
2. Desviación de los costes de explotación sobre los previstos.
3. Actuaciones en la instalación o empleo de elementos debidos a avances tecnológicos que implican una disminución de los costes de explotación.

Estas causas pueden darse de forma aislada o simultáneamente. En este capítulo se analizará cuándo se considera justificado mejorar y rehabilitar una instalación existente, teniendo en cuenta que nos estamos refiriendo 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 (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 etc. Pero en todos los casos tienen un coste económico superior al mantenimiento y su realización debe estar justificada económicamente.

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 (obligatorias o no) y por el análisis de los costes de explotación.

7.2.1 Revisiones periódicas. Incumplimiento de parámetros

No entraremos en este apartado a evaluar las inspecciones de determinados elementos cuyos fallos entrarían dentro de lo que hemos 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 entraremos en la evaluación de ciertos parámetros generales que la instalación debe cumplir obligatoriamente porque vienen fijados por la normativa de aplicación.

Estos parámetros son:

1. Para el alumbrado vial, se cumplirán los requisitos mínimos de eficiencia energética establecidos en la ITC-EA 01 (Artículo 4 del Reglamento de Eficiencia Energética), ya explicados en el capítulo 4 de estas Recomendaciones.
2. En donde se requiera, dispondrán de un sistema de accionamiento y regulación del nivel luminoso, tal y como se define en la ITC-EA 04 (Artículo 4 del Reglamento de Eficiencia Energética), y que es obligatorio según estas Recomendaciones.
3. Con el fin de limitar el resplandor luminoso nocturno y reducir la luz intrusa o molesta, las instalaciones de alumbrado exterior se ajustarán, particularmente, a los requisitos establecidos en la ITC-EA 03 (Artículo 6 del Reglamento de Eficiencia Energética), los cuales se exponen en el capítulo 8 de estas Recomendaciones.

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 los parámetros exigidos.

Conocidas las necesidades de mejora a realizar en la instalación, será imprescindible hacer un estudio muy pormenorizado de las posibles soluciones a adoptar para corregir los defectos de la instalación, determinando para cada una de ellas su coste.

7.2.2 Análisis de los costes de explotación

Como ya se ha indicado en el capítulo anterior, es necesario realizar un análisis periódico de los costes de explotación. Normalmente, se debe hacer un análisis global de todos los costes con una periodicidad anual.

En general, estos costes están compuestos por cuatro conceptos:

- 1º) Costes de consumo energético.
- 2º) Costes del mantenimiento casual o extraordinario.
- 3º) Coste de las operaciones de mantenimiento preventivo.
- 4º) 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, el empleo de reguladores de flujo o la sustitución de luminarias por otras más eficientes, etc.).

En resumen, al igual que en el apartado anterior se trataría de realizar un estudio muy pormenorizado de las posibles soluciones a adoptar para corregir las desviaciones de coste o bien para conseguir las posibles disminuciones del mismo, determinando para cada una de ellas el importe de la inversión necesaria.

7.3 Actuaciones de rehabilitación y mejora

El objeto de este apartado es enumerar 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 obligatorios

7.3.1.1 Eficiencia energética

Con respecto a la eficiencia energética de una instalación, hay dos pasos a seguir:

- Uno previo es la evaluación de la adecuación del nivel de iluminación a las necesidades de la carretera o vía iluminada.
- El segundo consiste en que una vez fijados los niveles y uniformidades que se deben conseguir, se deben analizar:
 - El encendido y apagado de la instalación, es decir del control.
 - La potencia total instalada.
 - El número de puntos de luz.
 - Las posibilidades de regulación del flujo luminoso y del consumo de cada fuente de luz.

En el primer paso se analizará el nivel de iluminación que corresponda a la carretera de acuerdo con lo previsto en estas Recomendaciones, independientemente del que tenga en el momento de su análisis; pueden darse dos casos, aunque el segundo es más improbable:

- Si el nivel de iluminación debe ser inferior al existente, se estudiará todo el abanico de posibilidades de rehabilitación, incluyendo la disminución de puntos de luz, si ésta es interesante, o la disminución de la potencia eléctrica de cada punto de luz.
- Si el nivel de iluminación debe ser superior al existente, caso muy improbable, se analizarán también las soluciones más eficientes a adoptar, que normalmente consistirán en aumentar la potencia de cada punto de luz.

En el segundo paso, una vez fijados los niveles de iluminación y si deben ser iguales a los ya existentes, bastará con evaluar adecuadamente las características propias de cada elemento componente de la instalación para poder plantear propuestas de rehabilitación justificadas y adecuadas.

Así, por ejemplo en los sistemas de encendido y apagado, se utilizará preferentemente el reloj astronómico, sustituyéndose otros elementos obsoletos para esta función, como las células fotoeléctricas.

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 jugando con los siguientes parámetros:

- Altura de montaje del punto de luz.
- Potencia de la fuente de luz de cada punto.
- Separación entre puntos de luz.

Como ejemplo, si una instalación existente tiene puntos de luz a 12 m de altura con lámpara de sodio alta presión de 250 W a una interdistancia de 45 m, habrá que comparar con propuestas tales como:

- 1) Puntos de luz a 10 m de altura con lámparas de sodio alta presión de 150 W a una interdistancia de 40 m.
- 2) Puntos de luz a 9 m de altura con fuente de luz de LED de 115 W a una interdistancia de 45 m.

u otras similares, debiendo valorarse no sólo la calidad de los resultados obtenidos mediante cálculo luminotécnico, sino también hacer un análisis de costes como se explica en el siguiente apartado.

En cuanto al empleo de fuentes de luz regulables en consumo y flujo luminoso, habrá que valorar la flexibilidad de una fuente de luz como los LED, que permite la variación de su flujo luminoso entre límites más amplios (desde un 20% a un 100%) que la lámpara de sodio alta presión, que no se puede regular por debajo de un 60% de su potencia nominal, dejando un pequeño margen de ahorro.

7.3.1.2 Contaminación lumínica

Con respecto a la contaminación lumínica y la disminución de la luz intrusa, pueden tomarse las siguientes medidas:

- Se reemplazarán las luminarias cuyo flujo hacia el hemisferio superior supere los valores establecidos en estas Recomendaciones.
- Se tratará de recortar el haz luminoso que pueda incidir sobre edificios colindantes a base de parálumenes exteriores si las luminarias están aún en catálogo.
- En la iluminación de grandes enlaces en que se hayan empleado proyectores de tipo simétrico, éstos deberán ser sustituidos por proyectores de tipo asimétrico con el vidrio de cierre del proyector paralelo al suelo, sin inclinación.
- Se reducirán los niveles de iluminación si están por encima de lo recomendado.

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 bien 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.

Actuaciones debidas a la desviación de los costes de explotación sobre los previstos:

- Sustitución de lámparas.
- Sustitución de elementos auxiliares.
- Instalación de reguladores de flujo.

Actuaciones que disminuyen los costes de explotación:

- 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.
- Instalación de un sistema de telegestión.

7.4 Análisis Económico de las actuaciones de rehabilitación y mejora

Se realizará un estudio económico comparativo de las alternativas contempladas para rehabilitación y mejora de la instalación existente que permita estimar la rentabilidad de cada una de ellas y facilite la toma de decisiones. Dicho estudio debe realizarse de acuerdo con lo establecido en el capítulo 4.

El estudio económico determinará el VAN y 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

Uno de los temas que más interés ha despertado en el ámbito de las instalaciones de iluminación en los últimos años es la incidencia que éstas pueden tener sobre el medio ambiente y las personas afectadas, tanto de forma habitual como ocasionalmente.

Dicha incidencia es debida a los aspectos siguientes:

- La contaminación luminosa propiamente dicha.
- La producción de residuos contaminantes o tóxicos y la gestión de dichos residuos.
- El diseño con condicionantes ecológicos de los elementos componentes de la instalación.
- La exigencia de reducción del CO₂ generado, aplicando la mayor eficiencia energética a los productos que la utilizan en su funcionamiento.
- La eficiencia energética.

De cada uno de estos aspectos existen Directivas Europeas y legislación nacional 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 elementos o como simples usuarios.

Dado el objeto y ámbito de estas Recomendaciones, en ellas solo se tratarán los aspectos más directamente afectados por las actuaciones contempladas en las mismas. Del resto, en general solo habrá que exigir su cumplimiento a las empresas y personas que intervengan.

8.1. Contaminación luminosa

Tal y como ya se ha recogido en algunos de los apartados de este documento, el Reglamento de Eficiencia Energética para Instalaciones de Alumbrado Exterior (REEIAE) expone cuáles son los aspectos que deben cumplirse para preservar al medio ambiente y a los ciudadanos de la afeción derivada de las instalaciones de iluminación, con el objeto de reducir las emisiones hacia el cielo tanto directas, como las reflejadas por las superficies iluminadas.

Dichos aspectos son:

- El control del resplandor luminoso nocturno.
- La limitación de la luz intrusa o molesta sobre los ciudadanos.

8.1.1 Control del resplandor luminoso nocturno

En la instrucción ITC-EA 03 del REEIAE se establece una clasificación de zonas de protección contra la contaminación luminosa producida por el resplandor luminoso nocturno, creado tanto por las instalaciones de alumbrado directamente, como por la reflexión de la iluminación sobre las superficies iluminadas. La clasificación se recoge en la Tabla 8.1.

CLASIFICACIÓN DE ZONAS	DESCRIPCIÓN
E1	ÁREAS CON ENTORNOS O PAISAJES OSCUROS: Observatorios astronómicos de categoría internacional, parques nacionales, espacios de interés natural, áreas de protección especial (red natura, zonas de protección de aves, etc.), donde las carreteras están sin iluminar.
E2	ÁREAS DE BRILLO O LUMINOSIDAD BAJA: Zonas periurbanas o extrarradios de las ciudades, suelos no urbanizables, áreas rurales y sectores generalmente situados fuera de las áreas residenciales urbanas o industriales, donde las carreteras están iluminadas.
E3	ÁREAS DE BRILLO O LUMINOSIDAD MEDIA: Zonas urbanas residenciales donde las calzadas (vías de tráfico rodado y aceras) están iluminadas.
E4	ÁREAS DE BRILLO O LUMINOSIDAD ALTA: Centros urbanos, zonas residenciales, sectores comerciales y de ocio, con elevada actividad durante la franja horaria nocturna.

Tabla 8.1. Clasificación de zonas de protección contra la contaminación luminosa.

Las clases de zonas denominadas en esta Tabla 8.1. como E1 y E4 generalmente no se presentan en la Red de Carreteras del Estado, ya que las carreteras de la Red que atraviesan espacios protegidos o singulares no deben ser iluminadas y tampoco suelen penetrar en los centros de las ciudades.

Medidas a adoptar para evitar el resplandor luminoso nocturno producido por las instalaciones de alumbrado de carreteras

El resplandor luminoso nocturno producido por las instalaciones de alumbrado exterior depende del flujo hemisférico superior emitido por las luminarias y además es directamente proporcional a la superficie iluminada y a su nivel de iluminación.

Por ello, con la finalidad de limitar las emisiones luminosas hacia el cielo en las instalaciones de alumbrado exterior y dirigir la mayor cantidad posible de luz a la superficie de las carreteras, si se toma la clasificación general de Zonas del REEIAE y se restringe a aquellas que constituyen el entorno habitual de las instalaciones de la Red de Carreteras del Estado, se obtiene la siguiente Tabla 8.2.

CLASES DE ZONAS	DESCRIPCIÓN
E2	ÁREAS DE BRILLO O LUMINOSIDAD BAJA: Zonas periurbanas o extrarradios de ciudades, suelos no urbanizables, áreas rurales y sectores generalmente situados fuera de las áreas residenciales urbanas o industriales, donde las carreteras están iluminadas.
E3	ÁREAS DE BRILLO O LUMINOSIDAD MEDIA: Zonas urbanas residenciales, donde las calzadas (vías de tráfico rodado y aceras) están iluminadas.

Tabla 8.2. – Clasificación de zonas de protección en la Red de Carreteras del Estado contra la contaminación luminosa.

Una vez establecidas las dos Zonas a considerar, en la Tabla 8.3 se recoge cuál debe ser el porcentaje de flujo luminoso máximo emitido hacia el hemisferio superior de las luminarias de una instalación en cada una de las dos zonas antes descritas.

CLASES DE ZONAS	FLUJO HEMISFÉRICO SUPERIOR INSTALADO (FHS_{INST})
E2	$\leq 5\%$
E3	$\leq 15\%$

Tabla 8.3. Valores límite del flujo hemisférico superior instalado.

Además, las instalaciones de las luminarias deberán cumplir los requisitos siguientes:

- Se iluminará sólo la superficie que se quiere dotar de iluminación.
- Los niveles de iluminación no superarán los valores máximos establecidos en la instrucción ITC-EA- 04 del Reglamento de Eficiencia Energética (REEIAE).
- El factor de utilización y el factor de mantenimiento de la instalación satisfarán los valores mínimos establecidos en la ITC-EA-02 del REEIAE.

8.1.2 Limitación de la luz intrusa o molesta sobre los residentes

Para minimizar los efectos de la luz intrusa o molesta procedente de las instalaciones de alumbrado exterior sobre los ciudadanos, el REEIA, en la tabla 3 de la ITC-EA-03, establece que las instalaciones de alumbrado cumplan unos valores máximos de un conjunto de parámetros luminotécnicos; los que son de aplicación a la Red de Carreteras del Estado son los siguientes:

- Iluminancia vertical (E_v) en ventanas.
- Luminancia de las luminarias en base a la intensidad luminosa emitida por cada luminaria en la dirección de la molestia (L).
- Incremento de umbral de contraste (TI) que deberá cumplir con lo recogido en la instrucción ITC-EA 02 del citado Reglamento.

Parámetros luminotécnicos	Valores máximos			
	Observatorios astronómicos y parques naturales E1	Zonas periurbanas y áreas rurales E2	Zonas urbanas residenciales E3	Centros urbanos y áreas comerciales E4
Iluminación vertical (E_v)	2 lux	5 lux	10 lux	25 lux
Intensidad luminosa emitida por las luminarias (I)	2.500 cd	7.500 cd	10.000 cd	25.000 cd
Luminancia media de las fachadas (L_m)	5 cd/m ²	5 cd/m ²	10 cd/m ²	25 cd/m ²

Parámetros luminotécnicos	Valores máximos			
	Observatorios astronómicos y parques naturales E1	Zonas periurbanas y áreas rurales E2	Zonas urbanas residenciales E3	Centros urbanos y áreas comerciales E4
Luminancia máxima de las fachadas ($L_{m\acute{a}x}$)	10 cd/m ²	10 cd/m ²	60 cd/m ²	150 cd/m ²
Luminancia máxima de señales y anuncios luminosos ($L_{m\acute{a}x}$)	50 cd/m ²	400 cd/m ²	800 cd/m ²	1.000 cd/m ²
Incremento de umbral de contraste (TI)	Clase de alumbrado			
	Sin iluminación	ME 5	ME3/ME4	ME1/ME2
	TI = 15% Para adaptación a $L = 0,1$ cd/m ²	TI = 15% Para adaptación a $L = 1$ cd/m ²	TI = 15% Para adaptación a $L = 2$ cd/m ²	TI = 15% Para adaptación a $L = 5$ cd/m ²

Tabla 8.4. Limitaciones de la luz molesta procedente de instalaciones de alumbrado exterior.

Comparando las tablas aquí recogidas con las que forman parte del reglamento de eficiencia energética (REEIAE) puede apreciarse que las diferencias se deben a que la Red de Carreteras del Estado tiene más restringidos sus objetivos generales que aquellos que figuran en el Reglamento, tanto en cuanto a zonas clasificadas, como en cuanto a parámetros de iluminación que se deben respetar.

8.2 Contaminación medioambiental

Una vez expuestos los requisitos que deben satisfacer las instalaciones de alumbrado a cielo abierto con respecto a la contaminación luminosa producida por la emisión de luz de dichas instalaciones, a continuación se analizan todos aquellos aspectos que están relacionados con las consecuencias que para el medio ambiente tienen los componentes de la instalación, propiamente dichos (luminarias, fuentes de luz, equipos eléctricos, soportes, etc.). A este respecto, se analizan los aspectos relacionados con:

- 1) Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.
- 2) Eficiencia del uso final de la energía.
- 3) Requisitos de diseño ecológico aplicables a los productos que utilizan energía.
- 4) Eficiencia energética de los balastos.

Todos y cada uno de estos aspectos están legislados por Directivas Europeas que han sido transpuestas 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 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 tiene como objetivo obtener el mejor comportamiento medioambiental posible de los productos, manteniendo sus cualidades funcionales.

A este respecto deberá aplicarse la DIRECTIVA 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 exterior. 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 (en lo sucesivo PUE) representan una gran proporción del consumo de recursos naturales y de energía de la Comunidad y tiene otros impactos importantes en el medio ambiente.

Y en su Artículo 6, define de forma clara y precisa que los productos a instalar deberán poseer el Marcado CE con su Declaración de Conformidad, porque de esta manera se garantiza que los mismos cumplen con los requisitos establecidos en la 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:

- a) Peso y volumen del producto.
- b) Utilización de materiales procedentes de actividades de reciclado.
- c) Consumo de energía y otros recursos a lo largo del ciclo de vida.
- d) Utilización de sustancias clasificadas como peligrosas para la salud o el medio ambiente.
- e) Cantidad y naturaleza de consumibles necesarios para mantenimiento y utilización adecuados.
- f) Facilidad de reutilización y reciclado.
- g) Incorporación de componentes usados.
- h) Extensión de la vida útil.
- i) Cantidad de residuos generados.
- j) Emisiones a la atmósfera.
- k) Emisiones al agua.
- l) Emisiones al suelo.

Por último, también hay que mencionar la 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, que regula las condiciones que tienen que

cumplir éstos, que sirven para estabilizar la corriente de las fuentes de luz de descarga en gases, exigiendo que deben tener el marcado CE.

En base a estas consideraciones, hay que destacar con vista a la aplicación racional y eficiente las ventajas de las nuevas tecnologías de iluminación en su utilización en las instalaciones de alumbrado de carreteras, por las ventajas que introducen las tecnologías de iluminación a base de LED, 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), durante toda su larga 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 a hacer desaparecer, mientras las tradicionales sí.

8.2.2 Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE)

Este aspecto está regulado por la DIRECTIVA 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, la 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 específicos 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 la Directiva se recogen las categorías de aparatos eléctricos y electrónicos incluidos en el ámbito de aplicación de la presente Directiva, y en la categoría 5, aparecen 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 recoge 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.

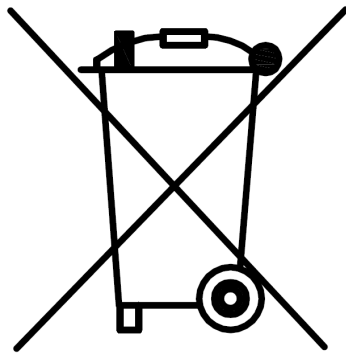


Figura 8.1. Símbolo para marcar aparatos eléctricos y electrónicos.

Además existe también la DIRECTIVA 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, hay que asegurarse que se cumplen todas exigencias medioambientales durante todo el periodo de vida de una instalación de iluminación de carreteras.

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 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.

Y en el Artículo 5 de la 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, la Directiva establece que, sin perjuicio de lo regulado en la legislación nacional y comunitaria sobre contratación pública, los Estados miembros se asegurarán 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:

- a) 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).

- b) Requisitos para la compra de equipos 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.
- c) 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.
- d) Requisitos para la sustitución o retroadaptación de los equipos existentes por los equipos mencionados en las letras b) y c).
- e) 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 carreteras, que es el objeto de estas Recomendaciones.

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, sobre eficiencia energética de balastos.
- 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.

CAPÍTULO 9

ILUMINACIÓN DE PUNTOS SINGULARES

A lo largo de las autovías y carreteras existen tramos o zonas con características distintas de las generales de un itinerario que requieren un tratamiento diferenciado de su iluminación, para que los usuarios puedan circular en las mismas condiciones de seguridad y comodidad que en el resto de su recorrido.

En estos puntos singulares se suelen dar tres factores diferentes con respecto a las condiciones generales de un itinerario:

- a) Los conductores tienen un incremento de las tareas mentales y visuales.
- b) El contorno de los objetos no se reconoce adecuadamente en muchas ocasiones.
- c) Generalmente no se dispone de buena iluminación con los faros del vehículo.

En un nudo viario, es particularmente importante la cantidad de luz que reciben las superficies verticales de los objetos, de forma que puedan distinguirse del fondo sobre el que son divisados.

El alumbrado de situaciones especiales o tramos singulares tiene como finalidad su legibilidad, es decir la lectura o comprensión de dichas zonas por parte de los usuarios de las mismas.

En consecuencia, su tratamiento debe realizarse de forma individualizada y después de un detallado reconocimiento in situ, siempre que sea posible.

Un cambio de tipo de fuente de luz a un color diferente del de los tramos viarios que en aquél concurren, ayuda a la guía visual.

Se recomienda que los soportes de igual altura instalados en un nudo viario sean del mismo modelo, o cuando menos, presenten la misma silueta.

9.1 Enlaces e intersecciones

En intersecciones, el nivel de iluminación será el establecido para puntos singulares. Por tanto, con el objeto de alcanzar dichos niveles, la situación de los puntos de luz debe analizarse detalladamente para conseguir que sea la idónea; a título de ejemplo, en las figuras 9.1., 9.2. y 9.3. se dan las disposiciones recomendadas en los casos más habituales.

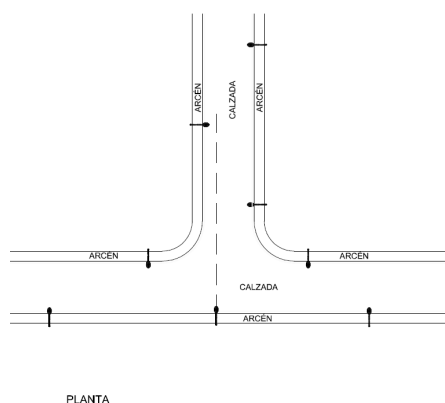


Figura 9.1. Intersección en «T»

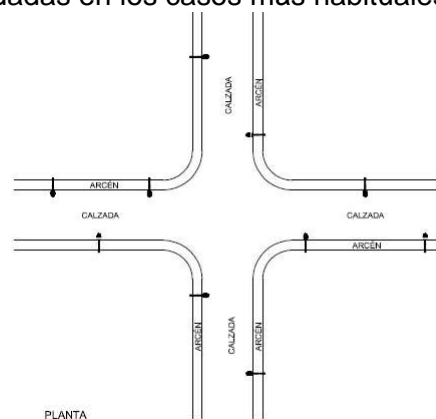


Figura 9.2. Intersección en cruz

En el área de la intersección, las luminarias deben estar ubicadas de forma que la luz se dirija a los vehículos y a las áreas adyacentes de la intersección. En estos casos, es particularmente importante la cantidad de luz que reciben las superficies verticales de los objetos, para que puedan ser diferenciados del fondo sobre el que son divisados.

No se instalarán báculos o columnas en isletas de pequeñas dimensiones.

Suele ser necesario reducir la separación entre las luminarias que enmarcan la intersección para obtener una elevada iluminancia vertical de los vehículos que circulan por el tramo iluminado.

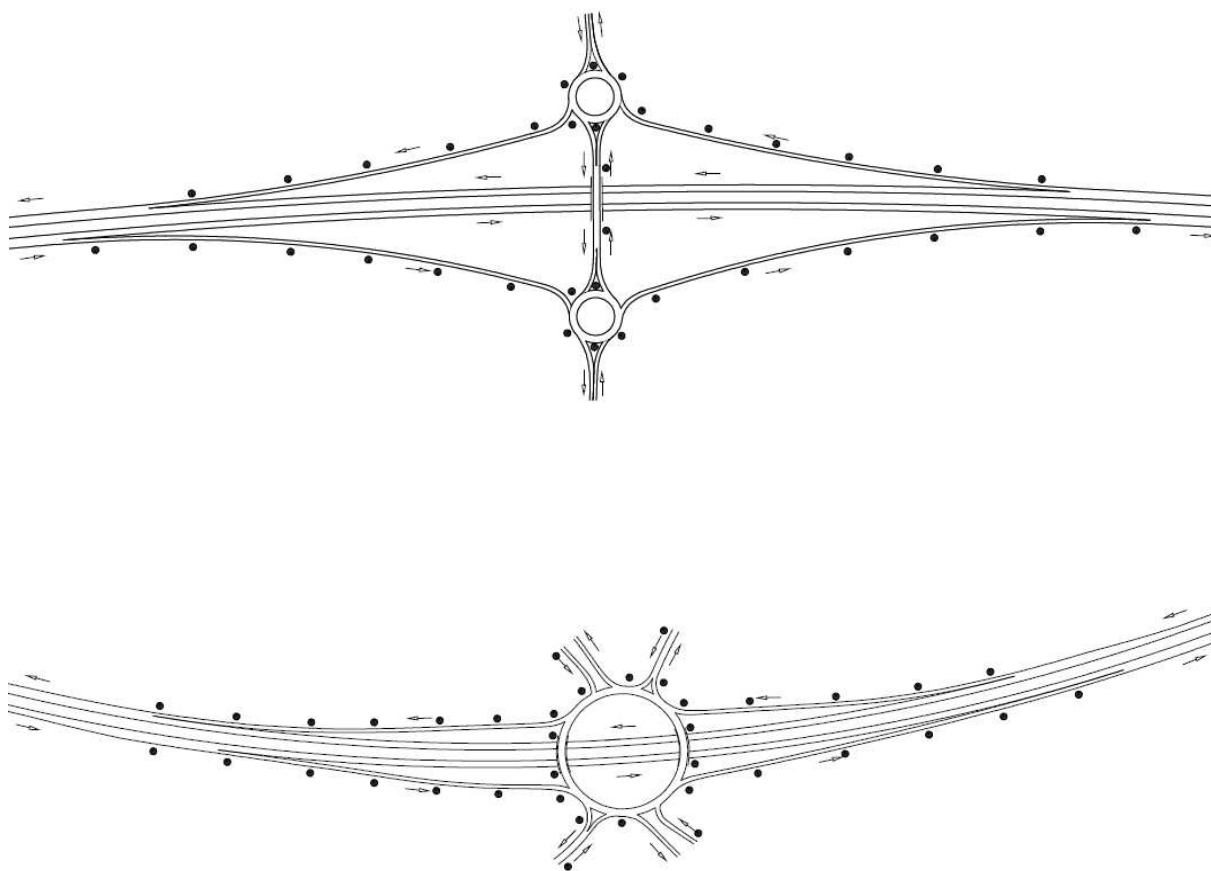


Figura 9.3. Enlaces (1)

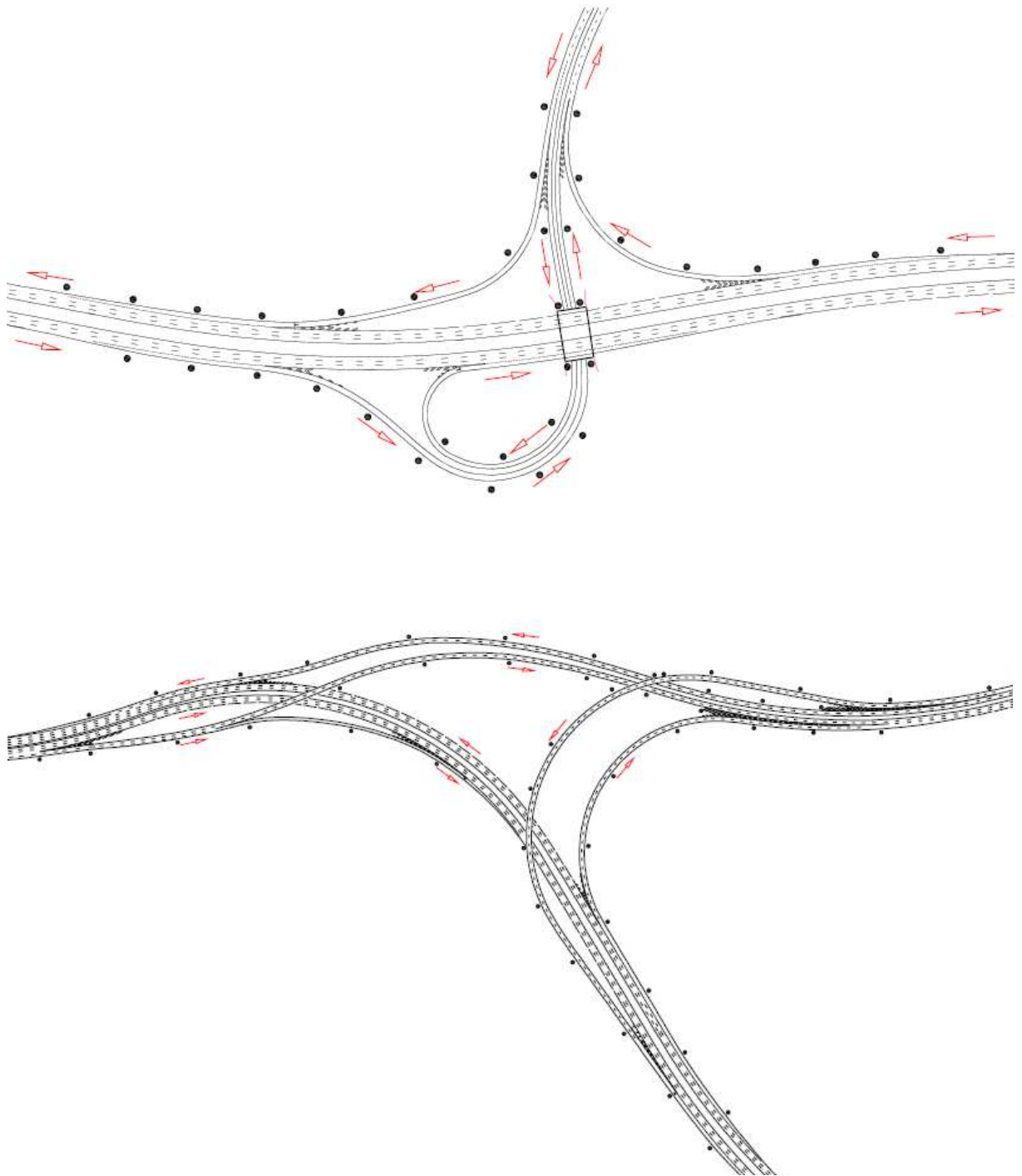


Figura 9.4. Enlaces (2)

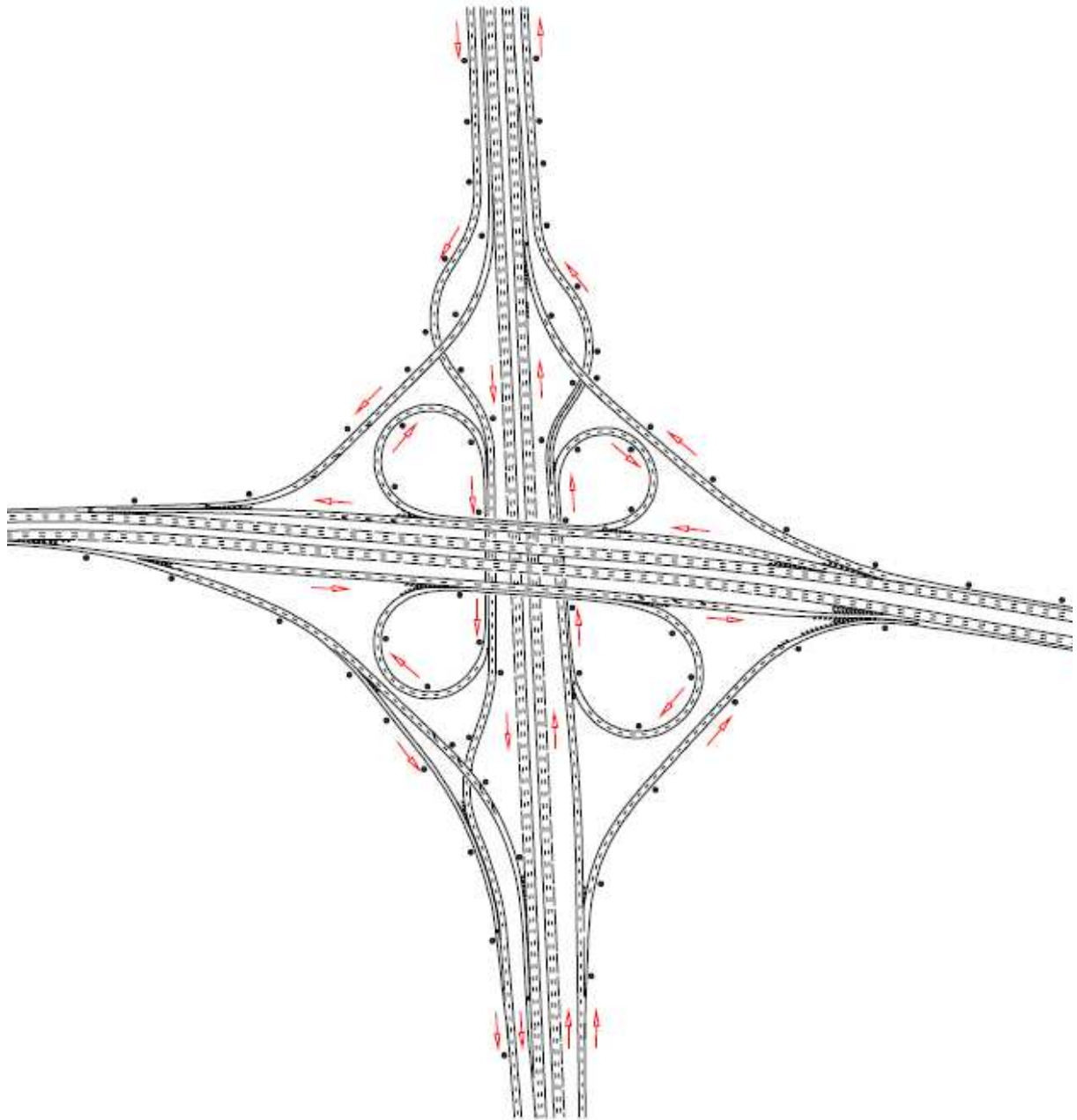


Figura 9.5. Enlaces (3)

En las figuras 9.3., 9.4. y 9.5. se muestran situaciones mucho más complejas. En estos casos, la guía visual desempeña un papel preponderante. Los problemas de alumbrado y las técnicas a aplicar son semejantes a las de pequeñas intersecciones, pero con múltiples implantaciones. Lógicamente, el tamaño de la instalación obliga a utilizar más luminarias y/o potencias de lámparas más elevadas.

El alumbrado de los ramales de los enlaces puede llevarse a cabo de forma convencional, mediante soportes de altura normal (iguales o inferiores a 16 m), o implantando soportes de gran altura (20-40 m).

El alumbrado del conjunto de un enlace deberá, en lo posible, proporcionar las siguientes prestaciones:

- Asegurar un buen guiado visual en las peores condiciones (mal tiempo y tráfico intenso), desde que el usuario se aproxima a 300 ó 200 m de distancia del cruce,

- según proceda, y cuando penetra en el mismo.
- Evitar la confusión que se pudiera producir por la implantación de numerosos puntos de luz.
- No implantar soportes en puntos peligrosos ni en lugares donde su mantenimiento requiera afectar a la circulación de los vehículos.
- Ejecutar la instalación en condiciones satisfactorias desde el punto de vista estético, en relación con la silueta, materiales utilizados y armonía con el entorno.
- Las luminarias de una calzada de nivel inferior no deben deslumbrar a los usuarios de una calzada de nivel superior, y viceversa.

INSTALACIÓN CON SOPORTES DE MENOS DE 16 M DE ALTURA

Esta solución es la preferible cuando la implantación de los puntos de luz no da lugar a confusión u obstrucción del campo visual de los conductores.

La instalación deberá realizarse con luminarias cuya distribución luminosa sea adecuada (poco dispersa), de forma que los puntos de luz de la calzada de nivel inferior no deslumbren a los usuarios de la calzada de nivel superior y viceversa.

Localmente, en la proximidad de calzadas elevadas, la instalación de soportes de poca altura (inferior a 7 m) en el nivel inferior colaborará a disminuir e incluso evitar cualquier deslumbramiento.

En ciertos casos, es posible que la solución sea que las mismas luminarias iluminen las calzadas situadas a diferentes niveles.

Los tramos a nivel inferior se iluminarán como pasos inferiores. Los pasos superiores se iluminarán bien como puentes cortos o como calzadas elevadas, según sea su configuración.

INSTALACIÓN CON SOPORTES DE GRAN ALTURA

Cuando la existencia de numerosos soportes puede entorpecer el guiado óptico, resulta conveniente realizar el alumbrado del cruce a distinto nivel mediante puntos de luz de mayor potencia implantados en soportes de gran altura, de acuerdo con lo establecido en el apartado 3.4 de estas Recomendaciones y con las condiciones siguientes:

- La relación interdistancia/altura del punto de luz debe ser elegida convenientemente en función de las características geométricas de la instalación y las propiedades fotométricas de las luminarias.
- Deberá controlarse cuidadosamente el deslumbramiento, reduciendo en particular las intensidades luminosas excesivas dirigidas hacia el sentido de circulación del tráfico motorizado.
- Se adoptarán las medidas necesarias para asegurar un buen guiado visual.
- En las regiones con elevada frecuencia de nieblas, debe restringirse la instalación de alumbrado con soportes de gran altura.
- Fundamentalmente, el alumbrado con soportes de gran altura se utilizará cuando la superficie total de las vías de tráfico no sea demasiado baja en relación con la superficie total de la obra a iluminar.

Intersecciones en «T» de dos calzadas iluminadas parcialmente canalizadas

Para este tipo de intersecciones (Figura 9.6.), la implantación de puntos de luz recomendada se debe hacer de forma que los usuarios que llegan de la calzada que se enlaza, vean delante de ellos un fondo iluminado.

Esta solución no es la única, también se puede, en función de las condiciones locales, reducir el número de puntos de luz, utilizando otros de mayor potencia y altura de implantación (Figura 9.7.).

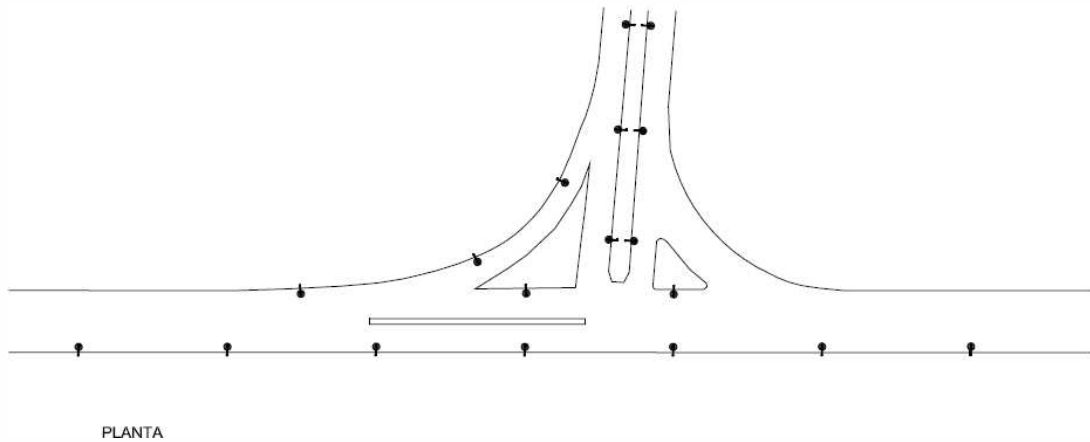


Figura 9.6. Intersección en «T»: ejemplo de implantación. Las zonas de doble rayado simbolizan el efecto del guiado visual que debe procurar el alumbrado. Puede ser útil dotar a los puntos de luz señalados con + de una potencia superior.

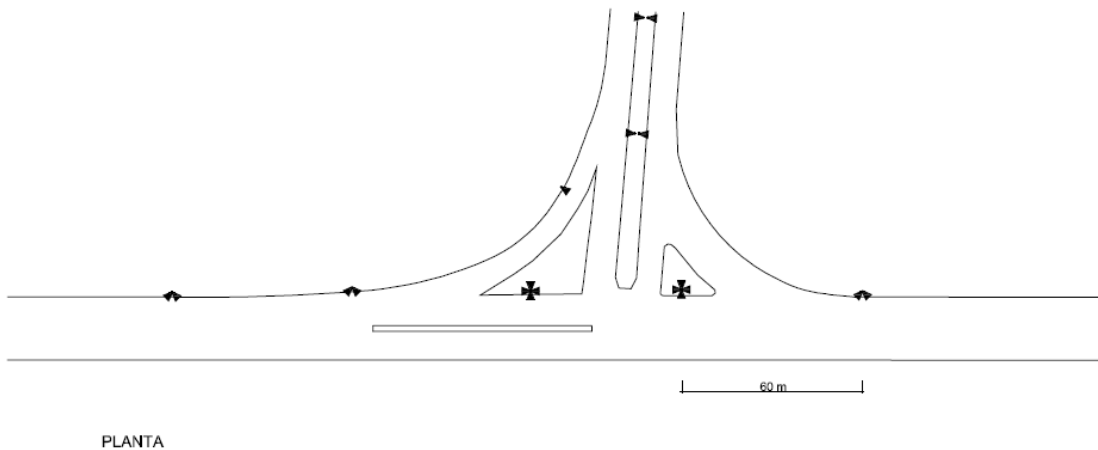


Figura 9.7. Intersección en «T»: ejemplo de implantación con puntos de luz de mayor potencia y altura de soportes que el de la figura 9.4. Punto de luz de 18 m con 4 luminarias. Punto de luz de 18 m de altura con 2 luminarias. Punto de luz de 12 m con 1 luminaria. Punto de luz de 12 m de altura con 2 luminarias.

Intersecciones en «Y» o «T» de dos calzadas totalmente canalizadas

En la proximidad de este tipo de intersecciones, generalmente los dos sentidos de circulación de vehículos están separados por isletas direccionales de grandes dimensiones, a lo largo de las cuales la implantación de los puntos de luz debe ser unilateral (Figura 9.8.). También se pueden instalar puntos de luz más potentes y de mayor altura (Figura 9.9.).

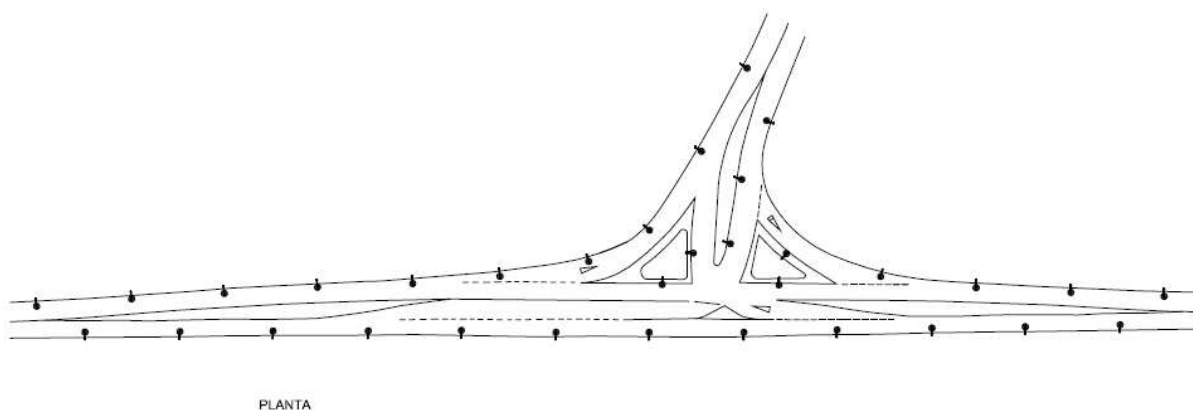


Figura 9.8. Intersección «Y» o «T»: ejemplo de implantación unilateral sobre dos calzadas importantes totalmente canalizadas mediante isletas.

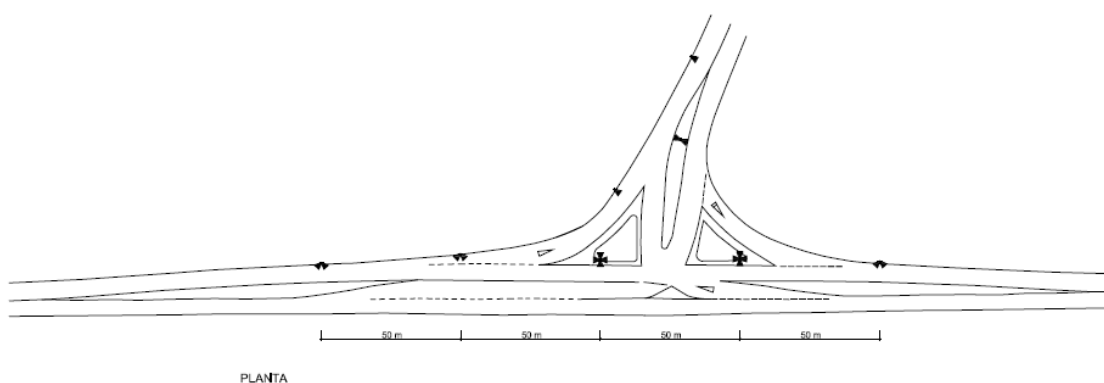


Figura 9.9. Intersección en «Y» o «T»: ejemplo de implantación unilateral con puntos de luz de mayor potencia y altura de soportes que el de la figura 9.6.

Intersecciones aisladas en zonas sin alumbrado

Al igual que se recomienda en el alumbrado de tramos aislados de itinerarios que carecen de iluminación, en las instalaciones aisladas en zonas sin alumbrado no es aconsejable que éstas tengan elevados niveles de iluminación, ya que éstos pueden dar lugar a problemas de adaptación visual a los usuarios, cuando una vez superada la intersección, vuelvan a disponer solamente de la luz de su vehículo. Se debe prestar especial atención al deslumbramiento que se pueda provocar.

En la mayor parte de los casos, en estas intersecciones la solución correcta de alumbrado se consigue mediante una implantación bilateral en la calzada principal y unilateral en la calzada de enlace.

La longitud de calzada dotada de alumbrado a cada lado de la intersección debe ser de 100 m como mínimo y de 200 m como máximo.

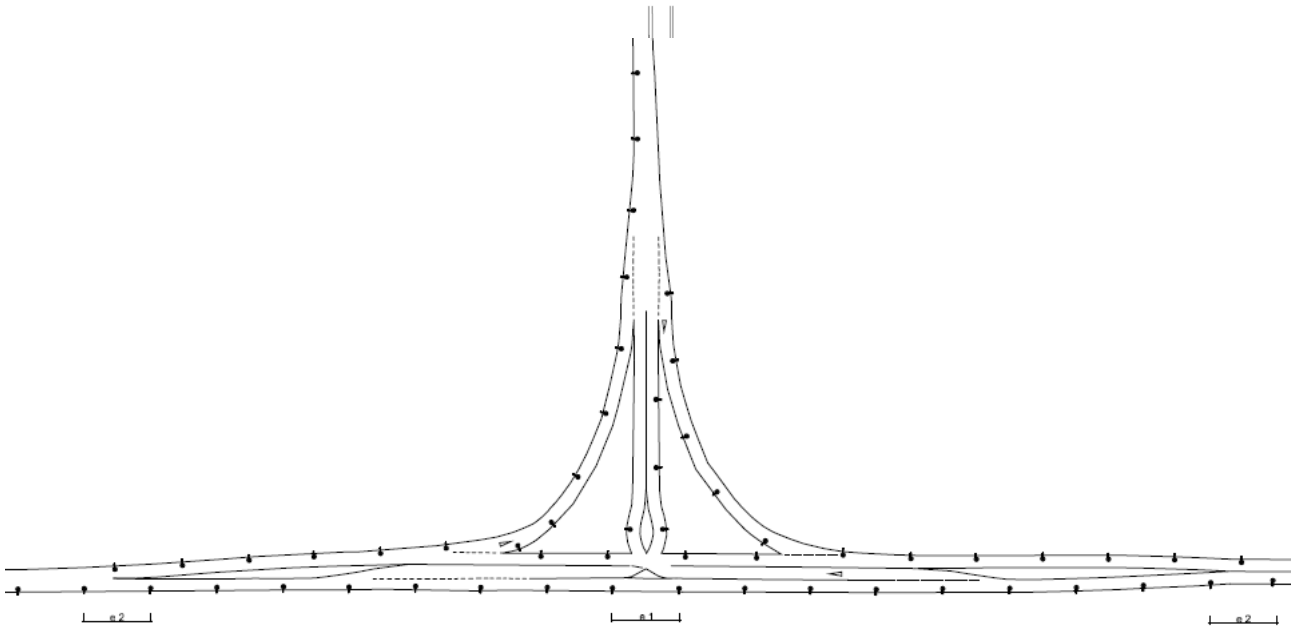


Figura 9.10. Intersección en «T» totalmente canalizada, aislada en zona sin alumbrado: ejemplo de implantación $e_1 < e_2$ en una zona de 100 m a 200 m.

9.2 Glorietas

En las glorietas, el nivel de iluminación será el establecido para puntos singulares en estas Recomendaciones.

La instalación de alumbrado debe indicar a los usuarios la presencia del obstáculo que constituye una glorieta con la antelación suficiente, la situación y forma de la glorieta y el emplazamiento de las salidas de las distintas vías de tráfico. Los bordes de la calzada deben ser visibles claramente.

La instalación de alumbrado proporcionará una clara percepción de los vehículos mediante iluminación directa, dado que la disposición de las vías de tráfico y la implantación de los puntos de luz generalmente no permiten una buena visión en silueta, como en el caso de las vías de tráfico normales.

Además de la iluminación de la glorieta, el alumbrado debe extenderse a las vías de acceso a la misma, en una longitud adecuada de al menos de 100 m, que permita a los conductores disponer del tiempo suficiente para identificar la glorieta y, en sentido contrario, facilitar a los conductores que se alejan de la misma acostumbrarse a la oscuridad.

El nivel de iluminación de las glorietas será el correspondiente a la clase CE1.

Si el diámetro de la zona central o isleta circular de la glorieta es pequeño, resulta suficiente implantar puntos de luz en la periferia.

Si el diámetro de la zona central o isleta circular de la glorieta es importante, resulta conveniente balizar todo el contorno de la zona central. Deberán adoptarse las precauciones necesarias con el fin de evitar el deslumbramiento. Además, si la isleta central tiene un diámetro mayor de 15 m y no está ocupada, se puede disponer en su centro una columna o báculo de brazos múltiples, cuya altura no sea inferior al 75% del radio del centro de la calzada anular si las luminarias no son desenfaladas, y al 50% si lo son.

Cuando la calzada circular que rodea la zona central o isleta de la glorieta es muy ancha, se hace necesario implantar también puntos de luz en la zona central.

Los puntos de luz situados a la entrada de cada una de las vías de tráfico que convergen en la glorieta permiten a los conductores de los vehículos situar dichas vías de tráfico a la salida. Es recomendable que todos los puntos de luz implantados en la glorieta tengan la misma altura e idéntica estética.

Si los báculos se sitúan en el borde exterior de la plataforma de la calzada anular con la luminaria orientada perpendicularmente a ésta, se recomienda que la altura de las luminarias sea igual a la que hay en los tramos que concurren en aquélla. El empleo de luminarias desenfiladas reduce el deslumbramiento.

En el caso de que la zona central o isleta de la glorieta no sea de gran diámetro, puede ser iluminada con uno o dos soportes de gran altura dotados de proyectores asimétricos o de luminarias tipo vial.

No se instalarán báculos o columnas en isletas de pequeñas dimensiones.

En las glorietas se emplearán luminarias tipo vial o luminarias asimétricas.

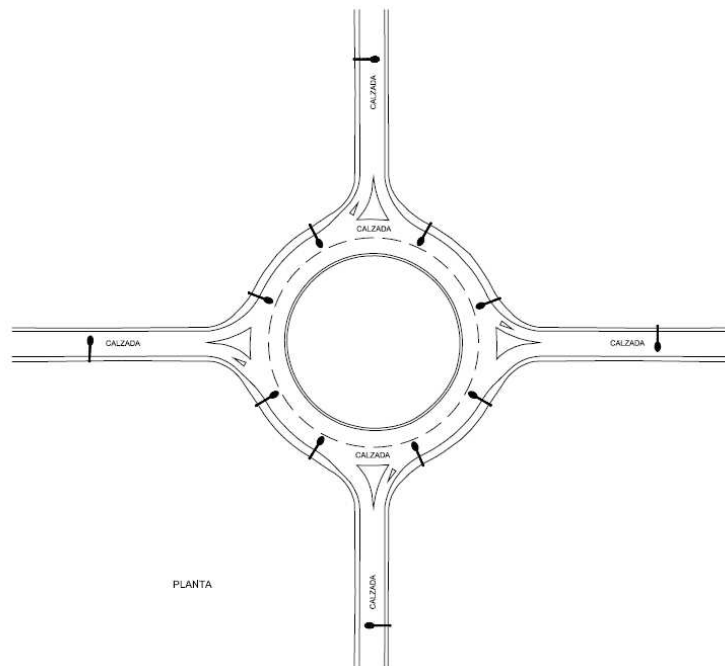


Figura 9.11. Glorieta: Implantación realizada con puntos de luz situados en la periferia.

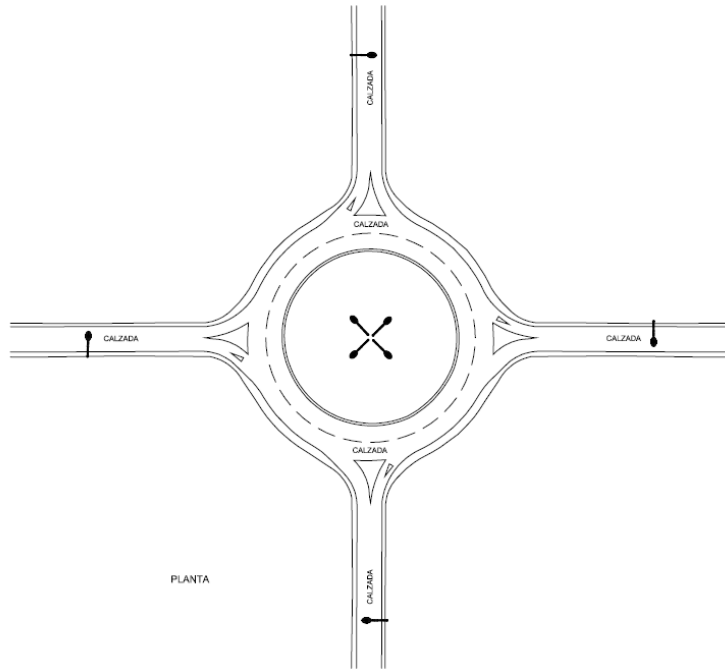


Figura 9.12. Glorieta: Implantación con soporte central.

La altura H de montaje de los puntos de luz deberá ser igual a la de los puntos de la vía principal que confluya en la glorieta a iluminar. En el caso de que en la zona central de la glorieta no se obtenga una iluminación mayor o igual a 1,5 veces la iluminación media de dicha calzada principal, se requerirá iluminación suplementaria.

Si la parte central de la glorieta tiene un diámetro menor de 18 m, se instalará en su centro un punto de luz especial en columna o báculo de brazo múltiple (Figura 9.13.). Si su diámetro es mayor de 18 m o tiene arbolado en el centro, se dispondrán puntos de luz en las prolongaciones del eje de cada carril (Figura 9.14.).

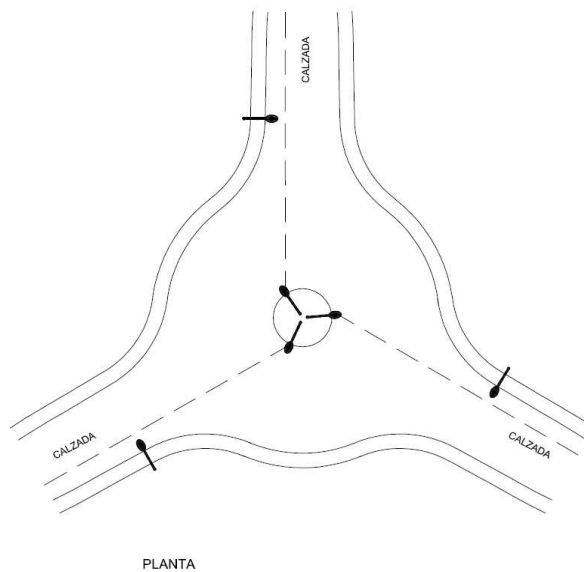


Figura 9.13. Implantación en glorieta de diámetro menor de 18 m.

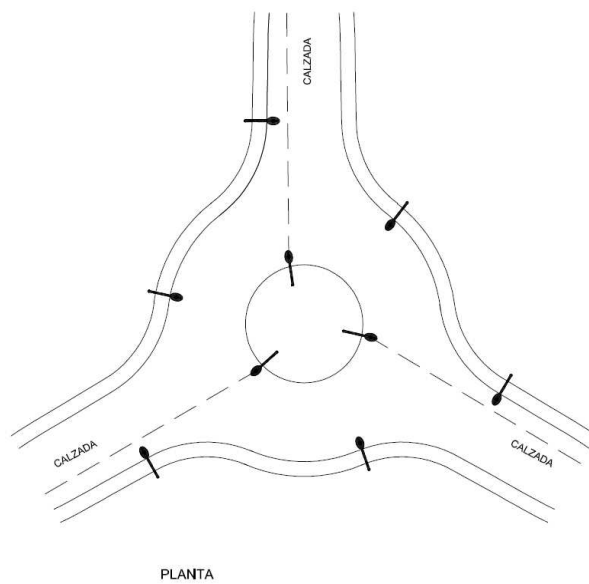


Figura 9.14. Implantación en glorieta de diámetro mayor de 18 m o con arbolado en el centro.

ALUMBRADO DE LAS ISLETAS DIRECCIONALES DE LAS GLORIETAS

Si la zona central de la glorieta es muy grande y hay vías de acceso muy anchas dotadas de isletas direccionales, resulta adecuado implantar un punto de luz en cada isleta para aumentar la luminancia de la calzada y su uniformidad.

Esta disposición no es aconsejable cuando el punto de luz (soporte y luminaria) implique obstrucción en el campo visual del conductor. Por tanto, la implantación de puntos de luz en este tipo de isletas requiere prudencia y efectuar un examen visual in-situ, si es posible. En todos los casos, los bordes de las isletas deben ser muy visibles.

9.3 Pasos de peatones

Los pasos de peatones sin semáforo deben iluminarse con una iluminancia de referencia mínima en el plano vertical de 20 lux, y una limitación al deslumbramiento G2 en la dirección de circulación de vehículos y G3 en la dirección del peatón. La clase de alumbrado será CE2 en áreas comerciales e industriales y CE3 en zonas residenciales.

ANEJOS

ÍNDICE

ANEJO 1. TÉRMINOS Y DEFINICIONES

ANEJO 2. INVENTARIO

ANEJO 3. CÁLCULOS LUMINOTÉCNICOS

ANEJO 4. CÁLCULOS ELÉCTRICOS

ANEJO 5. CUADROS ELÉCTRICOS

ANEJO 6. ANÁLISIS ECONÓMICO

ANEJO 7. EJEMPLOS DE ALGUNAS REALIZACIONES

ANEJO 1. TÉRMINOS Y DEFINICIONES

ÍNDICE

1. OBJETO.....	1
2. RELACIÓN DE TÉRMINOS.....	1

1. OBJETO

En las Recomendaciones para la Iluminación de Carreteras a Cielo Abierto 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

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 lámpara de descarga, que sirve para limitar la corriente de la lámpara 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.

Contaminación lumínica

Luz indeseada que incide sobre cualquier área circundante a una instalación de alumbrado, ya sea sobre las fachadas verticales de edificios del entorno o sobre el propio cielo.

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 de 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.

Eficiencia energética de una instalación de alumbrado exterior

Relación entre el producto de la superficie iluminada por la iluminancia media en servicio de la instalación y la potencia activa total instalada.

$$\varepsilon = \frac{S \cdot E_m}{P} \left[\frac{\text{m}^2 \cdot \text{lux}}{\text{W}} \right]$$

Siendo:

- ε = Eficiencia energética de la instalación de alumbrado exterior ($\text{m}^2 \text{lux/W}$).
- P = Potencia activa total instalada (lámparas y equipos auxiliares) (W).
- S = Superficie iluminada (m^2).
- E_m = Iluminancia media en servicio de la instalación, considerando el mantenimiento previsto (lux).

La eficiencia energética se puede determinar mediante la siguiente expresión:

$$\varepsilon = \varepsilon_L \cdot f_m \cdot f_u \left[\frac{\text{m}^2 \cdot \text{lux}}{\text{W}} \right]$$

Donde:

- ε_L = Eficiencia de las lámparas y equipos auxiliares ($\text{lum/W} = \text{m}^2 \text{lux/W}$).
- f_m = Factor de mantenimiento de la instalación (valores por unidad).
- f_u = Factor de utilización de la instalación (valores por unidad).

Flujo luminoso (ϕ)

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.

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_m)

Valor medio de la iluminancia horizontal en la superficie considerada. Se expresa en lx (lux).

Iluminancia mínima horizontal (E_{min})

Valor mínimo de la iluminancia horizontal en la superficie considerada. 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).

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 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.).

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.
- L_{VE} = Luminancia de velo denominada equivalente, producida por el entorno.

Intensidad luminosa (I)

Es el flujo luminoso por unidad de ángulo sólido. Esta magnitud tiene característica direccional. Se expresa en cd (candela).

Luminancia de velo (L_V)

Es la 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. Su símbolo es (L_V) y se expresa en cd/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 así mismo 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 en lux sobre la pupila, en un plano perpendicular a la dirección visual y tangente al ojo del observador.
- Θ = Ángulo entre el centro de la fuente deslumbrante y la línea de visión, es decir, ángulo formado por la dirección visual del observador.

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° 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° , siendo válida la expresión para $1,5^\circ < \theta < 30^\circ$.

Luminancia de velo equivalente producida por el entorno (L_{VE})

Se define considerando que la reflexión del entorno es totalmente difusa.

$$L_{VE} = \frac{(0,035 \cdot e \cdot E_{hm})}{\pi}$$

Siendo:

- r = Coeficiente de reflexión medio del área.
- E_{hm} = Iluminancia horizontal media del área.

Se expresa en cd/m^2 .

Luminancia en un punto de una superficie (L)

Es la intensidad luminosa por unidad de superficie reflejada por la misma superficie 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 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.

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.

Luz intrusa o molesta

Luz procedente de las instalaciones de alumbrado exterior que da lugar a incomodidad, distracción o reducción en la capacidad para detectar una información esencial y, por tanto, produce efectos potencialmente adversos en los residentes, ciudadanos que circulan y usuarios de los sistemas de transportes.

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).
- α = 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.

Relación entorno (SR)

Relación entre la iluminancia media de la zona situada en el exterior de la calzada y la iluminancia media de la zona adyacente situada sobre la calzada, en ambos lados de los bordes de la misma. La relación entorno SR es la más pequeña de las dos relaciones entorno calculadas. La anchura de las dos zonas de cálculo para cada relación de entorno se tomará como 5 m o la mitad de la anchura de la calzada, si ésta es inferior a 10 m.

Rendimiento de una luminaria (η)

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.

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 valor menor 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.

Usuario principal

Tipo de usuario mayoritario en el área de estudio. Cuando el tipo de usuario principal es una combinación de tráfico motorizado y otro u otros tipos, se considera como usuario principal al tráfico motorizado.

Vehículo motorizado

Vehículo provisto de motor para su propulsión y cuya velocidad máxima por construcción es superior a 45 km/h.

Velocidad típica

En estas Recomendaciones se toma como velocidad típica la velocidad de proyecto del tramo considerado.

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 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 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 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° .

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.....	2
Ficha 2 – Acometida.....	3
Ficha 3 – Cuadro de mando.....	3
Ficha 4 - Punto de luz.....	4
Ficha 5 – Conductor.....	4
4. FICHAS DE INVENTARIO.....	5
Ficha 0 – Identificación.....	6
Ficha 1 - Características generales.....	7
Ficha 2 – Acometida.....	8
Ficha 3 - Cuadro de mando.....	9
Ficha 4 - Puntos de luz.....	11
Ficha 5 – Conductor.....	12

1. OBJETO

En el capítulo 6 de las Recomendaciones para la Iluminación de Carreteras a Cielo Abierto se aconseja que antes de redactar un Plan de Mantenimiento, es necesario realizar 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 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 ésta tendrá asociado otra ficha y otro código cuyas cinco primeras partes coincidirán con el 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.) en el que está situada la acometida.
- Margen.
- Número de siete dígitos reservados para los elementos de la instalación.

Por ejemplo, 01-41-N630-975,524-D-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 – 4.
- Conductores: Ficha – 5.

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:

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

Tabla 1. Códigos identificativos de las distintas Demarcaciones de Carreteras del Estado

- 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 ó A, e YYYY el número de la carretera, por ejemplo 630a.
- Punto kilométrico (p.k.) en el que se encuentre la acometida. Con cuatro cifras y tres decimales, separados por una coma, por ejemplo 1154,568.
- Margen. Derecha o izquierda (D ó I), en función del margen en el que se encuentre la acometida.
- Número de siete dígitos: 0000000.

Por ejemplo: 01-41-N630-975,524-D-0000000.

- Potencia instalada.
- Potencia contratada.
- Consumo teórico.
- Breve descripción: se deberá realizar una breve descripción de la instalación, indicando el tramo de pp.kk. iluminado por la instalación.
- Relación de elementos asociados. Se deberá incluir el número de unidades de cada uno de los elementos siguientes:
 - Acometida.
 - Conductores principales.
 - Cuadros de mando.
 - Conductores secundarios.
 - Puntos de luz. Se deberán especificar los códigos los puntos de luz inicial y final.
- 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).

- Acometida:
 - CUPS. Se introducirá el código universal de los puntos de suministro.
- Cuadros de mando:
 - Número total. Se introducirá el número de cuadros de mando incluidos en la instalación.
- Conductores:
 - Tipos de canalizaciones: 1 (directamente enterrada), 2 (bajo tubo), 3 (otros).
- Puntos de luz:
 - Número total. Se introducirá el número de puntos de luz incluidos en la instalación.

Ficha 2 – Acometida

- Código:
 - Las cuatro primeras partes se designarán de la misma forma que en la Ficha 0 – Identificación.
 - Número de siete dígitos: 1000000.

Por ejemplo: 01-41-N630-975,524-D-1000000.

- Datos de suministro:
 - CUPS. Se introducirá el código universal de puntos de suministro.
 - Potencia máxima.

Ficha 3 – Cuadro de mando

- Código:
 - Las cuatro primeras partes se designarán de la misma forma que en la Ficha 0 – Identificación.
 - Número de siete dígitos: 1X1X20000, siendo X1 (un dígito) el número de conductor principal, de acuerdo con lo dispuesto en la Ficha 4 – Conductores y X2 el número de cuadro (un dígito), siendo X1=X2.

Por ejemplo: 01-41-N630-975,524-D-1330000.

- 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.
 - Reloj astronómico: 1 (Sí), 2 (No).
 - Célula fotoeléctrica: 1 (Sí), 2 (No).
 - Equipo de gestión centralizada: 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, modelo.
 - Regulación de flujo: 1 (hasta 30 kva), 2 (30-60 kva), 3 (más de 60 kva).

- Reloj.
- Tipo: 1 (astronómico), 2 (analógico), 3 (telegestión).
- 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, modelo.
 - Tipo de canalización. 1 (directamente enterrada), 2 (bajo tubo), 3 (otros).

Ficha 4 - Punto de luz

- Código:
 - Las cuatro primeras partes se designarán de la misma forma que en la Ficha 0 – Identificación.
 - Número de siete dígitos: 1XXYZZZ, siendo X e Y los números de los conductores principal y secundario, de acuerdo con la Ficha 4 – Conductores y ZZZ 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: 01-41-N630-975,524-D-1335147.

- Características:
 - Funcionalidad: 1 (interurbano), 2 (travesía), 3 (enlace), 4 (ramal), 5 (intersección), otros (6).
 - 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 (inductivo); 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: Sí o no (S ó N).

Ficha 5 - Conductor

- Código:
 - Las cuatro 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: 1X00000, siendo X 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: 01-41-N630-975,524-D-1300000.

- Si es secundario: 1XXY000, siendo X igual al del apartado anterior e Y 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: 01-41-N630-975,524-D-1335000.

- Tipo: 1 (principal), 2 (secundario).
- Características:
 - Tipo de conductor: 1 (cobre), 2 (aluminio), 3 (otros).
 - Sección: se introducirá la sección del conductor, en mm².
 - 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 escala 1:1.000. Se deberán incluir planos en los que figure el trazado del conductor y la ubicación de las distintas arquetas.

4. FICHAS DE INVENTARIO

A continuación se adjuntan las fichas-tipo para la realización del inventario.

INVENTARIO

INSTALACIÓN DE ALUMBRADO A CIELO ABIERTO

FICHA 0 – Identificación

- Código.
- Fecha de la última actualización de la información.
- Potencia instalada.
- Potencia contratada.
- Consumo teórico.
- Breve descripción.
- Relación de elementos asociados:
 - Acometida.
 - Conductores principales.
 - Cuadros de mando.
 - Conductores secundarios.
 - Puntos de luz.
- Plano de situación.
- Observaciones.

INVENTARIO INSTALACIÓN DE ALUMBRADO A CIELO ABIERTO

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 (cd/m^2):
 - Media.
 - Máxima.
 - Mínima.
- Iluminancias (lux):
 - Media.
 - Máxima.
 - Mínima.
- Consumo teórico (kWh).
- Acometida:
 - CUPS.
 - Compañía suministradora.
 - Potencia instalada (kW).
 - Potencia contratada (kW).
 - Consumo previsto (kWh).
 - N° contador potencia activa.
 - N° contador 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.
 - Interdistancia media (m).
 - N° de soportes distintos.
 - N° de luminarias distintas.
 - N° de lámparas distintas.
 - N° de equipos eléctricos auxiliares distintos.
- Planos escala 1:1.000.
- Observaciones.

INVENTARIO INSTALACIÓN DE ALUMBRADO A CIELO ABIERTO

FICHA 2 – Acometida

- Código.
- 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 A CIELO ABIERTO

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.
- Código de la acometida que suministra energía.
- Denominación.
- Características:
 - Material.
 - Marca (fabricante).
 - Modelo.
 - Tipología.
 - Vida útil.
- Datos de cálculo:
 - Longitud circuito asociado.
 - Longitud viales iluminados.
 - Superficie viales iluminados.
 - Nº puntos de luz.
 - Potencia total instalada.
 - Horas de funcionamiento anuales.
 - Horas de funcionamiento anuales con potencia reducida.
 - Nivel de reducción.
- Componentes principales:
 - Control de encendido y gestión:
 - Reloj astronómico.
 - Célula fotoeléctrica.
 - Equipo de gestión centralizada.
 - Protecciones generales:
 - Interruptores generales.
 - Protecciones magnetotérmicas.
 - Protecciones diferenciales.
 - Regulación de flujo.
 - Contactores o relés:
 - Número.
 - Polaridad.
 - Intensidad.
 - Marca.
 - Reloj:
 - 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.
 - Hora de apagado.
- 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 A CIELO ABIERTO

FICHA 4 - Puntos de luz

- 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:
 - Funcionalidad.
 - 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.
 - N° 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 A CIELO ABIERTO

FICHA 5 – Conductor

- Código.
- Fecha instalación.
- Fecha de la última revisión.
- Fecha de última sustitución.
- Último elemento sustituido.
- Fecha de la última actualización de la información.
- Tipo.
- Características:
 - Tipo de conductor.
 - Tipo de aislamiento.
 - Tipo de canalización.
 - Sección (mm²).
 - Vida útil (h).
 - Fabricante.
- Arquetas:
 - Nº total de arquetas de cruce de calzada.
 - Nº total de arquetas de cambio de dirección.
 - Arqueta 1:
 - Tipo.
 - Coordenadas GPS.
 - Dimensiones.
 - Tapa.
 - Arqueta 2:
 - Tipo.
 - Coordenadas GPS.
 - Dimensiones.
 - Tapa.
 - ...
 - Arqueta N...
- Observaciones.
- Planos escala 1:1.000.

ANEJO 3. CÁLCULOS LUMINOTÉCNICOS

ÍNDICE

1. OBJETO.....	1
2. CÁLCULO DE LUMINANCIA.....	1
2.1 Campo de cálculo para luminancia.....	2
2.2 Posición de los puntos de cálculo.....	2
2.3 Posición del observador.....	4
2.4 Luminarias incluidas en el cálculo.....	4
3. CÁLCULO DE LA ILUMINANCIA.....	6
3.1 Iluminancia horizontal en un punto.....	6
3.2 Iluminancia vertical en un punto.....	7
3.3 Iluminancia total en un punto.....	7
3.4 Campo de cálculo para iluminancia.....	7
3.5 Posición de puntos de cálculo.....	8
3.6 Luminarias incluidas en el cálculo.....	9
3.7 Iluminancia en áreas de forma irregular.....	10
4. CRITERIOS DE CALIDAD.....	10
4.1 Luminancia media.....	10
4.2 Uniformidad global.....	10
4.3 Uniformidad longitudinal.....	10
4.4 Incremento de umbral.....	11
5. RELACIÓN DE ENTORNO.....	11
5.1 Luminancia media.....	12
5.2 Uniformidad de iluminancia.....	12
6. EJEMPLOS DE CÁLCULO.....	13

1. OBJETO

En el capítulo 4 de las Recomendaciones para la Iluminación de Carreteras a Cielo Abierto 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 siguientes:

- Luminancia.
- Iluminancia.
- Deslumbramiento perturbador (TI).
- Relación de entorno (SR).

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 la norma UNE EN 13201-3.

2. CÁLCULO DE LUMINANCIA

La luminancia en un punto de una instalación de alumbrado de una carretera se calcula mediante la fórmula siguiente:

$$L = \sum \frac{I \cdot r}{h^2}$$

Donde:

- L = Luminancia en un punto.
- I = Intensidad luminosa, que se obtiene por interpolación cuadrática de la matriz de intensidades de la luminaria.
- r = Coeficiente de luminancia reducida, que también se obtiene por interpolación cuadrática de la matriz de reflexión del pavimento.
- h = Altura máxima de la luminaria.

No obstante, la fórmula que se suele emplear para calcular la luminancia en un punto debida solo a una luminaria es la siguiente:

$$L = \frac{I \cdot r \cdot \Phi \cdot 10^{-4}}{H^2}$$

Donde:

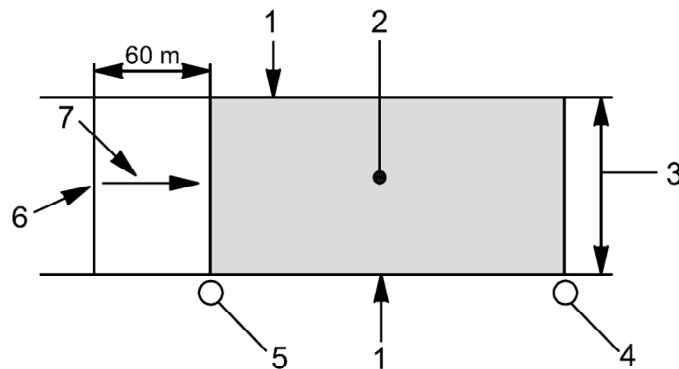
- L = Luminancia mantenida, en candelas por metro cuadrado.
- I = Intensidad luminosa en la dirección (C,y), en candelas por kilolúmen.
- r = Coeficiente de luminancia reducido para un trayecto de luz incidente con coordenadas angulares (ϵ, β), es la inversa de estereorradianes.
- Φ = Flujo luminoso inicial de las fuentes en cada luminaria, en kilolúmenes.
- FM = Factor de mantenimiento resultante de multiplicar el factor de mantenimiento de flujo de la lámpara por el factor de mantenimiento de la luminaria.
- H = Altura de montaje de las luminarias sobre la superficie de la calzada, en metros.

La luminancia total en un punto, L_p es consecuencia de las aportaciones de todas las luminarias de la instalación y su valor se obtiene como la suma de las contribuciones $L_1, L_2, L_3 \dots L_n$, de todas las luminarias que tienen influencia en ese punto:

$$L_p = L_1 + L_2 + \dots + L_k + \dots + L_n = \sum_{k=1}^n L_k$$

2.1 Campo de cálculo para luminancia

En la dirección longitudinal del área de cálculo, el campo contendrá dos luminarias en la misma fila (Figura 1), estando situada la primera luminaria a 60 m del observador.



Donde:

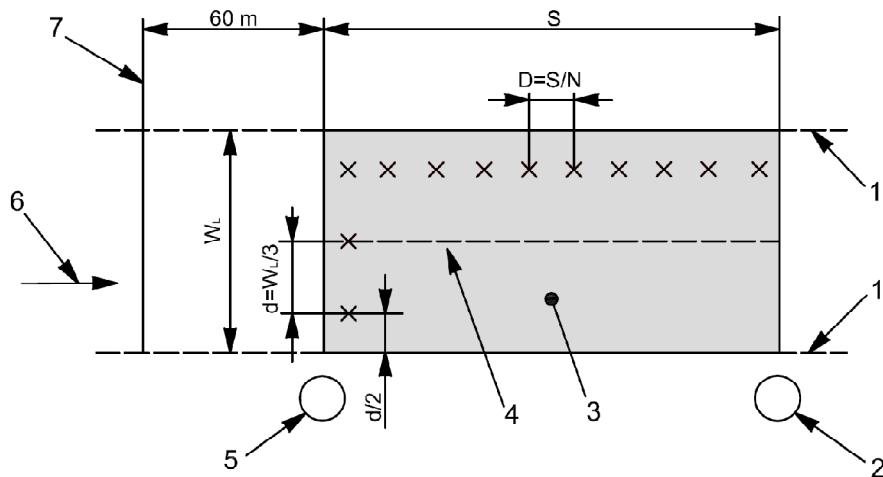
1. Borde del área en cuestión.
2. Campo de cálculo.
3. Ancho de área en cuestión.
4. Última luminaria en el campo de cálculo.
5. Primera luminaria en el campo de cálculo.
6. Observador.
7. Dirección de observación.

Figura 1. Información para cálculos de luminancia: campo de cálculos de luminancia para el área en cuestión.

2.2 Posición de los puntos de cálculo

Los puntos de cálculo estarán uniformemente espaciados en el campo de cálculo como se ha mostrado en la figura 1.

La primera y última filas transversales de puntos de cálculo estarán separadas a la mitad de la separación longitudinal entre puntos desde los límites del campo de cálculo (Figura 2).



Donde:

1. Borde de carril.
2. Última luminaria en campo de cálculo.
3. Campo de cálculo.
4. Línea central del carril.
5. Primera luminaria en campo de cálculo.
6. Dirección de observación.
7. Posición longitudinal del observador.
- X. Indica líneas de puntos de cálculo en las direcciones transversal y longitudinal.

Figura 2. Información para cálculos de luminancia: posición de puntos de cálculo en un carril de circulación.

Esta cuadrícula es similar a la cuadrícula usada para cálculos de iluminancia en lo que respecta al posicionamiento de la primera y última fila de puntos de cálculo en sentido transversal (Figura 6).

La separación de los puntos en sentidos longitudinal y transversal será determinada como sigue:

- En sentido longitudinal.

$$D = \frac{S}{N}$$

Donde:

- D = Separación entre puntos en sentido longitudinal, en metros.
- S = Separación entre luminarias en la misma fila, en metros.
- N = Número de puntos de cálculo en sentido longitudinal con los siguientes valores:
 - Para $S \leq 30$ m, $N = 10$.
 - Para $S > 30$ m, el menor entero que dé $D \leq 3$ m.

La primera fila transversal de puntos de cálculo está separada en una distancia $D/2$ más allá de la primera luminaria (alejada del observador).

- En sentido transversal: La separación (d) en sentido transversal se determina a partir de la ecuación:

$$d = \frac{W_L}{3}$$

Donde:

- d = Separación entre puntos en sentido transversal, en metros.
- W = Anchura del carril, en metros.

Los puntos de cálculo más exteriores están separados d/2 de los bordes del carril.

Cuando hay bordillos y se requiere información de luminancia, el número y separación de los puntos de cálculo será el mismo que para el carril de circulación.

2.3 Posición del observador

Para los cálculos de luminancia, el ojo del observador está a 1,5 m por encima del nivel de la calzada.

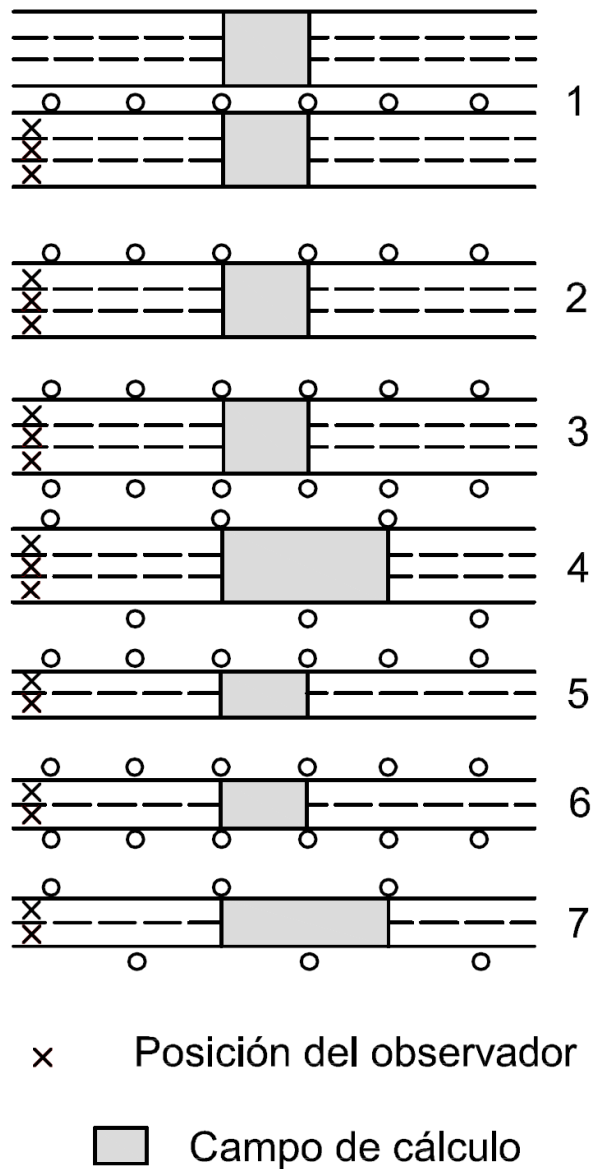
En sentido transversal, el observador se posicionará para cada carril en el centro de cada uno de ellos. La luminancia media, la uniformidad global de luminancia y el incremento de umbral serán calculados para todo el carril para cada posición del observador. La uniformidad longitudinal de luminancia será calculada para cada línea central. Los valores operativos de luminancia media, uniformidad global de luminancia, y uniformidad longitudinal de luminancia serán los menores en cada caso; el valor operativo del incremento de umbral será el valor más elevado.

En la figura 3 se pueden observar ejemplos de la posición del observador en relación al campo de cálculo.

2.4 Luminarias incluidas en el cálculo

Los límites del área donde situar luminarias que se han de incluir en el cálculo de la luminancia en un punto se determinan del siguiente modo (Figura 4):

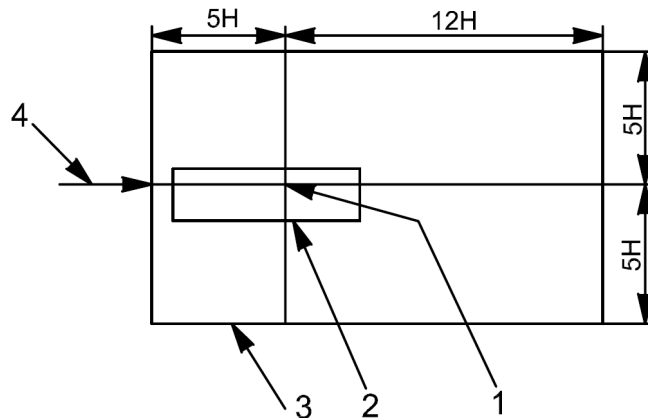
- Límites a ambos lados del observador: al menos cinco veces la altura de montaje H a ambos lados del punto de cálculo.
- Límite más alejado del observador: al menos 12H desde el punto de cálculo en la dirección de alejamiento del observador.
- Límite más próximo al observador: al menos 5H desde el punto de cálculo en la dirección hacia el observador.



Donde:

1. Calzada de seis carriles con mediana central.
2. Calzada de tres carriles. Implantación unilateral de luminarias.
3. Calzada de tres carriles. Implantación bilateral pareada de luminarias.
4. Calzada de tres carriles. Implantación bilateral tresbolillo de luminarias.
5. Calzada de dos carriles. Implantación unilateral de luminarias.
6. Calzada de dos carriles. Implantación bilateral pareada de luminarias.
7. Calzada de dos carriles. Implantación bilateral tresbolillo de luminarias.

Figura 3. Ejemplos de posiciones de observación en relación al campo de cálculo.



Donde:

1. Punto de cálculo.
2. Límite de campo de cálculo.
3. Límite de área para situación de luminarias.
4. Dirección de observación.

Figura 4. Límites de área en que las luminarias están situadas para calcular la luminancia en un punto.

3. CÁLCULO DE LA ILUMINANCIA

A continuación se expresa el método de cálculo para la iluminancia horizontal y vertical.

3.1 Iluminancia horizontal en un punto

Los puntos de cálculo estarán situados en un plano al nivel del suelo en el área en cuestión.

La iluminancia horizontal en un punto se calcula a partir de la fórmula siguiente (o de otra fórmula matemáticamente equivalente):

$$E = \frac{I \cdot \cos^3 \varepsilon \cdot \Phi \cdot FM}{H^2}$$

Donde:

- E = Iluminancia horizontal mantenida en el punto, en lux.
- I = Intensidad en la dirección del punto, en candelas por kilolúmen.
- ε = Ángulo de incidencia de la luz en el punto, en grados.
- H = Altura de montaje de la luminaria, en metros.
- Φ = Flujo luminoso inicial de la lámpara o lámparas en la luminaria, en kilolúmenes.
- FM = Producto del factor de mantenimiento del flujo de la lámpara y del factor de mantenimiento de la luminaria.

3.2 Iluminancia vertical en un punto

Los puntos de cálculo estarán situados en un plano a 1,5 m por encima de la superficie del área en cuestión.

La iluminancia vertical varía con la dirección de interés. El plano de iluminación vertical estará orientado en ángulo recto con respecto a las direcciones principales de movimiento de peatones, que para una calzada son usualmente hacia arriba y hacia abajo de la calzada.

La iluminancia vertical en un punto será calculada a partir de la fórmula siguiente (o de otra matemáticamente equivalente):

$$E = \frac{I \cdot \cos^2 \varepsilon \cdot \sin \varepsilon \cdot \cos \alpha \cdot \Phi \cdot FM}{(H - 1,5)^2}$$

Donde:

- E = Iluminancia semicilíndrica mantenida en el punto, en lux.
- I = Intensidad en la dirección del punto, en candelas por kilolúmen.
- α = Ángulo comprendido entre el plano vertical que contiene el trayecto de luz incidente y el plano vertical en ángulo recto con el plano vertical de cálculo, como se muestra en la figura 5, en grados.
- ε = Ángulo de incidencia de la luz con relación a la normal al plano horizontal en el punto, en grados.
- H = Altura de montaje de la luminaria, en metros.
- Φ = Flujo luminoso inicial de la lámpara o lámparas en la luminaria, en kilolúmenes.
- FM = Producto del factor de mantenimiento del flujo de la lámpara y del factor de mantenimiento de la luminaria.

Esta fórmula es válida solamente para $\varepsilon \leq 90^\circ$ y $\alpha \leq 90^\circ$.

3.3 Iluminancia total en un punto

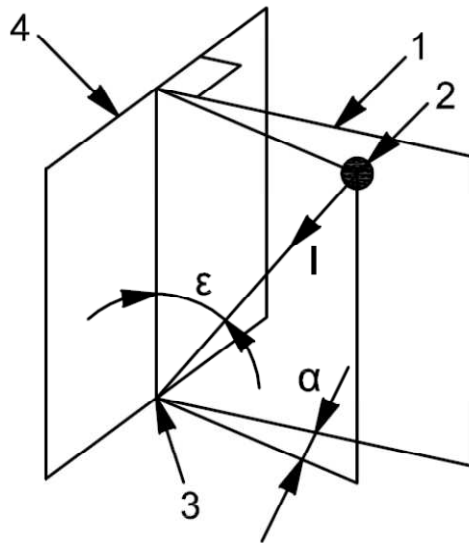
La iluminancia total en un punto, E_P , es la suma de las contribuciones $E_1, E_2, E_3 \dots E_n$, de todas las luminarias.

$$E_P = E_1 + E_2 + \dots + E_k + \dots + E_n = \sum_{k=1}^n E_k$$

Solamente pueden sumarse medidas de iluminancia del mismo tipo. Además, deben tener la misma direccionalidad.

3.4 Campo de cálculo para iluminancia

El campo de cálculo será el mismo que el indicado en la figura 3.



Donde:

1. Plano vertical en ángulo recto con relación al plano de iluminación vertical.
2. Luminaria.
3. Punto de cálculo.
4. Plano de iluminación vertical.

Figura 5. Ángulos usados en el cálculo de iluminancia vertical.

3.5 Posición de puntos de cálculo

Los puntos de cálculo estarán uniformemente espaciados en el campo de cálculo (Figura 6) y su número será elegido del siguiente modo:

- En sentido longitudinal.

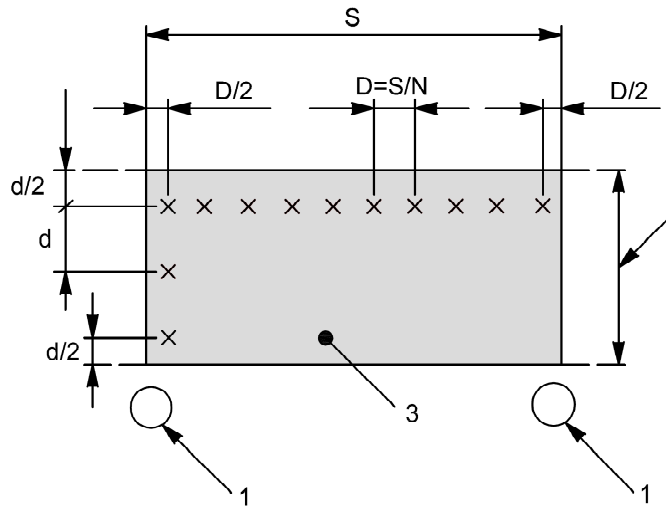
La separación de los puntos en sentidos longitudinal y transversal será determinada como sigue:

$$D = \frac{S}{N}$$

Donde:

- D = Separación entre puntos en sentido longitudinal, en metros.
- S = Separación entre luminarias en la misma fila, en metros.
- N = Número de puntos de cálculo en sentido longitudinal con los siguientes valores:
 - Para $S \leq 30$ m, $N = 10$.
 - Para $S > 30$ m, el menor entero que dé $D \leq 3$ m.

La primera fila transversal de puntos de cálculo está separada en una distancia $D/2$ más allá de la primera luminaria (alejada del observador).



Donde:

1. Luminaria.
2. Anchura de área en cuestión W_r .
3. Campo de cálculo.
- X. Indica líneas de puntos de cálculo en sentidos transversal y longitudinal.

Figura 6. Informaciones para cálculos de iluminancia; puntos de cálculo en el área en cuestión.

- En sentido transversal.

La separación (d) en sentido transversal se determina a partir de la ecuación:

$$d = \frac{W_L}{n}$$

Donde:

- d = Separación entre puntos en sentido transversal, en metros.
- W = Anchura del carril, en metros.
- n = Número de puntos en sentido transversal con un valor mayor o igual a 3 y es el menor entero que da $d \leq 1,5$ m.

La separación de puntos desde los bordes del área en cuestión es D/2 en sentido longitudinal y d/2 en sentido transversal, como se ha indicado en la figura 6.

3.6 Luminarias incluidas en el cálculo

Las luminarias que estén situadas a una distancia menor o igual a cinco veces la altura de montaje desde el punto de cálculo serán incluidas en el cálculo.

3.7 Iluminancia en áreas de forma irregular

Para las áreas de forma irregular puede ser necesario elegir un campo de cálculo rectangular que contenga al área en cuestión y por ello que sea mayor que la misma. Los puntos de cuadrícula usados para el cálculo de las características de calidad deben ser elegidos a partir de aquellos puntos que se encuentran dentro del límite del área en cuestión. Cuando la separación de las luminarias no sea regular puede no ser posible unir a la separación de los puntos de la cuadrícula con la separación de las luminarias, pero la separación en cualquier dirección no excederá de 1,5 m. Las direcciones principales de circulación de tráfico para el

cálculo de la iluminancia vertical y de la iluminancia semicilíndrica deben ser decididas después de considerar el uso o la probabilidad de uso del área.

4. CRITERIOS DE CALIDAD

Las características de calidad relativas a luminancia o iluminancia se obtendrán a partir de las cuadrículas calculadas de luminancia o iluminancia sin interpolación adicional. Si los puntos de la cuadrícula no coinciden con el centro de los carriles, para el cálculo de uniformidad longitudinal de la luminancia será necesario calcular la luminancia de puntos de la línea central de cada carril y del bordillo.

Para la iluminancia media inicial o la luminancia media inicial, FM es 1,0, y se tomarán valores iniciales del flujo luminoso de la lámpara o lámparas en las luminarias. Para luminancia media o iluminancia media después de un período establecido, el FM para la luminaria después del período establecido en las condiciones medioambientales de la instalación será tomado junto con el flujo luminoso en kilólúmenes de la fuente o fuentes luminosas en la luminaria después del período establecido.

4.1 Luminancia media

La luminancia media será calculada como la media aritmética de las luminancias en los puntos de cuadrícula en el campo de cálculo.

4.2 Uniformidad global

La uniformidad global será calculada como la relación de la luminancia menor, que tenga lugar en cualquier punto de la cuadrícula en el campo de cálculo, y la luminancia media.

4.3 Uniformidad longitudinal

La uniformidad longitudinal será calculada como la relación de la luminancia mínima a la luminancia máxima en dirección longitudinal a lo largo de la línea central de cada carril, y de la línea de borde en el caso de autovías. El número de puntos en sentido longitudinal (N) y la separación entre los mismos serán idénticos a los utilizados para el cálculo de luminancia media.

La posición del observador estará en línea con la fila de puntos de cálculo.

4.4 Incremento de umbral

El incremento de umbral (TI) se calcula a partir de las ecuaciones:

$$TI = \frac{65}{L_{med}} \cdot L_V \quad (\text{en } \%)$$
$$L_V = 10 \cdot \sum_{k=1}^n \frac{E_k}{\Phi_k^2} = \frac{E_1}{\Phi_1^2} + \frac{E_2}{\Phi_2^2} + \dots + \frac{E_k}{\Phi_k^2} + \dots + \frac{E_n}{\Phi_n^2}$$

Donde:

- L_m = Luminancia media de calzada calculada para las luminarias en el nuevo estado 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 el 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).
- ϕ_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.

El ojo del observador, a una altura de 1,5 m por encima del nivel de la calzada, es posicionado en la línea central de cada carril por turno y longitudinalmente a una distancia en metros de 2,75 (H-1,5), donde H es la altura de montaje (m) enfrente del campo de cálculo. La línea de visión está 1° por debajo de la horizontal y en un plano vertical en sentido longitudinal que pasa a través del ojo del observador.

La suma es realizada para la primera luminaria en la dirección de observación y las luminarias siguientes, hasta una distancia de 500 m en cada fila de luminarias, y se detiene cuando una luminaria en esa fila da una contribución a la luminancia de velo que es menor del 2% de la luminancia de velo total de las luminarias precedentes en la fila. Las luminarias situadas por encima de un plano de apantallamiento inclinado a 20° con la horizontal y que pasa por el ojo del observador y corta la calzada en una dirección transversal, serán excluidas del cálculo.

El cálculo es comenzado con el observador en la posición inicial establecida anteriormente, y repetido con el observador movido hacia delante en incrementos que son los mismos en número y distancia que los usados para la separación longitudinal de los puntos de luminancia. El procedimiento es repetido con el observador posicionado en la línea central de cada carril usando en cada caso la luminancia de calzada media inicial propia de la posición del observador. El valor máximo de TI encontrado es el valor operativo.

Esta ecuación es válida para $0,05 < \text{Luminancia media de calzada} < 5 \text{ cd}/\text{m}^2$ y $1,5 < \theta_k < 60$ grados de arco.

La constante 10 en la ecuación anterior es válida para un observador de 23 años. Constantes para otras edades pueden calcularse a partir de la fórmula:

$$9,86 \cdot \left[1 + \left(\frac{A}{66,4} \right)^4 \right]$$

Donde A es la edad del observador, en años.

5. RELACIÓN DE ENTORNO

La relación de entorno es la iluminancia horizontal media en las dos bandas longitudinales adyacentes a cada uno de los dos bordes de la calzada, y que se encuentran fuera de la calzada, dividida por la iluminancia horizontal media en dos bandas longitudinales adyacentes cada una a los dos bordes de la calzada, pero que se encuentran en la calzada. La anchura de las cuatro bandas será la misma, e igual a 5 m, o la mitad de la anchura de la calzada, o la anchura de la actividad sin obstrucciones u obstáculos que se encuentra fuera de la calzada, siempre que sea la menor. Para calzadas dobles, ambas calzadas son tratadas juntas como una única calzada a menos que estén separadas en más de 10 m.

La iluminancia horizontal será calculada por el procedimiento especificado. El campo de cálculo será como se ha indicado para el cálculo de la iluminancia horizontal. El número de luminarias considerado será el indicado. La posición de los puntos de cálculo dentro de cada banda será la indicada.

La figura 7 da ejemplos de la situación de las bandas y su posición para el cálculo de relación de entorno. Para esta figura, se aplica la siguiente ecuación:

$$RE = \frac{\text{Iluminancia media de la banda 1} + \text{Iluminancia media de la banda 4}}{\text{Iluminancia media de la banda 2} + \text{Iluminancia media de la banda 3}}$$

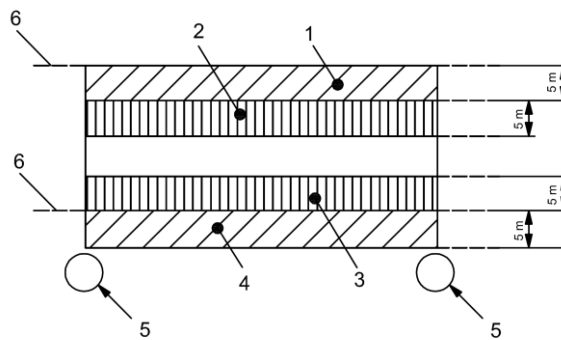
5.1 Luminancia media

La iluminancia media será calculada como la media aritmética de las iluminancias en los puntos de la cuadrícula del campo de cálculo.

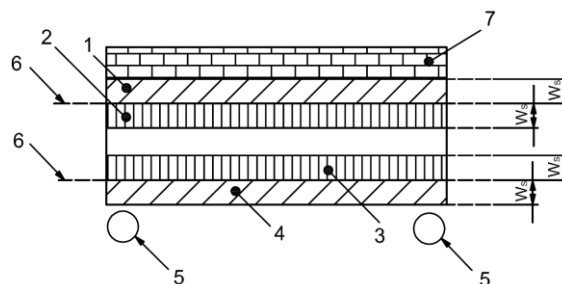
Las iluminancias mínima y máxima serán tomadas como la menor y la mayor iluminancia que se obtenga en cualquier punto de la cuadrícula en el campo de cálculo de iluminancia.

5.2 Uniformidad de iluminancia

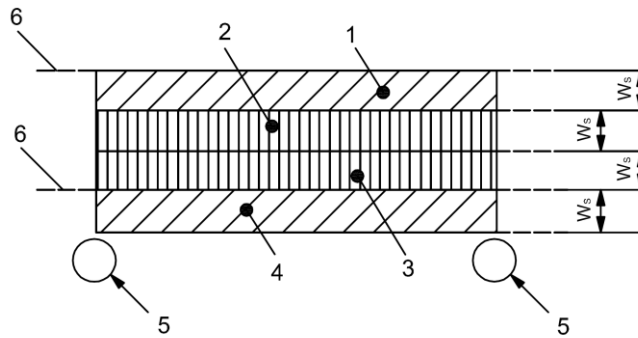
La uniformidad de iluminancia será calculada como la relación de la iluminancia mínima, en cualquier punto de la cuadrícula en el campo de cálculo, a la iluminancia media.



Anchura de bandas igual a 5 m.



Anchura de banda menor de 5 m debido a obstáculo.



Anchura de banda menor de 5 m debido a que anchura de calzada es menor de 10 m.

Donde:

1. Banda 1.
2. Banda 2.
3. Banda 3.
4. Banda 4.
5. Luminaria.
6. Borde de calzada.
7. Obstáculo.
- W_s Anchura de tira.

Figura 7. Situación y anchura de tiras para calcular la relación de entorno.

6. EJEMPLOS DE CÁLCULO

Para una mejor comprensión de cómo deben aparecer los parámetros luminotécnicos que se deben calcular con los métodos de cálculo expuestos, a continuación se adjuntan dos ejemplos:

- En el primero de ellos, denominado Proyecto 1, se ha estudiado una calzada de 7 m de ancho con implantación de luminarias unilateral y lámparas de vapor de sodio alta presión de 150 W.
- En el segundo, denominado Proyecto 2, se ha estudiado una autovía con 2 calzadas de 7 m de ancho separadas por una mediana, también con lámpara de vapor de sodio de alta presión de 150 W en dos implantaciones, una bilateral pareada y la otra en axial.

Ambos ejemplos se han realizado con un programa abierto (en este caso el DIALUX) que no pertenece a ningún fabricante y que permite el cálculo con las tablas de distribución de cualquier fabricante que las haya introducido en la red.

PROYECTO 1
ANEJO.....CÁLCULOS LUMÍNICOS

1. Objeto

En las Recomendaciones para la Iluminación de Carreteras a Cielo Abierto 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 eléctricos.

2. Resultados de cálculo

A continuación se adjuntan los resultados obtenidos.

Proyecto 1

Contacto:
N° de encargo:
Empresa:
N° de cliente:

Fecha: 14.06.2011
Proyecto elaborado por:

Proyecto elaborado por
Teléfono
Fax
e-Mail

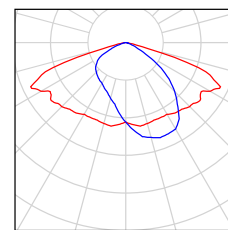
Índice

Proyecto 1	
Portada del proyecto	1
Índice	2
Lista de luminarias	3
Philips SGS253 FG 1xSON-TPP150W CR P5X	
Hoja de datos de luminarias	4
Calle 1	
Datos de planificación	5
Lista de luminarias	6
Recuadros de evaluación	
Recuadro de evaluación Calzada 1	
Sumario de los resultados	7
Observador	
Observador 1	
Isolíneas (L)	8
Observador 2	
Isolíneas (L)	9

Proyecto elaborado por
Teléfono
Fax
e-Mail

Proyecto 1 / Lista de luminarias

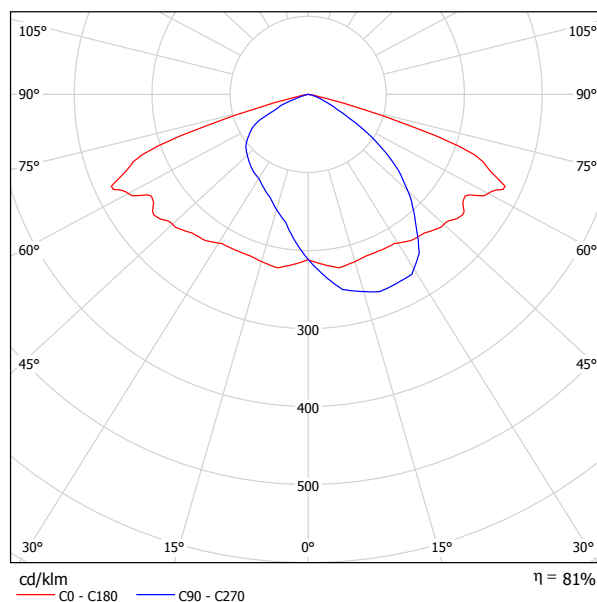
6 Pieza Philips SGS253 FG 1xSON-TPP150W CR P5X
N° de artículo:
Flujo luminoso de las luminarias: 17500 lm
Potencia de las luminarias: 169.0 W
Clasificación luminarias según CIE: 100
Código CIE Flux: 44 83 100 97 80
Lámpara: 1 x SON-TPP150W (Factor de corrección 1.000).



Proyecto elaborado por
Teléfono
Fax
e-Mail

Philips SGS253 FG 1xSON-TPP150W CR P5X / Hoja de datos de luminarias

Emisión de luz 1:



Clasificación luminarias según CIE: 100
Código CIE Flux: 44 83 100 97 80

Para esta luminaria no puede presentarse ninguna tabla UGR porque carece de atributos de simetría.

Proyecto elaborado por
Teléfono
Fax
e-Mail

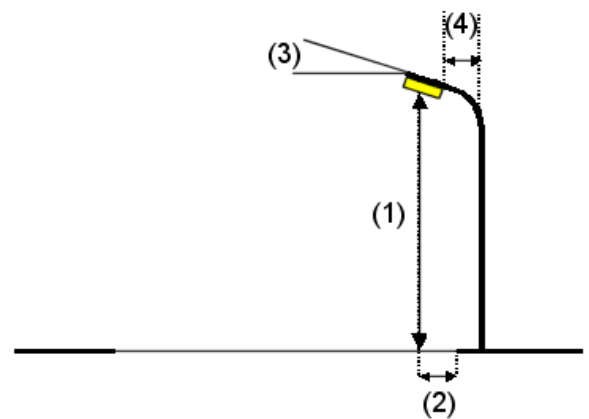
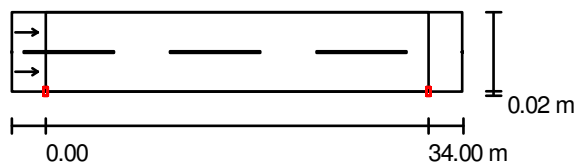
Calle 1 / Datos de planificación

Perfil de la vía pública

Calzada 1 (Anchura: 7.000 m, Cantidad de carriles de tránsito: 2, Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070)

Factor mantenimiento: 0.80

Disposiciones de las luminarias



Luminaria:	Philips SGS253 FG 1xSON-TPP150W CR P5X
Flujo luminoso de las luminarias:	17500 lm
Potencia de las luminarias:	169.0 W
Organización:	unilateral abajo
Distancia entre mástiles:	34.000 m
Altura de montaje (1):	9.000 m
Altura del punto de luz:	9.189 m
Saliente sobre la calzada (2):	0.000 m
Inclinación del brazo (3):	5.0 °
Longitud del brazo (4):	0.000 m

Valores máximos de la intensidad lumínica

con 70 °:	401 cd/klm
con 80 °:	18 cd/klm
con 90 °:	1.00 cd/klm

Respectivamente en todas las direcciones que forman los ángulos especificados con las verticales inferiores (con luminarias instaladas aptas para el funcionamiento).

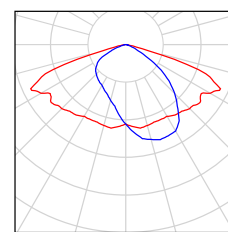
Ninguna intensidad lumínica por encima de 95°. La disposición cumple con la clase de intensidad lumínica G4.

La disposición cumple con la clase del índice de deslumbramiento D.6.

Proyecto elaborado por
Teléfono
Fax
e-Mail

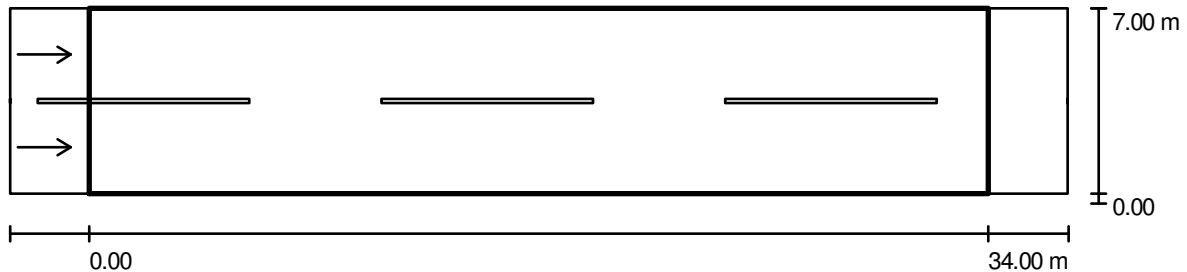
Calle 1 / Lista de luminarias

Philips SGS253 FG 1xSON-TPP150W CR P5X
N° de artículo:
Flujo luminoso de las luminarias: 17500 lm
Potencia de las luminarias: 169.0 W
Clasificación luminarias según CIE: 100
Código CIE Flux: 44 83 100 97 80
Lámpara: 1 x SON-TPP150W (Factor de corrección 1.000).



Proyecto elaborado por
Teléfono
Fax
e-Mail

Calle 1 / Recuadro de evaluación Calzada 1 / Sumario de los resultados



Factor mantenimiento: 0.80

Escala 1:286

Trama: 12 x 6 Puntos

Elemento de la vía pública respectivo: Calzada 1.

Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070

Clase de iluminación seleccionada: ME3a

(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

Valores reales según cálculo:

Valores de consigna según clase:

Cumplido/No cumplido:

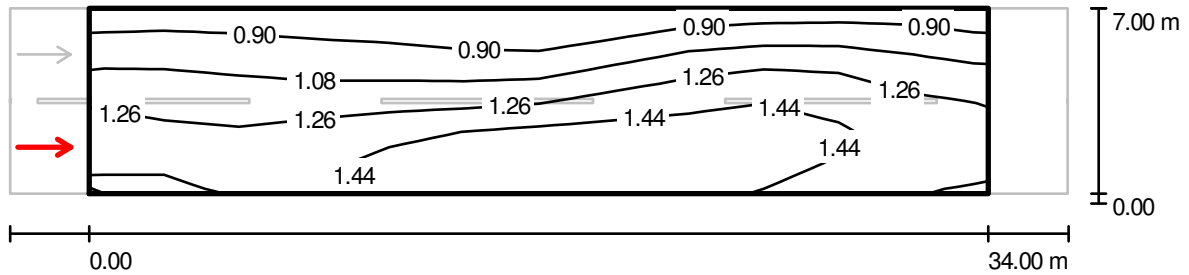
L_m [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]	SR
1.2	0.6	0.8	9	0.6
≥ 1.0	≥ 0.4	≥ 0.7	≤ 15	≥ 0.5
✓	✓	✓	✓	✓

Observador respectivo (2 Pieza):

N°	Observador	Posición [m]	L_m [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]
1	Observador 1	(-60.000, 1.750, 1.500)	1.2	0.6	0.8	9
2	Observador 2	(-60.000, 5.250, 1.500)	1.3	0.6	0.8	8

Proyecto elaborado por
Teléfono
Fax
e-Mail

Calle 1 / Recuadro de evaluación Calzada 1 / Observador 1 / Isolíneas (L)



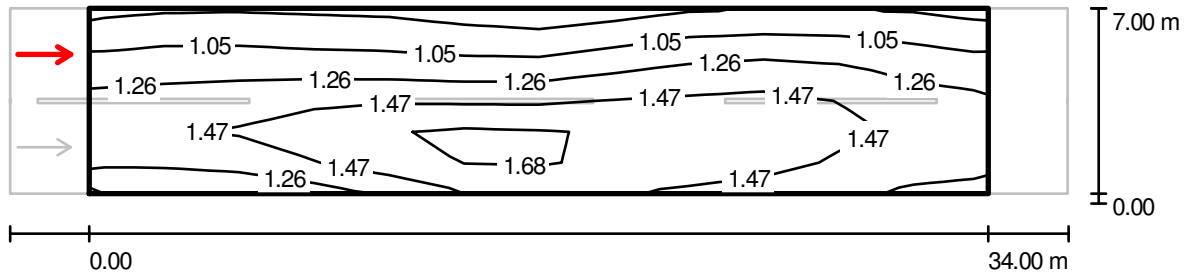
Valores en Candela/m², Escala 1 : 286

Trama: 12 x 6 Puntos
Posición del observador: (-60.000 m, 1.750 m, 1.500 m)
Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070

	L_m [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]
Valores reales según cálculo:	1.2	0.6	0.8	9
Valores de consigna según clase ME3a:	≥ 1.0	≥ 0.4	≥ 0.7	≤ 15
Cumplido/No cumplido:	✓	✓	✓	✓

Proyecto elaborado por
Teléfono
Fax
e-Mail

Calle 1 / Recuadro de evaluación Calzada 1 / Observador 2 / Isolíneas (L)



Valores en Candela/m², Escala 1 : 286

Trama: 12 x 6 Puntos
Posición del observador: (-60.000 m, 5.250 m, 1.500 m)
Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070

	L_m [cd/m²]	U0	UI	TI [%]
Valores reales según cálculo:	1.3	0.6	0.8	8
Valores de consigna según clase ME3a:	≥ 1.0	≥ 0.4	≥ 0.7	≤ 15
Cumplido/No cumplido:	✓	✓	✓	✓

PROYECTO 2
ANEJO.....CÁLCULOS LUMÍNICOS

1. Objeto

En las Recomendaciones para la Iluminación de Carreteras a Cielo Abierto 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 eléctricos.

2. Resultados de cálculo

A continuación se adjuntan los resultados obtenidos.

Proyecto 2

Contacto:
N° de encargo:
Empresa:
N° de cliente:

Fecha: 22.12.2011
Proyecto elaborado por:

Proyecto elaborado por
Teléfono
Fax
e-Mail

Índice

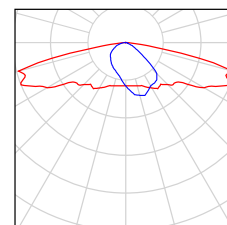
Proyecto 2

Portada del proyecto	1
Índice	2
Lista de luminarias	3
Calle 1 Paredo	
Datos de planificación	4
Resultados luminotécnicos	5
Rendering (procesado) en 3D	7
Calle 1 Axial	
Datos de planificación	8
Resultados luminotécnicos	9
Rendering (procesado) en 3D	11

Proyecto elaborado por
Teléfono
Fax
e-Mail

Proyecto 2 / Lista de luminarias

22 Pieza Philips SGS254 GB 1xSON-TPP150W CP P7
N° de artículo:
Flujo luminoso de las luminarias: 17500 lm
Potencia de las luminarias: 169.0 W
Clasificación luminarias según CIE: 100
Código CIE Flux: 35 67 95 100 89
Lámpara: 1 x SON-TPP150W (Factor de corrección 1.000).



Proyecto elaborado por
Teléfono
Fax
e-Mail

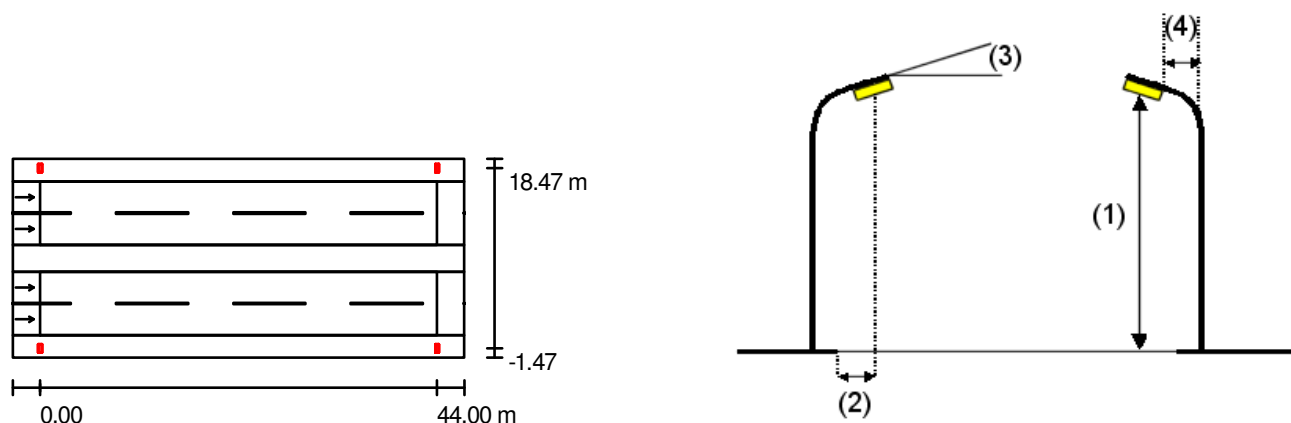
Calle 1 Pareado / Datos de planificación

Perfil de la vía pública

Arcén	(Anchura: 2.500 m)
Calzada 2	(Anchura: 7.000 m, Cantidad de carriles de tránsito: 2, Revestimiento de la calzada: R2, q0: 0.070)
Arcén central 1	(Anchura: 3.000 m, Altura: 0.000 m)
Calzada 1	(Anchura: 7.000 m, Cantidad de carriles de tránsito: 2, Revestimiento de la calzada: R2, q0: 0.070)
Arcén	(Anchura: 2.500 m)

Factor mantenimiento: 0.70

Disposiciones de las luminarias



Luminaria:	Philips SGS254 GB 1xSON-TPP150W CP P7
Flujo luminoso de las luminarias:	17500 lm
Potencia de las luminarias:	169.0 W
Organización:	bilateral frente a frente
Distancia entre mástiles:	44.000 m
Altura de montaje (1):	12.000 m
Altura del punto de luz:	12.318 m
Saliente sobre la calzada (2):	-1.500 m
Inclinación del brazo (3):	5.0 °
Longitud del brazo (4):	1.500 m

Valores máximos de la intensidad lumínica
con 70°: 586 cd/klm
con 80°: 178 cd/klm
con 90°: 2.10 cd/klm

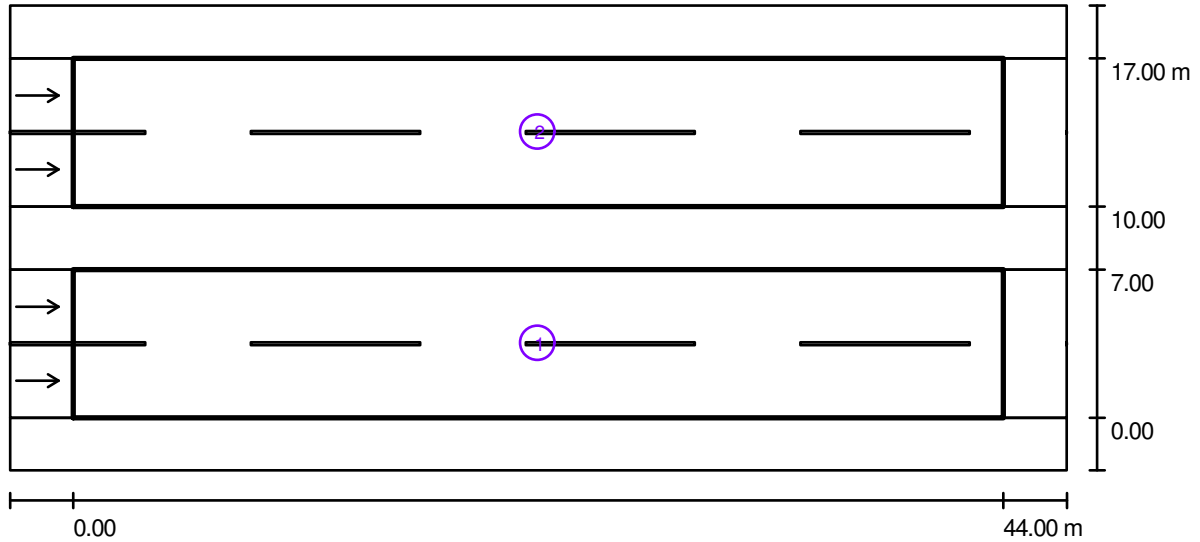
Respectivamente en todas las direcciones que forman los ángulos especificados con las verticales inferiores (con luminarias instaladas aptas para el funcionamiento).

La disposición cumple con la clase de intensidad lumínica G1.

La disposición cumple con la clase del índice de deslumbramiento D.6.

Proyecto elaborado por
Teléfono
Fax
e-Mail

Calle 1 Pareado / Resultados luminotécnicos



Factor mantenimiento: 0.70

Escala 1:358

Lista del recuadro de evaluación

- 1 Recuadro de evaluación Calzada 1
 Longitud: 44.000 m, Anchura: 7.000 m
 Trama: 15 x 6 Puntos
 Elemento de la vía pública respectivo: Calzada 1.
 Revestimiento de la calzada: R2, q0: 0.070
 Clase de iluminación seleccionada: ME3a

(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

	L_m [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]	SR
Valores reales según cálculo:	1.2	0.7	0.8	11	0.8
Valores de consigna según clase:	≥ 1.0	≥ 0.4	≥ 0.7	≤ 15	≥ 0.5
Cumplido/No cumplido:	✓	✓	✓	✓	✓

Proyecto elaborado por
Teléfono
Fax
e-Mail

Calle 1 Pareado / Resultados luminotécnicos

Lista del recuadro de evaluación

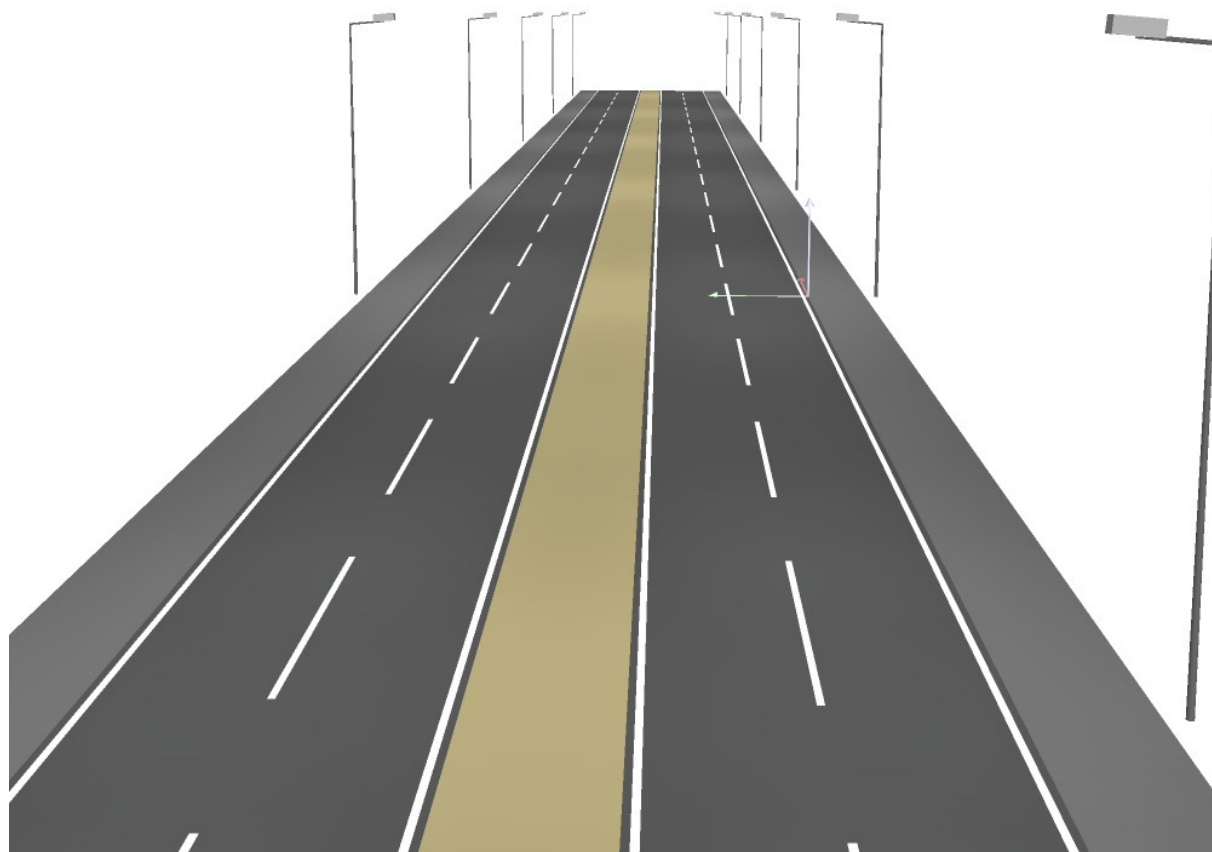
- 2 Recuadro de evaluación Calzada 2
 Longitud: 44.000 m, Anchura: 7.000 m
 Trama: 15 x 6 Puntos
 Elemento de la vía pública respectivo: Calzada 2.
 Revestimiento de la calzada: R2, q0: 0.070
 Clase de iluminación seleccionada: ME3a

(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

	L_m [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]	SR
Valores reales según cálculo:	1.2	0.7	0.8	11	0.8
Valores de consigna según clase:	≥ 1.0	≥ 0.4	≥ 0.7	≤ 15	≥ 0.5
Cumplido/No cumplido:	✓	✓	✓	✓	✓

Proyecto elaborado por
Teléfono
Fax
e-Mail

Calle 1 Pareado / Rendering (procesado) en 3D



Proyecto elaborado por
Teléfono
Fax
e-Mail

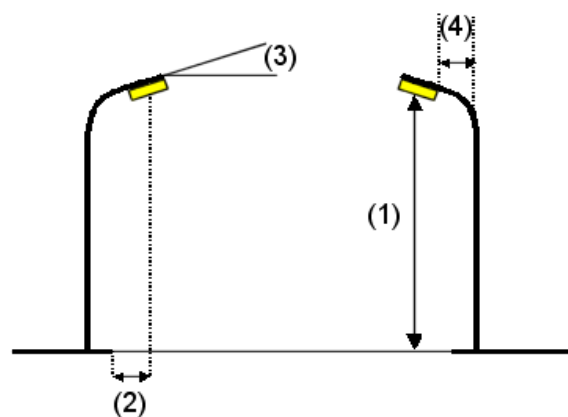
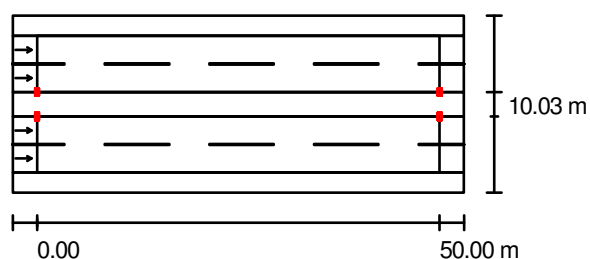
Calle 1 Axial / Datos de planificación

Perfil de la vía pública

Arcén	(Anchura: 2.500 m)
Calzada 2	(Anchura: 7.000 m, Cantidad de carriles de tránsito: 2, Revestimiento de la calzada: R2, q0: 0.070)
Arcén central 1	(Anchura: 3.000 m, Altura: 0.000 m)
Calzada 1	(Anchura: 7.000 m, Cantidad de carriles de tránsito: 2, Revestimiento de la calzada: R2, q0: 0.070)
Arcén	(Anchura: 2.500 m)

Factor mantenimiento: 0.70

Disposiciones de las luminarias



Luminaria:	Philips SGS254 GB 1xSON-TPP150W CP P7
Flujo luminoso de las luminarias:	17500 lm
Potencia de las luminarias:	169.0 W
Organización:	bilateral frente a frente
Distancia entre mástiles:	50.000 m
Altura de montaje (1):	12.000 m
Altura del punto de luz:	12.318 m
Saliente sobre la calzada (2):	10.000 m
Inclinación del brazo (3):	5.0 °
Longitud del brazo (4):	1.500 m

Valores máximos de la intensidad lumínica
con 70°: 586 cd/klm
con 80°: 178 cd/klm
con 90°: 2.10 cd/klm

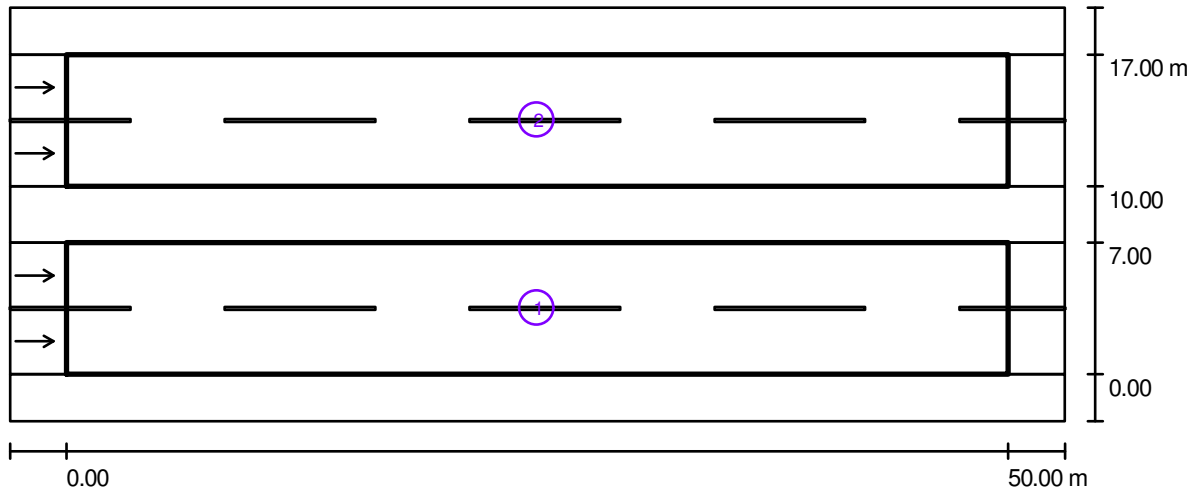
Respectivamente en todas las direcciones que forman los ángulos especificados con las verticales inferiores (con luminarias instaladas aptas para el funcionamiento).

La disposición cumple con la clase de intensidad lumínica G1.

La disposición cumple con la clase del índice de deslumbramiento D.6.

Proyecto elaborado por
Teléfono
Fax
e-Mail

Calle 1 Axial / Resultados luminotécnicos



Factor mantenimiento: 0.70

Escala 1:401

Lista del recuadro de evaluación

- 1 Recuadro de evaluación Calzada 1
Longitud: 50.000 m, Anchura: 7.000 m
Trama: 17 x 6 Puntos
Elemento de la vía pública respectivo: Calzada 1.
Revestimiento de la calzada: R2, q0: 0.070
Clase de iluminación seleccionada: ME3a

(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

	L_m [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]	SR
Valores reales según cálculo:	1.2	0.6	0.7	12	0.8
Valores de consigna según clase:	≥ 1.0	≥ 0.4	≥ 0.7	≤ 15	≥ 0.5
Cumplido/No cumplido:	✓	✓	✓	✓	✓

Proyecto elaborado por
Teléfono
Fax
e-Mail

Calle 1 Axial / Resultados luminotécnicos

Lista del recuadro de evaluación

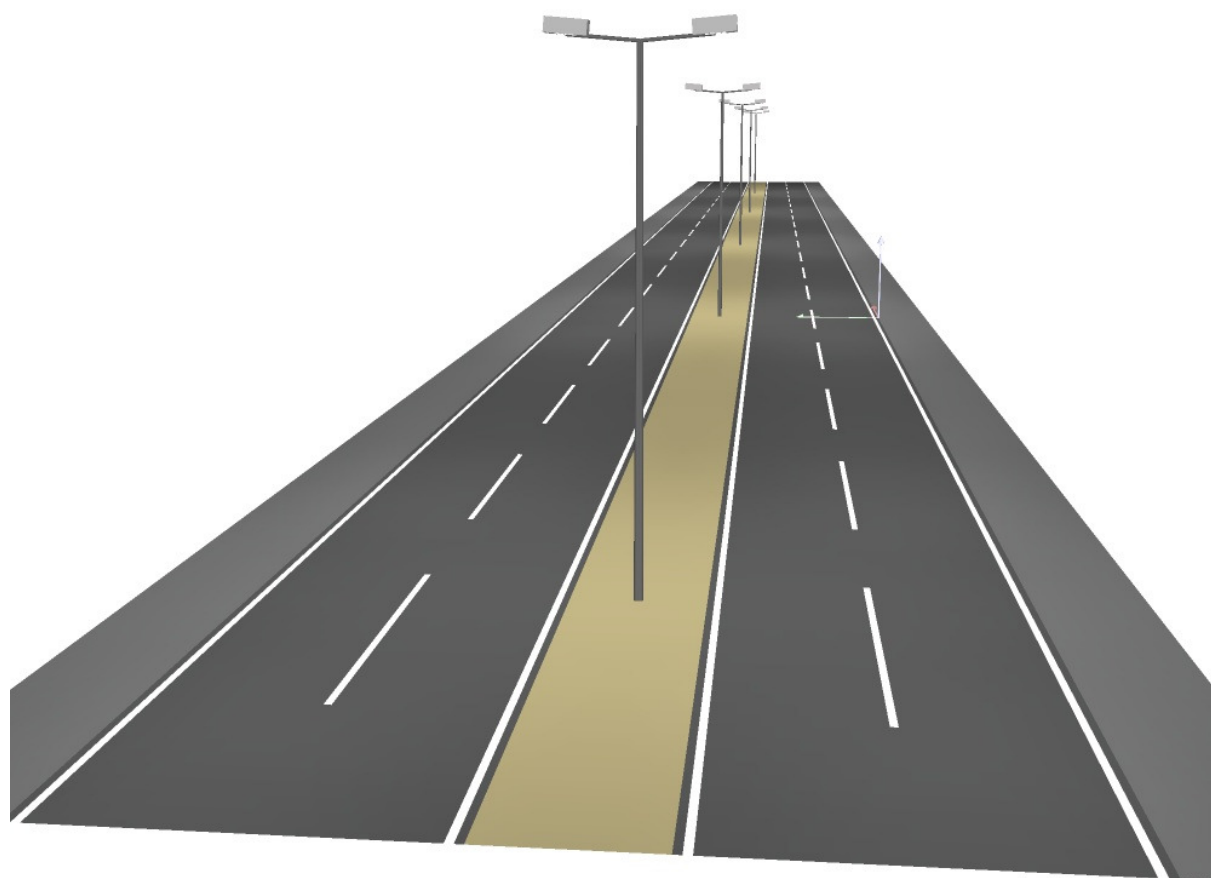
- 2 Recuadro de evaluación Calzada 2
 Longitud: 50.000 m, Anchura: 7.000 m
 Trama: 17 x 6 Puntos
 Elemento de la vía pública respectivo: Calzada 2.
 Revestimiento de la calzada: R2, q0: 0.070
 Clase de iluminación seleccionada: ME3a

(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

	L_m [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]	SR
Valores reales según cálculo:	1.2	0.6	0.7	12	0.8
Valores de consigna según clase:	≥ 1.0	≥ 0.4	≥ 0.7	≤ 15	≥ 0.5
Cumplido/No cumplido:	✓	✓	✓	✓	✓

Proyecto elaborado por
Teléfono
Fax
e-Mail

Calle 1 Axial / Rendering (procesado) en 3D



ANEJO 4. CÁLCULOS ELÉCTRICOS

ÍNDICE

1. OBJETO.....	1
2. EXPRESIONES DE CÁLCULO.....	1
2.1 Fórmulas generales.....	1
2.2 Fórmula conductividad eléctrica.....	2
2.3 Fórmulas sobrecargas.....	2
2.4 Fórmulas cortocircuito.....	3
2.5 Fórmulas resistencia tierra.....	5
2.5.1 Placa enterrada.....	5
2.5.2 Pica vertical.....	5
2.5.3 Conductor enterrado horizontalmente.....	5
2.5.4 Asociación en paralelo de varios electrodos.....	5
3. EJEMPLO DE CÁLCULO.....	6

1. OBJETO

En el capítulo 4 de las Recomendaciones para la Iluminación de Carreteras a Cielo Abierto 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.

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

El cálculo de las secciones en cada tramo de cada circuito se realizará considerando una caída de tensión máxima a origen del 3%, con secciones mínimas de 6 mm² en canalizaciones subterráneas y de 2,5 mm² 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 es de: $400 \times 3/100 = 12$ V.

Los cálculos se realizarán de acuerdo con las siguientes expresiones:

2.1 Fórmulas generales

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 mm^2 .
- Cosj = Coseno de j , factor de potencia.
- n = N° de conductores por fase.
- X_U = Reactancia por unidad de longitud en mW/m .

2.2 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°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°C .
 - Cables al aire= 40°C .
- T_{max} = Temperatura máxima admisible del conductor ($^\circ\text{C}$).
 - XLPE, EPR= 90°C .
 - PVC= 70°C .
- I = Intensidad prevista por el conductor (A).
- I_{max} = Intensidad máxima admisible del conductor (A).

2.3 Fórmulas sobrecargas

$$I_b \leq I_n \leq I_z$$

$$I_2 \leq 1,45 \cdot I_z$$

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_2 = Intensidad que asegura efectivamente el funcionamiento del dispositivo de protección. En la práctica I_2 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 ($1,6 I_n$).

2.4 Fórmulas cortocircuito

$$I_{pccI} = \frac{C_t \cdot U}{\sqrt{3} \cdot Z_t}$$

Siendo:

- I_{pccI} = 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 mm².
- X_U = Reactancia de la línea, en mohm por metro.
- n = N° de conductores por fase.

$$t_{mcc} = \frac{C_c \cdot S^2}{I_{pcc} F^2}$$

Siendo:

- t_{mcc} = 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 mm².
- $I_{pcc} F$ = 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 (mm²).
- 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: IMAG = 5 ln.
- CURVA C: IMAG = 10 ln.
- CURVA D Y MA: IMAG = 20 ln.

2.5 Fórmulas resistencia tierra

2.5.1 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).

2.5.2 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).

2.5.3 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).

2.5.4 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).

3. EJEMPLO DE CÁLCULO

Para una mejor comprensión de cómo deben aparecer los parámetros eléctricos que se deben calcular con las expresiones anteriores, a continuación se adjunta un ejemplo llamado Proyecto 1.

PROYECTO 1
ANEJO.....CÁLCULOS ELÉCTRICOS

1. Introducción. Objeto

En las Recomendaciones para la Iluminación de Carreteras a Cielo Abierto se establece que los proyectos de instalaciones que se redacten deben incluir los cálculos eléctricos correspondientes a la alternativa seleccionada.

El objeto de este anejo es exponer dichos cálculos eléctricos.

2. Características generales

Las características generales de la red son las siguientes:

- Tensión (V): Trifásica 400, Monofásica 230.
- C.d.t. máx.(%): 3
- Cosφ: 1
- Temperatura cálculo conductividad eléctrica (°C):
 - XLPE, EPR: 20.
 - PVC: 20.

3. Resultados de cálculo en ramas

Los resultados obtenidos para las distintas ramas se muestran en las siguientes tablas:

Línea	Nudo Origen	Nudo Destino	Longitud (m)	Metal/ Xu(mW/m)	Canalización/ Aislamiento/ Polar.	Intensidad Cálculo (A)	In/Ireg (A)	In/Sens. Dif(A/mA)	Sección (mm ²)	I. Admisi. (A)/Fc	D.tubo (mm)
1	CM-1	ARQ1-1	8	Cu	Ent.Bajo Tubo XLPE,0.6/1 kV 3 Unp.	2,34	10	25/30	4x6	57/1	90
8	CM-1	ARQ1-1	8	Cu	Ent.Bajo Tubo XLPE,0.6/1 kV 3 Unp.	2,73	10	25/30	4x6	57/1	90
16	CM-1	ARQ1-1	8	Cu	Ent.Bajo Tubo XLPE,0.6/1 kV 3 Unp.	3,51	10	25/30	4x6	57/1	90
	ARQ1-1	ARQ1-2	16	Cu	Ent.Bajo Tubo XLPE,0.6/1 kV 3 Unp.	3,51			4x6	57/1	90
24	CM-1	ARQ1-1	8	Cu	Ent.Bajo Tubo XLPE,0.6/1 kV 3 Unp.	4,29	10	25/30	4x6	57/1	90
	ARQ1-1	ARQ1-2	16	Cu	Ent.Bajo Tubo XLPE,0.6/1 kV 3 Unp.	4,29			4x6	57/1	90
	ARQ1-2	27	11	Cu	Ent.Bajo Tubo XLPE,0.6/1 kV 3 Unp.	4,29			4x6	57/1	90
31	31	33	25	Cu	Ent.Bajo Tubo XLPE,0.6/1 kV 3 Unp.	1,17			4x6	57/1	90
32	33	33	25	Cu	Ent.Bajo Tubo XLPE,0.6/1 kV 3 Unp.	0,78			4x6	57/1	90

Linea	Nudo Origen	Nudo Destino	Longitud (m)	Metal/ Xu(mW/m)	Canalización/ Aislamiento/ Polar.	Intensidad Cálculo (A)	In/lreg (A)	In/Sens. Dif(A/mA)	Sección (mm2)	I. Admisi. (A)/Fc	D.tubo (mm)
31	29	33	25	Cu	Ent.Bajo Tubo XLPE,0.6/1 kV 3 Unp.	2,34			4x6	57/1	90
32	33	31	25	Cu	Ent.Bajo Tubo XLPE,0.6/1 kV 3 Unp.	1,95			4x6	57/1	90
31	27	33	26	Cu	Ent.Bajo Tubo XLPE,0.6/1 kV 3 Unp.	3,51			4x6	57/1	90
32	33	29	23	Cu	Ent.Bajo Tubo XLPE,0.6/1 kV 3 Unp.	3,12			4x6	57/1	90
27	ARQ1-2	31	9	Cu	Ent.Bajo Tubo XLPE,0.6/1 kV 3 Unp.	3,51			4x6	57/1	90
28	31	20	25	Cu	Ent.Bajo Tubo XLPE,0.6/1 kV 3 Unp.	3,12			4x6	57/1	90
29	20	32	25	Cu	Ent.Bajo Tubo XLPE,0.6/1 kV 3 Unp.	2,34			4x6	57/1	90
30	32	22	25	Cu	Ent.Bajo Tubo XLPE,0.6/1 kV 3 Unp.	1,95			4x6	57/1	90
31	22	33	23	Cu	Ent.Bajo Tubo XLPE,0.6/1 kV 3 Unp.	1,17			4x6	57/1	90
32	33	24	26	Cu	Ent.Bajo Tubo XLPE,0.6/1 kV 3 Unp.	0,78			4x6	57/1	90
20	ARQ1-1	21	7	Cu	Ent.Bajo Tubo XLPE,0.6/1 kV 3 Unp.	2,34			4x6	57/1	90
21	21	22	25	Cu	Ent.Bajo Tubo XLPE,0.6/1 kV 3 Unp.	1,95			4x6	57/1	90
22	22	23	25	Cu	Ent.Bajo Tubo XLPE,0.6/1 kV 3 Unp.	1,56			4x6	57/1	90
23	23	24	25	Cu	Ent.Bajo Tubo XLPE,0.6/1 kV 3 Unp.	1,17			4x6	57/1	90
24	24	25	24	Cu	Ent.Bajo Tubo XLPE,0.6/1 kV 3 Unp.	0,78			4x6	57/1	90
25	25	26	25	Cu	Ent.Bajo Tubo XLPE,0.6/1 kV 3 Unp.	0,39			4x6	57/1	90
26	ARQ1-1	27	7	Cu	Ent.Bajo Tubo XLPE,0.6/1 kV 3 Unp.	2,73			4x6	57/1	90
27	27	28	24	Cu	Ent.Bajo Tubo XLPE,0.6/1 kV 3 Unp.	2,34			4x6	57/1	90
28	28	29	21	Cu	Ent.Bajo Tubo XLPE,0.6/1 kV 3 Unp.	1,95			4x6	57/1	90

Línea	Nudo Origen	Nudo Destino	Longitud (m)	Metal/ Xu(mW/m)	Canalización/ Aislamiento/ Polar.	Intensidad Cálculo (A)	In/Ireg (A)	In/Sens. Dif(A/mA)	Sección (mm ²)	I. Admisi. (A)/Fc	D.tubo (mm)
29	29	30	25	Cu	Ent.Bajo Tubo XLPE,0.6/1 kV 3 Unp.	1,56			4x6	57/1	90
30	30	31	25	Cu	Ent.Bajo Tubo XLPE,0.6/1 kV 3 Unp.	1,17			4x6	57/1	90
31	31	32	25	Cu	Ent.Bajo Tubo XLPE,0.6/1 kV 3 Unp.	0,78			4x6	57/1	90
32	32	33	26	Cu	Ent.Bajo Tubo XLPE,0.6/1 kV 3 Unp.	0,39			4x6	57/1	90

Tabla 1. Resultados de cálculo en ramas.

4. Resultados de cálculo en nudos

Los resultados obtenidos para los distintos nudos se muestran en las siguientes tablas:

Nudo	C.d.t.(V)	Tensión Nudo(V)	C.d.t.(%)	Carga Nudo
CM-1	0	400	0	(8.910 W)
ARQ1-1	-0,096	399,904	0,024	(0 W)
ARQ1-1	-0,112	399,888	0,028	(0 W)
ARQ1-1	-0,145	399,855	0,036	(0 W)
ARQ1-2	-0,434	399,566	0,108	(0 W)
20	-0,998	399,002	0,25	(-540 W)
22	-1,551	398,449	0,388	(-540 W)
24	-1,794	398,206	0,448	(-540 W)
ARQ1-1	-0,177	399,823	0,044	(0 W)
ARQ1-2	-0,53	399,47	0,133	(0 W)
27	-0,773	399,227	0,193	(-540 W)
29	-1,613	398,387	0,403	(-540 W)
31	-2,166	397,834	0,541	(-540 W)
33	-2,417	397,583	0,604*	(-540 W)
33	-2,316	397,684	0,579	(-270 W)
33	-1,915	398,085	0,479	(-270 W)
33	-1,244	398,756	0,311	(-270 W)
31	-0,597	399,403	0,149	(-270 W)
32	-1,3	398,7	0,325	(-270 W)
33	-1,69	398,31	0,422	(-270 W)
21	-0,181	399,819	0,045	(-270 W)
22	-0,432	399,568	0,108	(-270 W)
23	-0,633	399,367	0,158	(-270 W)
24	-0,783	399,217	0,196	(-270 W)
25	-0,88	399,12	0,22	(-270 W)
26	-0,93	399,07	0,233	(-270 W)

Nudo	C.d.t.(V)	Tensión Nudo(V)	C.d.t.(%)	Carga Nudo
27	-0,211	399,789	0,053	(-270 W)
28	-0,5	399,5	0,125	(-270 W)
29	-0,711	399,289	0,178	(-270 W)
30	-0,912	399,088	0,228	(-270 W)
31	-1,063	398,937	0,266	(-270 W)
32	-1,163	398,837	0,291	(-270 W)
33	-1,215	398,785	0,304	(-270 W)

Tabla 2. Resultados de cálculo en nudos.

* Nudo de mayor c.d.t.

5. Caídas de tensión

La caída de tensión en los distintos itinerarios será:

- CM-1-ARQ1-1-ARQ1-2-31-20-32-22-33-24 = 0.45%
- CM-1-ARQ1-1-ARQ1-2-27-33-29-33-31-33-33 = 0.6%
- CM-1-ARQ1-1-21-22-23-24-25-26 = 0.23%
- CM-1-ARQ1-1-27-28-29-30-31-32-33 = 0.3%

6. Cortocircuito

Los resultados de cortocircuito se muestran en la siguiente tabla:

Línea	Nudo Orig.	Nudo Dest.	IpccI (kA)	P de C (kA)	IpccF(A)	tmcicc (sg)	tficc (sg)	In;Curvas
1	CM-1	ARQ1-1	12	15	2.135,33	0,16		10; B,C
8	CM-1	ARQ1-1	12	15	2.135,33	0,16		10; B,C
16	CM-1	ARQ1-1	12	15	2.135,33	0,16		10; B,C
	ARQ1-1	ARQ1-2	4,29		920,34	0,87		
24	CM-1	ARQ1-1	12	15	2.135,33	0,16		10; B,C
	ARQ1-1	ARQ1-2	4,29		920,34	0,87		
	ARQ1-2	27	1,85		660,95	1,69		
31	31	33	0,38		158,09	29,45		
32	33	33	0,32		137,06	39,19		
31	29	33	0,59		228,07	14,15		
32	33	31	0,46		186,74	21,11		
31	27	33	1,33		396,56	4,68		
32	33	29	0,8		292,89	8,58		
27	ARQ1-2	31	1,85		696,66	1,52		
28	31	20	1,4		415,76	4,26		
29	20	32	0,83		296,26	8,39		
30	32	22	0,59		230,11	13,9		
31	22	33	0,46		190,89	20,2		
32	33	24	0,38		160,06	28,74		
20	ARQ1-1	21	4,29		1.354,64	0,4		
21	21	22	2,72		585,86	2,14		

Linea	Nudo Orig.	Nudo Dest.	I _{pccI} (kA)	P de C (kA)	I _{pccF} (A)	t _{mcc} (sg)	t _{ficc} (sg)	In;Curvas
22	22	23	1,18		373,57	5,28		
23	23	24	0,75		274,19	9,79		
24	24	25	0,55		218,4	15,43		
25	25	26	0,44		180,21	22,67		
26	ARQ1-1	27	4,29		1.354,64	0,4		
27	27	28	2,72		599,48	2,05		
28	28	29	1,2		402,76	4,54		
29	29	30	0,81		289,6	8,78		
30	30	31	0,58		226,07	14,4		
31	31	32	0,45		185,4	21,42		
32	32	33	0,37		156,17	30,18		

Tabla 3. Resultados de cálculo de cortocircuito.

7. Puesta a tierra

- La resistividad del terreno es 300 ohmios·m.
- El electrodo en la puesta a tierra, se constituye con los siguientes elementos:
 - M conductor de Cu desnudo: 35 mm²/ 4.237 m.
 - M conductor de Acero galvanizado: 95 mm².
 - Picas verticales de Cobre: 14 mm.
 - de Acero recubierto Cu: 14 mm: 161 picas de 1m, 6 picas de 2m.
 - de Acero galvanizado: 25 mm.

Con lo que se obtendrá una resistencia de tierra de 0,12 ohmios.

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 la gama).....	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 de 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 un 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 válido 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 mm².
- Prensaestopas de poliamida PG-29 para cada línea de salida.
- Bornes de conexión de líneas de salidas de mínimo 35 mm².

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 de 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.

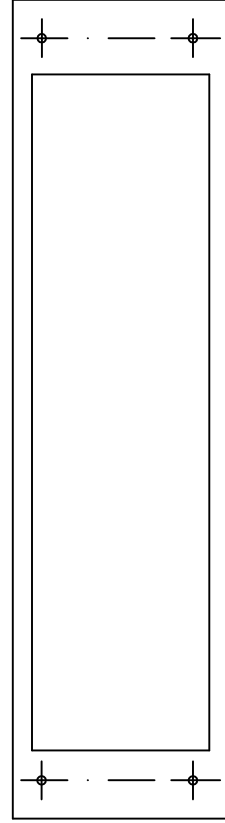
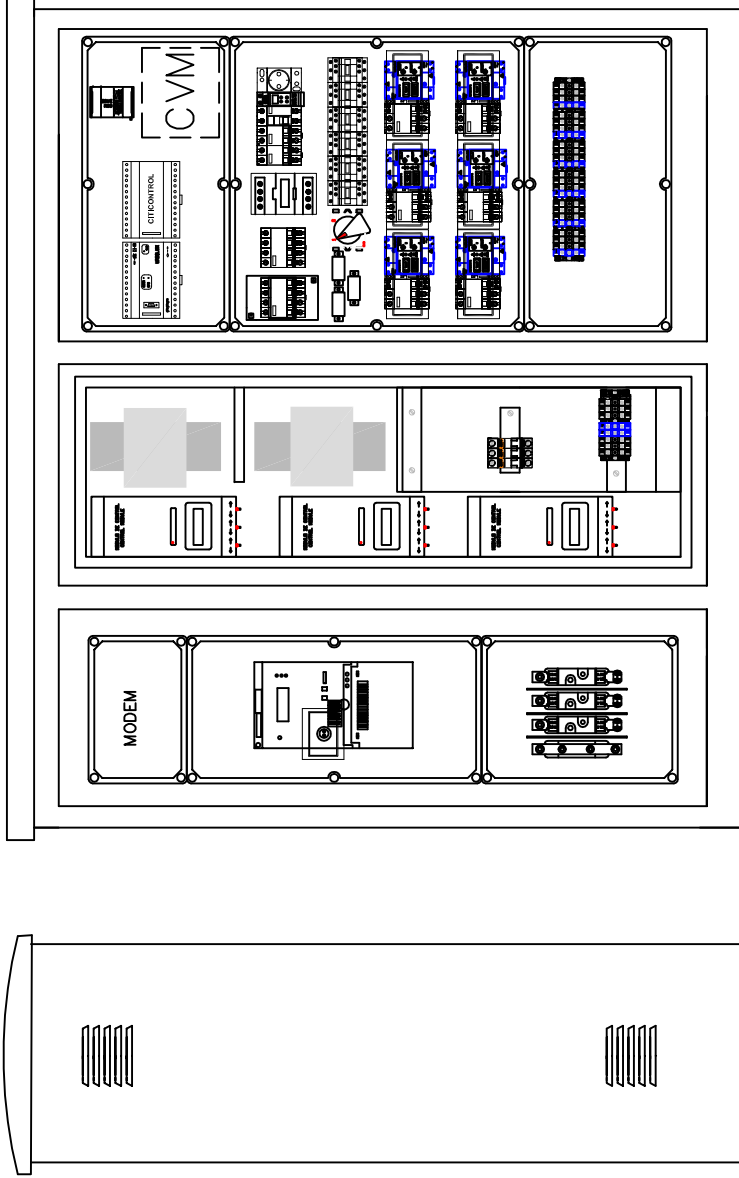
7.6 Módulo del Sistema de Mando y Control Centralizado

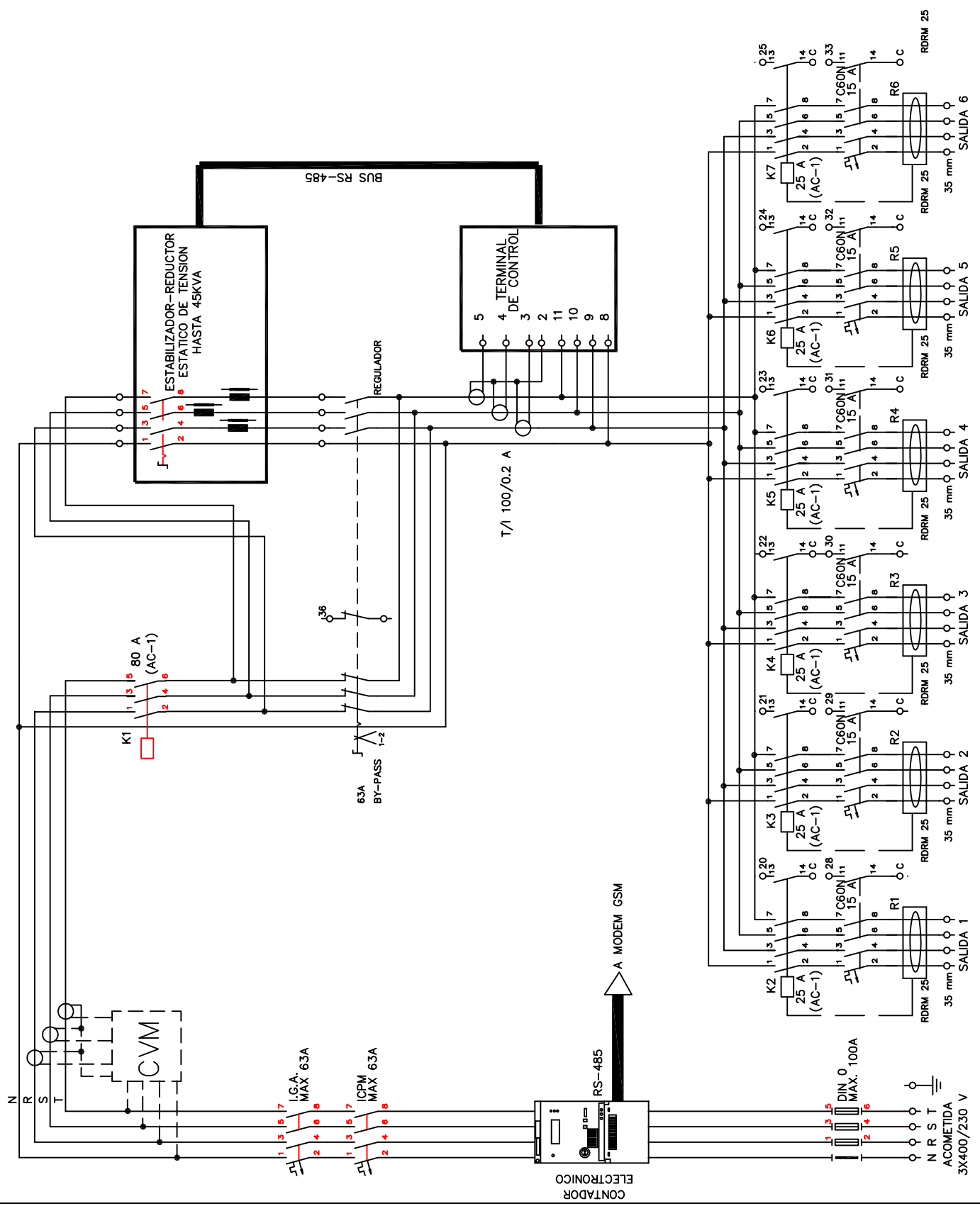
- Los centros de mando deben disponer de terminales de control y comunicaciones.
- Deben disponer de los accesorios eléctricos y el cableado auxiliar necesario para el correcto funcionamiento del control centralizado.
- El sistema debe ser abierto, multipuesto, sin gastos de programa informático, con el mínimo coste de explotación.
- Las características de los terminales de control centralizado serán:
 - Dispondrán de comunicaciones compatibles con módems GSM/GPRS.
 - Debe 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 1 mes de funcionamiento de la instalación.
 - Canal de comunicación RS232 ó 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

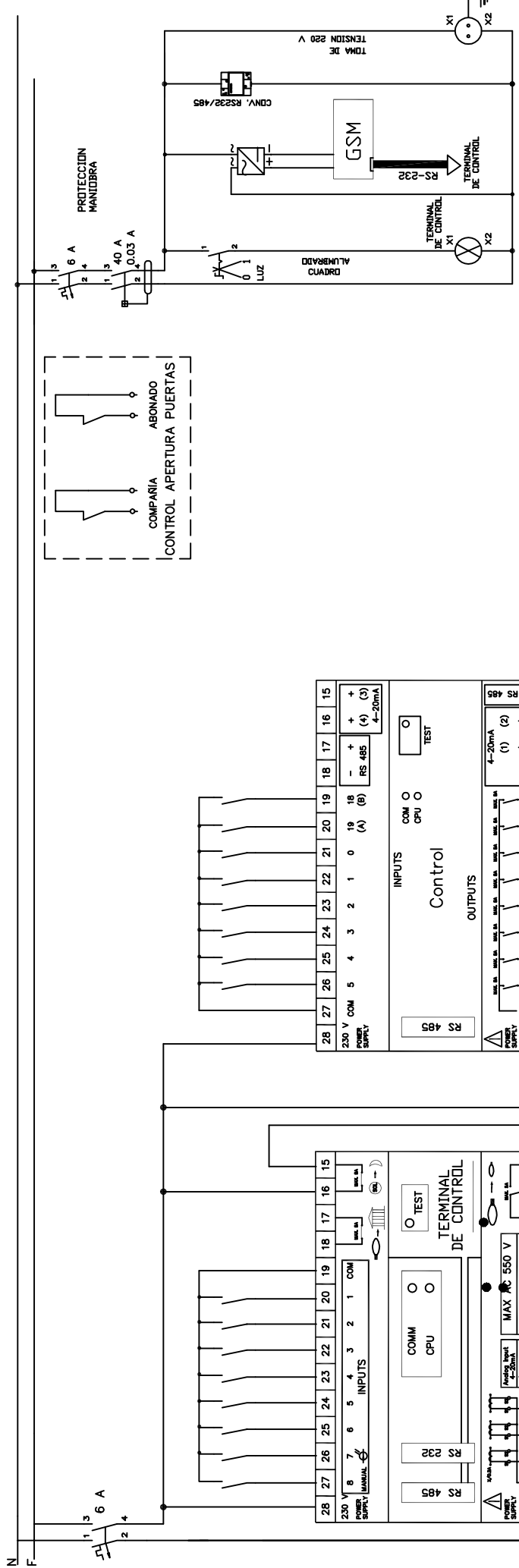
A continuación se adjuntan planos topográficos, de esquemas de potencia y de esquemas de mando de los tres tipos de cuadros de alumbrado contemplados, que son los siguientes:

- 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 III: Hasta 80 kW 400 V Hasta 12 salidas con diferenciales rearmables.

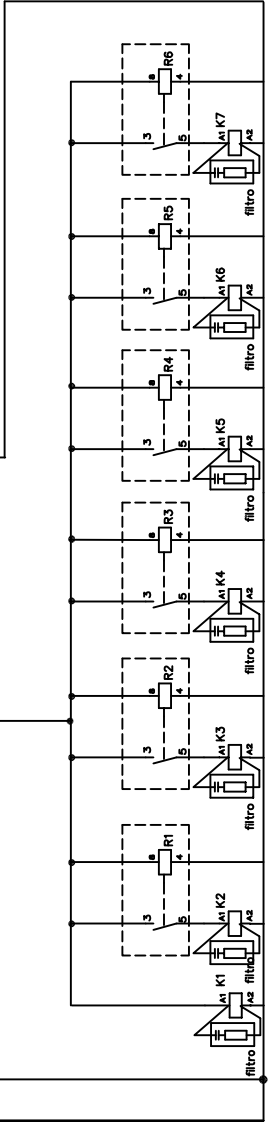
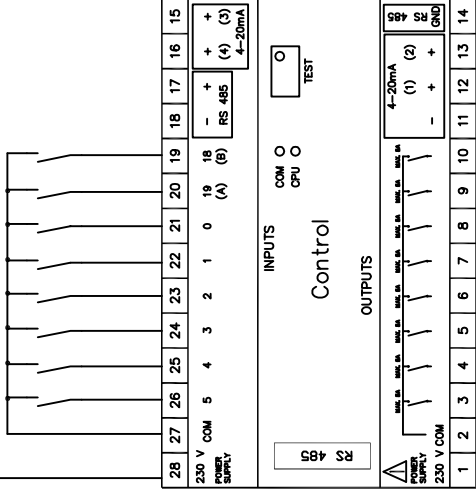
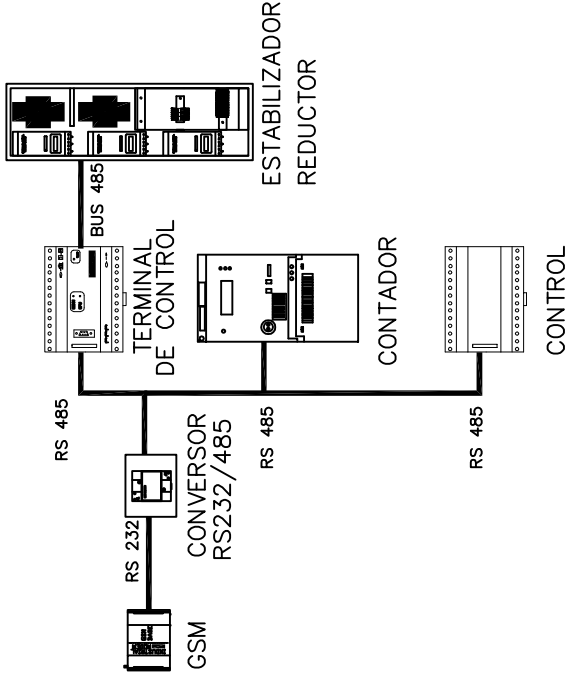


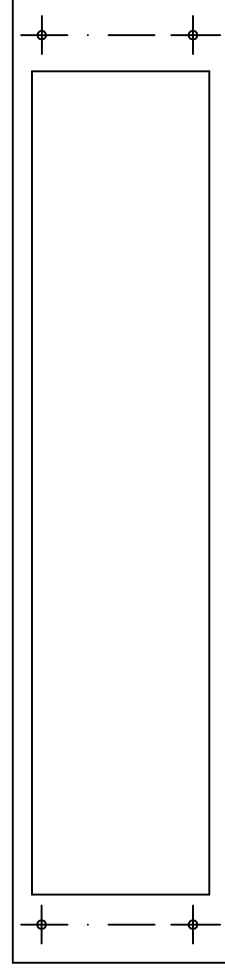
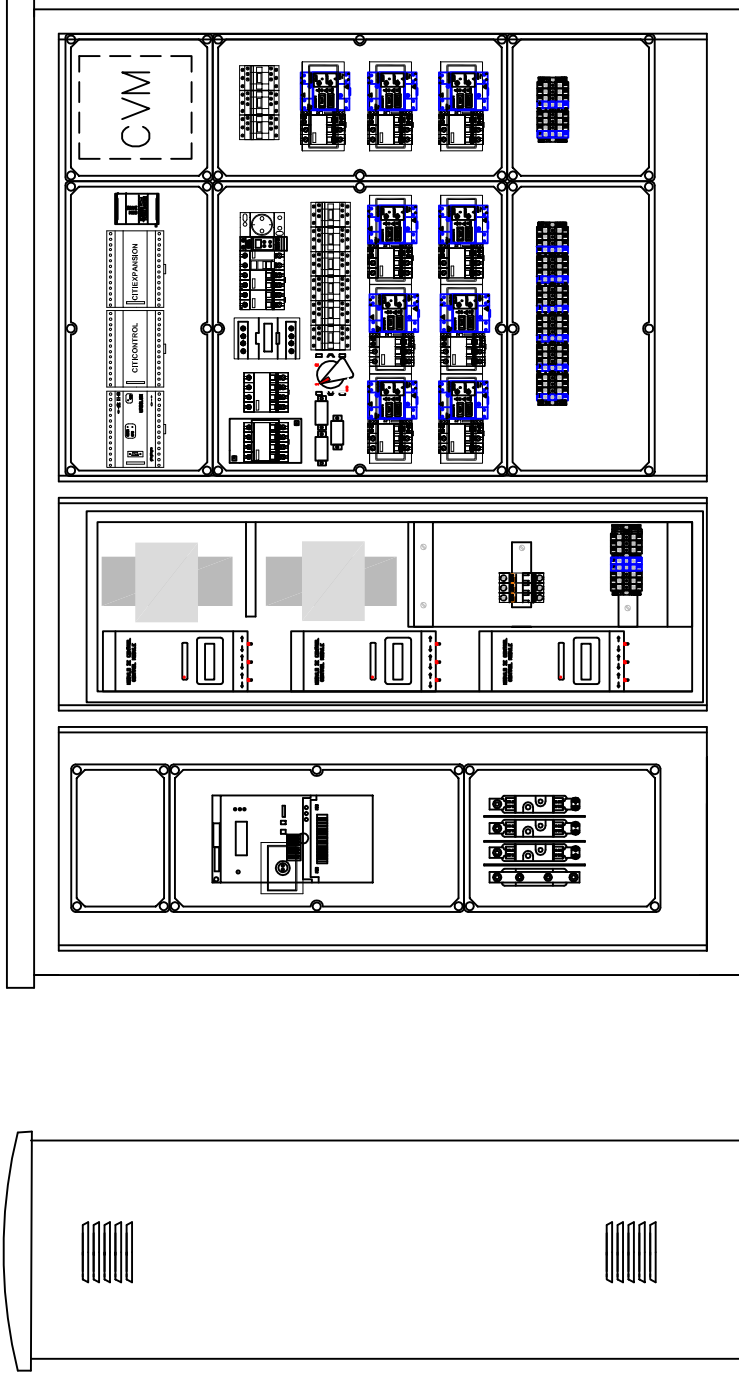


CALCULADO		CLIENTE		N°		DESIGNACION	
DIBUJADO		TITULO				CUADRO TIPO I	
COMPROBADO						ESQUEMA DE POTENCIA	
						HOJA N°	
						PLANO N°	



SISTEMA DE COMUNICACIONES





CUADRO TIPO II
PLANTA Y ALZADO

DESIGNACION

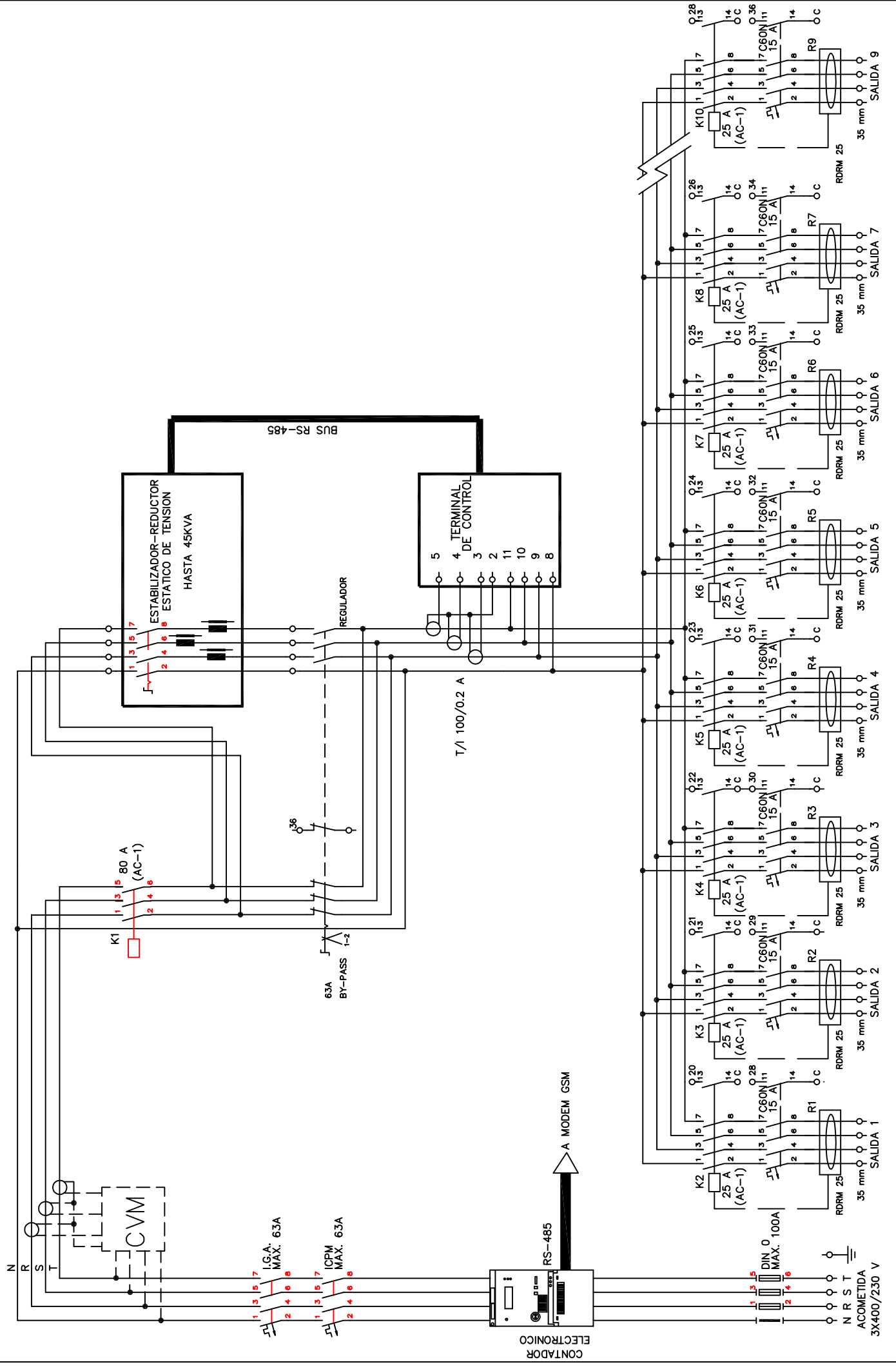
CLIENTE:

TITULO

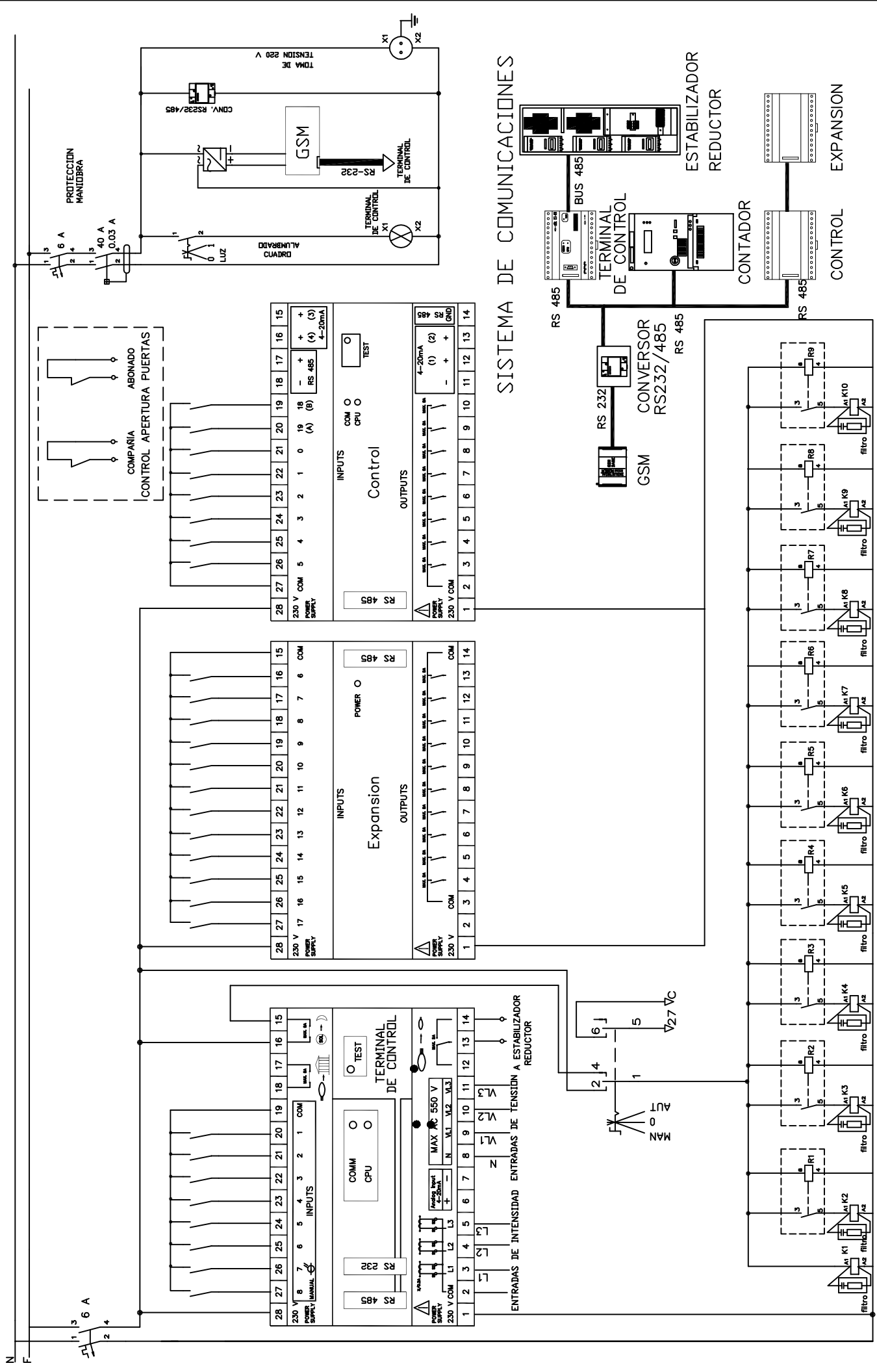
CALCULADO

DIBUJADO

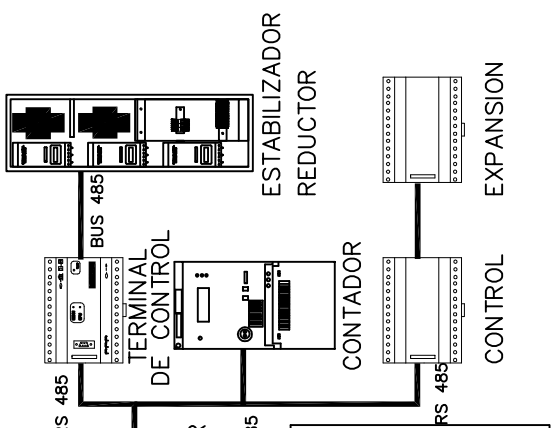
COMPROBADO

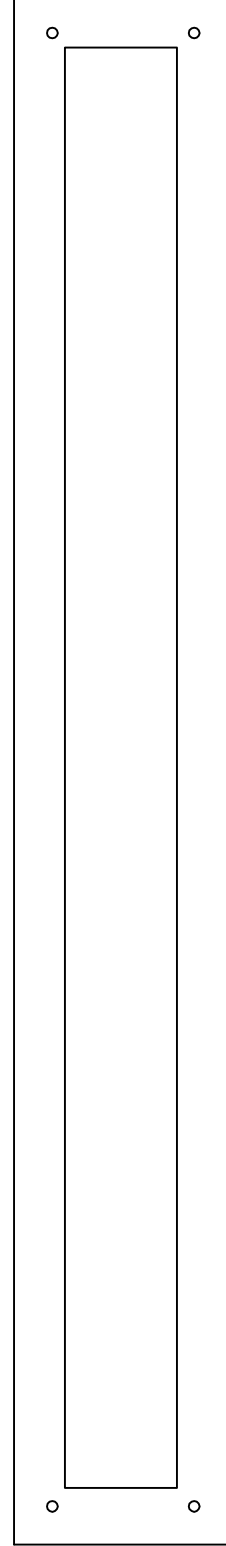
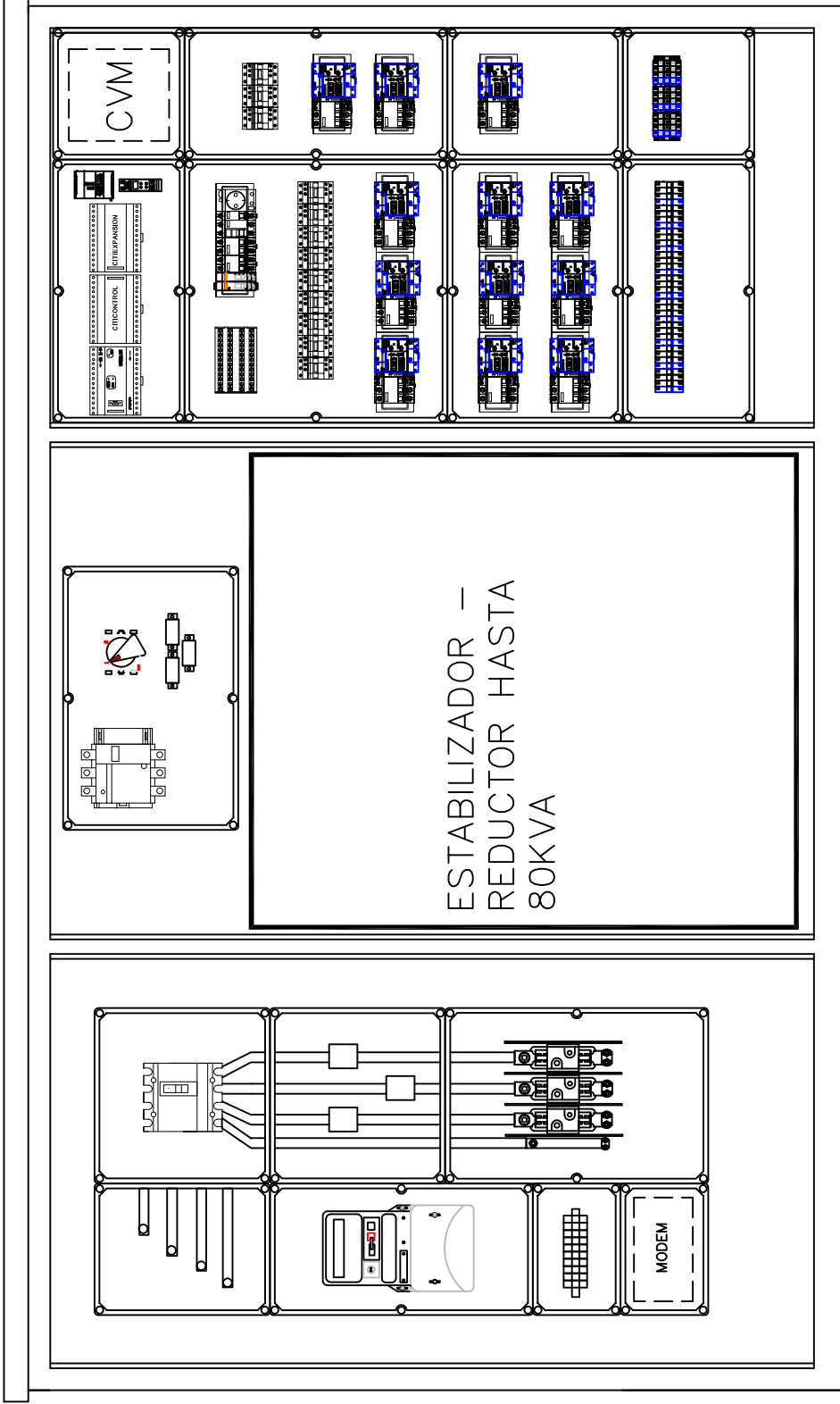


CALCULADO		CLIENTE		DESIGNACION		HOJA N°	
DIBUJADO	09/06	TITULO		CUADRO TIPO II			
COMPROBADO	09/06	D.A.N.		ESQUEMA DE POTENCIA			
		J.U.P.					
		N°					

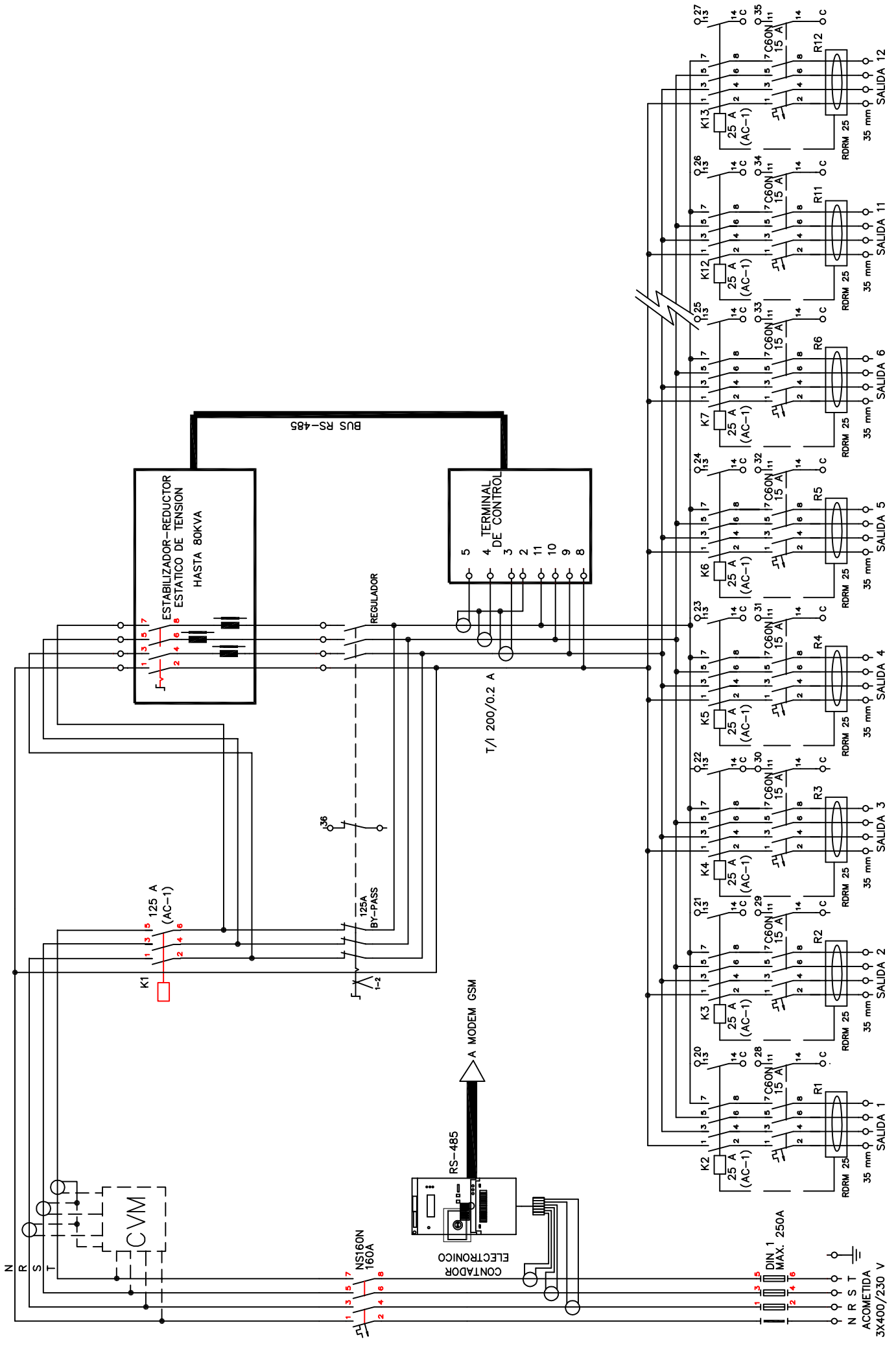


SISTEMA DE COMUNICACIONES

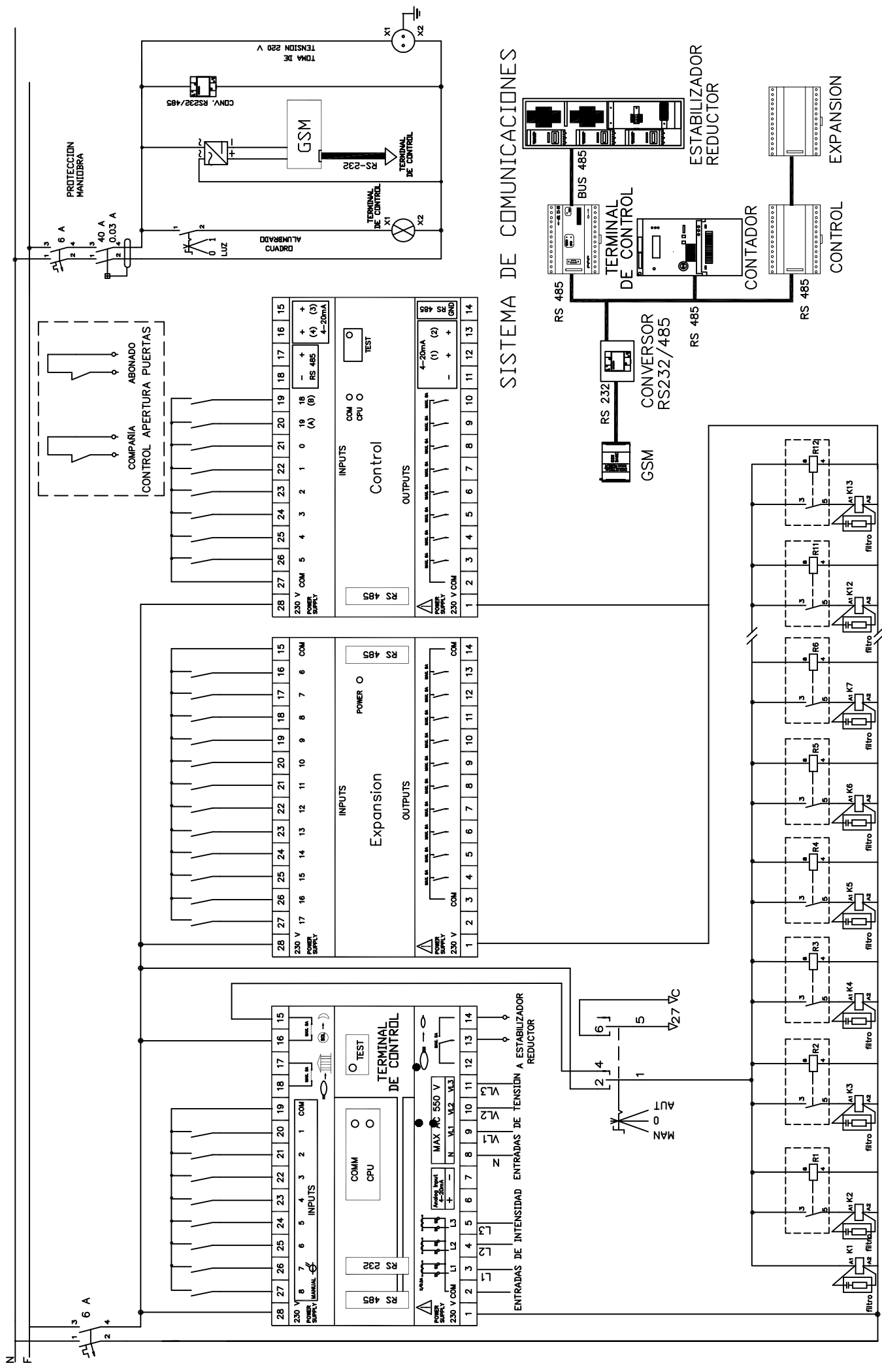




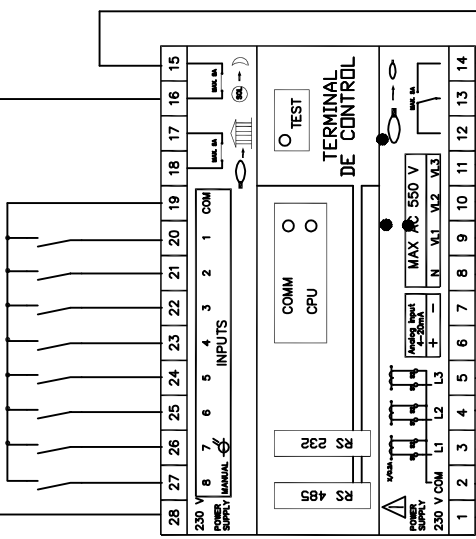
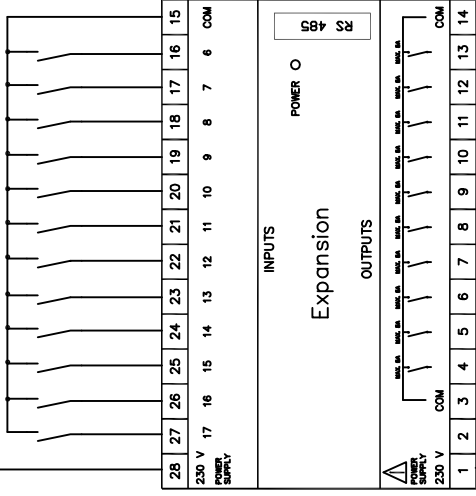
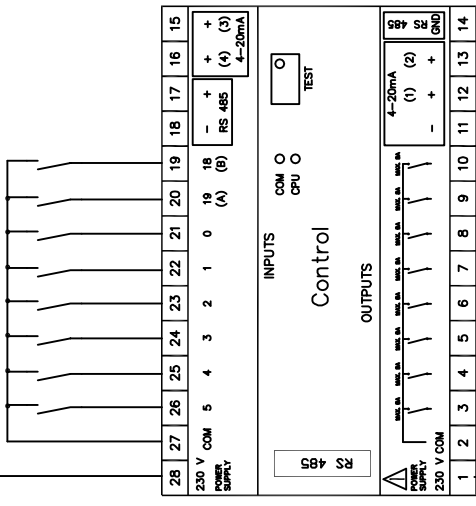
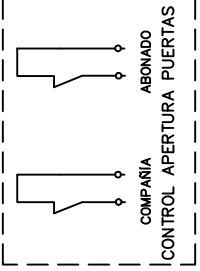
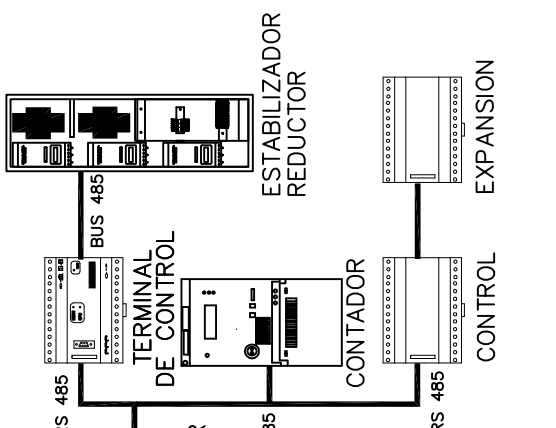
CALCULADO	DIBUJADO	COMPROBADO	TITULO	DESIGNACION	CUADRO TIPO III	HOJA N° 1 / 1
					PLANTA Y ALZADO	PLANO N°



CALCULADO		CLIENTE		DESIGNACION		HOJA N°	
DIBUJADO		TITULO		CUADRO TIPO III		PLANO N°	
COMPROBADO		N°		ESQUEMA DE POTENCIA			



SISTEMA DE COMUNICACIONES



ANEJO 6. 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 Carreteras a Cielo Abierto 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 diferente nivel lumínico de cada alternativa, que en VSAP es del orden de 4 cd/m^2 para la solución propuesta y en LED alrededor de 2 cd/m^2 , ambas viables. El análisis tiene pues una finalidad didáctica exclusivamente.

**PROYECTO DE NUEVA CONSTRUCCIÓN DE LA
INSTALACIÓN DE ALUMBRADO EN LA AUTOVÍA A-4.**

TRAMO DEL P.K. 5+000 AL P.K. 12+000

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 Carreteras a Cielo Abierto 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 de un tramo del tronco de la autovía A-4, entre los PP.KK. 5+000 y 12+000, es decir tiene 7 km de longitud. A lo largo del tramo se pueden distinguir varias secciones tipo:

- PP.kk. 5+000 – 6+000: consta de dos calzadas separadas por una barrera New Jersey a doble cara; cada calzada consta de cuatro carriles de 3,30 m de anchura cada uno y arcenes interior y exterior de aproximadamente 1,00 y 2,50 m respectivamente.
- PP.kk. 6+000 – 6+350: consta de dos calzadas separadas por una barrera New Jersey a doble cara; cada calzada consta de tres carriles de 3,30 m de anchura cada uno y arcenes interior y exterior de aproximadamente 1,00 y 2,50 m respectivamente.
- PP.kk. 6+350 – 6+700: consta de dos calzadas cuyo trazado no discurre en paralelo; cada calzada consta de tres carriles de 3,50 m de anchura cada uno y arcenes interior y exterior de aproximadamente 1,00 y 3,00 m respectivamente.
- PP.kk. 6+700 – 7+700: consta de dos calzadas separadas por una mediana de tierra de ancho variable; cada calzada consta de dos carriles de 3,50 m de anchura cada uno y arcenes interior y exterior de aproximadamente 0,50 y 2,50 m respectivamente.
- PP.kk. 7+700 – 9+200: consta de dos calzadas separadas por una barrera New Jersey a doble cara; cada calzada consta de dos carriles de 3,50 m de anchura cada uno y arcenes interior y exterior de aproximadamente 0,50 y 2,50 m respectivamente.
- PP.kk. 9+200 – 12+000: consta de dos calzadas separadas por una barrera New Jersey a doble cara; cada calzada consta de dos carriles de 3,50 m de anchura cada uno y arcén interior de 0,50 m y arcén exterior de ancho variable entre 2,00 y 3,00 m.

Como se puede ver en el resto de apartados del proyecto, se han planteado dos soluciones posibles. La alternativa 1 utiliza como fuente de luz lámparas de vapor de sodio alta presión (VSAP) y la alternativa 2, LEDS.

En la alternativa 1, instalación proyectada con lámparas de VSAP, la potencia de éstas es de 400 W, los báculos tienen una altura de 12 m y su interdistancia media es de 40-50 m. Con esta solución está previsto instalar 277 puntos de luz.

En la alternativa 2, instalación proyectada con LEDS, la potencia de éstos es de 210 W, los báculos tienen una altura de 10,00 m y su interdistancia media es de 35-45 m. Con esta solución está previsto instalar 349 puntos de luz, que están equipados para poder explotarlos mediante telegestión.

En el resto de aspectos ambas alternativas tienen las mismas características, que son las siguientes:

- La instalación dispone de 5 puntos de acometida desde los cuales se realiza la distribución en baja tensión a los puntos de luz. Cada uno de estos puntos consta de

acometida, centro de entrega, transformador y cuadro de mando. Dispondrán de reductor de flujo en el caso de VSAP.

- La distribución desde los cuadros hasta los puntos de luz se realiza mediante canalización subterránea con una sección de 40 cm de ancho y 71 cm de alto. Los cruces de las calzadas se realizarán mediante tuberías hincadas.
- En cada punto de luz se ha dispuesto una arqueta para la conexión del punto de luz a la línea de distribución, la cual está conectada con los tubos insertados en la cimentación del báculo para facilitar la conexión de la luminaria.

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 es el siguiente:

PRESUPUESTO ALTERNATIVA VSAP		
Capítulo	Descripción	Importe (€)
1	Obra Civil	1.032.619,75
2	Instalación Eléctrica	891.755,25
3	Seguridad y Salud	20.000,00
Total Presupuesto de Ejecución Material (PEM)		1.944.375,00
	17% Gastos generales	330.543,75
	6% Beneficio industrial	116.662,50
Suma		2.391.581,25
	18% IVA	430.484,63
PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN (PBL)		2.822.065,88

Tabla 1. Presupuesto alternativa 1 (VSAP).

PRESUPUESTO ALTERNATIVA LED		
Capítulo	Descripción	Importe (€)
1	Obra Civil	1.060.732,85
2	Instalación Eléctrica	1.048.985,81
3	Seguridad y Salud	20.000,00
Total Presupuesto de Ejecución Material (PEM)		2.129.718,66
	17% Gastos generales	362.052,17
	6% Beneficio industrial	127.783,12
Suma		2.619.553,95
	18% IVA	471.519,71
PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN (PBL)		3.091.073,66

Tabla 2. Presupuesto alternativa 2 (LED).

4. Determinación de los gastos de consumo energético

El consumo de energía total anual de la instalación de alumbrado se obtiene:

- Potencia instalada (kW): es la suma de las potencias de todas las lámparas de la instalación más las de los equipos auxiliares.
- Número anual de horas de funcionamiento: varía en función de las horas de luz diurna, siendo mayor el periodo de encendido en invierno y menor en verano. Para la presente instalación, los periodos de funcionamiento serán:
 - Enero-Febrero: 18:30 a 8:00 horas.
 - Marzo-Abril: 20:30 a 7:30 horas.
 - Mayo-Agosto: 21:30 a 6:30 horas.
 - Septiembre-Octubre: 20:30 a 7:30 horas.
 - Noviembre-Diciembre: 18:30 a 8:00 horas.

Lo que significa un total de 4.069 horas de funcionamiento al año.
- Plan de explotación: Dadas las diferentes características de regulación y de iluminación existentes entre el VSAP y el LED se definen dos planes de explotación distintos para cada alternativa. En el plan de explotación se definen los niveles luminosos que se van a aplicar en cada franja horaria en función de la IMD y la luz solar existente en cada una de ellas. El plan de explotación para las características de tráfico de la carretera, se estima que debe ser el siguiente:
 - Alternativa 1 VSAP.
 - Entre las 24 h y las 6 h: nivel luminoso reducido al 70%.
 - Resto del tiempo: nivel luminoso al 100%.
 - Alternativa 2 LED.
 - Entre las 24 h y la 2 h y entre las 4 h y las 6 h: nivel luminoso reducido al 70%.
 - Entre las 2 h. y las 4 h: nivel luminoso reducido al 25%
 - Resto del tiempo: nivel luminoso al 100%
- Consumo teórico (kWh): es el producto de la potencia en funcionamiento por el número anual de horas correspondiente, 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 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 = 277 ud. x 400 W/ud. x 1,10 = 121.880 W = 121,88 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).
- Número de horas de funcionamiento = 4.069 h, obtenido a partir del plan de explotación.
- Consumo teórico (potencia instalada x nº de horas en cada régimen de funcionamiento) = 121,88 kW x 1,07 x [123 días/año (mayo-agosto) x (6h x 70% + 3h x 100%) + 61 días/año (marzo-abril) x (6h x 70% + 5h x 100%) + 120 días/año (noviembre-febrero) x (6h x 70% + 7,5h x 100%) + 61 días/año (septiembre-octubre) x (6h x 70% + 5h x 100%)] = 444.964,38 kWh/año (se ha multiplicado por 1,07 para considerar las pérdidas de la instalación).
- Coste fijo: 121,88 kW x 1,07 x 2,51 €/mes y kW x 12 meses/año= 3.927,99 €/año.
- Coste variable: 444.964,38 kWh/año x 0,12 €/kWh = 53.395,73 €/año.

Para la alternativa 2 LED, se obtiene lo siguiente:

- Potencia instalada = 349 ud. x 210 W/ud. x 1,10 = 80.619 W = 80,6 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).
- Número de horas de funcionamiento = 4.069 h, obtenido a partir del plan de explotación.
- Consumo teórico (potencia instalada x nº de horas en cada régimen de funcionamiento) = 80,6 kW x 1,07 x [123 días/año (mayo-agosto) x (2h. x 25% + 4h x 70% + 3h x 100%) + 61 días/año (marzo-abril) x (2h x 25% + 4h x 70% + 5h x 100%) + 120 días/año (noviembre-febrero) x (2h x 25% + 4h x 70% + 7,5h x 100%) + 61 días/año (septiembre-octubre) x (2h x 25% + 4h x 70% + 5h x 100%)] = 265.989,89 kWh/año. (se ha multiplicado por 1,07 para considerar las pérdidas de la instalación).
- Coste fijo: 80,6 kW x 1,07 x 2,51 €/mes y kW x 12 meses/año= 2.597,60 €/año.
- Coste variable: 265.989,89 kWh/año x 0,12 €/kWh = 31.918,79 €/año.

Los costes de explotación anuales finales de cada alternativa son los siguientes:

- Alternativa 1 VSAP: 3.927,99 €/año + 53.395,73 €/año = 57.323,72 €/año.
- Alternativa 2 LED: 2.597,60 €/año + 31.918,79 €/año = 34.516,39 €/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 1 hora x 365 días/año con una furgoneta.
- 2 operarios 50 días/año con un camión cesta.

Que suponen un coste anual de 33.598 €, 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 50 luminarias al día, resulta un coste unitario de 12 €/ud.

- Alternativa 1. Se considera necesaria una limpieza anual de cada una de las luminarias de VSAP: $277 \text{ ud./año} \times 12 \text{ €/ud.} = 3.324 \text{ €/año}$.
- Alternativa 2. Las luminarias LED requieren menor mantenimiento, por lo que se considera necesaria su limpieza cada dos años. En el caso de estudio: $0,5 \times 349 \text{ ud./año} \times 12 \text{ €/ud.} = 2.094 \text{ €/año}$.

5.1.3 Reposición de lámparas y equipos al final de su vida útil.

- Alternativa 1. La vida útil de las lámparas VSAP es de 5 años aproximadamente (20.000 horas). Teniendo en cuenta que el periodo de estudio es de 20 años, será necesario sustituirlas tres 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 10 años, una vez en el periodo. Tomando como coste de sustitución de lámparas VSAP 31 €, el coste total de sustitución de las lámparas será: $277 \text{ ud.} \times 31 \text{ €/ud.} \times 3 = 25.761 \text{ €}$, que se acometerá en tres desembolsos de 8.587 € en los años 5, 10 y 15. El coste de sustitución de elementos auxiliares será de $277 \text{ ud.} \times 35 \text{ €/ud.} = 9.695 \text{ €}$. Estos costes están calculados para el año 1, por lo que es necesario aplicarles la inflación, estimada en un 3% anual.
- Alternativa 2. Debido a que el periodo de estudio, que es de 20 años, coincide aproximadamente con la vida útil de las lámparas LED (60.000 horas funcionando al 100%, hay que tener en cuenta que de las 4.069 horas de funcionamiento anuales sólo el 46% del tiempo lo hace al 100%), no será necesario reponerlas durante el periodo de estudio. En cuanto a los equipos auxiliares son válidas las estimaciones hechas en la alternativa 1: $349 \text{ ud.} \times 35 \text{ €/ud.} = 12.215 \text{ €}$. 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 31 €, los costes resultantes son: $0,01 \times 277 \text{ ud./año} \times 31 \text{ €/ud.} = 85,87 \text{ €/año}$.

- 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: $0,002 \times 349 \text{ ud./año} \times 850 \text{ €/ud.} = 593,3 \text{ €/año}$.

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: $0,005 \times 277 \text{ ud./año} \times 35 \text{ €/ud.} = 48,47 \text{ €/año}$.
- Alternativa 2: $0,005 \times 349 \text{ ud./año} \times 35 \text{ €/ud.} = 61,07 \text{ €/año}$.

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: $33.598 \text{ €/año} + 3.324 \text{ €/año} + 85,87 \text{ €/año} + 48,47 \text{ €/año} = 37.056,34 \text{ €/año}$. Además se acometerán tres desembolsos de 8.587 € en los años 5, 10 y 15 y otro de 9.695 € en el año 10, 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. LED: $33.598 \text{ €/año} + 2.094 \text{ €/año} + 593,3 \text{ €/año} + 61,07 \text{ €/año} = 36.346,37 \text{ €/año}$. Además se acometerá un desembolso de 12.215 € en el año 10 correspondiente a la reposición de equipos auxiliares el 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: 2.391.581,25 €.
- Alternativa 2 LED: 2.619.553,95 €.

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: 3.927,99 €/año + 53.395,73 €/año = 57.323,72 €/año.
- Alternativa 2 LED: 2.597,60 €/año + 31.918,79 €/año = 34.516,39 €/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: 33.598 €/año + 3.324 €/año + 85,87 €/año + 48,47 €/año = 37.056,34 €/año. Para el resto de los años, se considera que los gastos de mantenimiento se incrementan con la inflación en un 3%. Además se acometerán tres desembolsos de 8.587 € en los años 5, 10 y 15 y otro de 9.695 € en el año 10.
- Alternativa 2. LED: 33.598 €/año + 2.094 €/año + 593,3 €/año + 61,07 €/año = 36.346,37 €/año. Para el resto de los años, se considera que los gastos de mantenimiento se incrementan con la inflación en un 3%. Además se acometerá un desembolso de 12.215 € en el año 10.

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: 3.927.657 €.
- VAN Alternativa 2 LED: 3.747.157 €.

PROYECTO DE NUEVA CONSTRUCCIÓN

ALTERNATIVA 1 VSAP

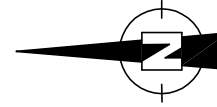
FLUJOS ECONÓMICOS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	TOTAL	VAN
	2012	2013	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031		
INVERSIÓN																							
Coste de las obras	2.391.581	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.391.581	2.391.581
TOTAL INVERSIÓN:	2.391.581	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.391.581	2.391.581
GASTOS DE EXPLOTACIÓN																							
Consumos eléctricos	0	57.324	59.043	60.815	62.639	64.518	66.454	68.448	70.501	72.616	74.794	77.038	79.349	81.730	84.182	86.707	89.308	91.988	94.747	97.590	100.517	1.540.310	915.161
TOTAL GASTOS DE EXPLOTACIÓN:	0	57.324	59.043	60.815	62.639	64.518	66.454	68.448	70.501	72.616	74.794	77.038	79.349	81.730	84.182	86.707	89.308	91.988	94.747	97.590	100.517	1.540.310	915.161
GASTOS DE MANTENIMIENTO																							
Mantenimiento preventivo																							
Revisiones y mediciones	0	33.598	34.606	35.644	36.713	37.815	38.949	40.118	41.321	42.561	43.838	45.153	46.507	47.903	49.340	50.820	52.345	53.915	55.532	57.198	58.914	902.791	536.385
Limpeza de luminarias	0	3.324	3.424	3.526	3.632	3.741	3.853	3.969	4.088	4.211	4.337	4.467	4.601	4.739	4.881	5.028	5.179	5.334	5.494	5.659	5.829	89.317	53.067
Reposición de lámparas al final de su vida útil	0	0	0	0	0	9.955	0	0	0	0	11.540	0	0	0	0	13.378	0	0	0	0	0	34.873	21.320
Reposición de equipos al final de su vida útil	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13.029	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13.029	7.999
Mantenimiento correctivo																							
Reposición de lámparas averiadas	0	86	88	91	94	97	100	103	106	109	112	115	119	122	126	130	134	138	142	146	151	2.307	2.307
Reposición de equipos auxiliares	0	48	50	51	53	55	56	58	60	61	63	65	67	69	71	73	76	78	80	83	85	1.302	1.302
TOTAL GASTOS DE MANTENIMIENTO:	0	37.056	38.168	39.313	40.492	41.662	42.958	44.247	45.575	46.942	48.320	49.701	51.095	52.493	53.894	55.299	56.708	58.121	59.538	60.957	62.379	1.043.620	620.915
TOTAL GASTOS:	2.391.581	94.380	97.211	100.128	103.132	106.180	109.272	112.409	115.584	118.797	122.049	125.340	128.671	132.041	135.450	138.900	142.390	145.920	150.489	155.098	159.747	4.975.511	3.927.657

ALTERNATIVA 2 LED

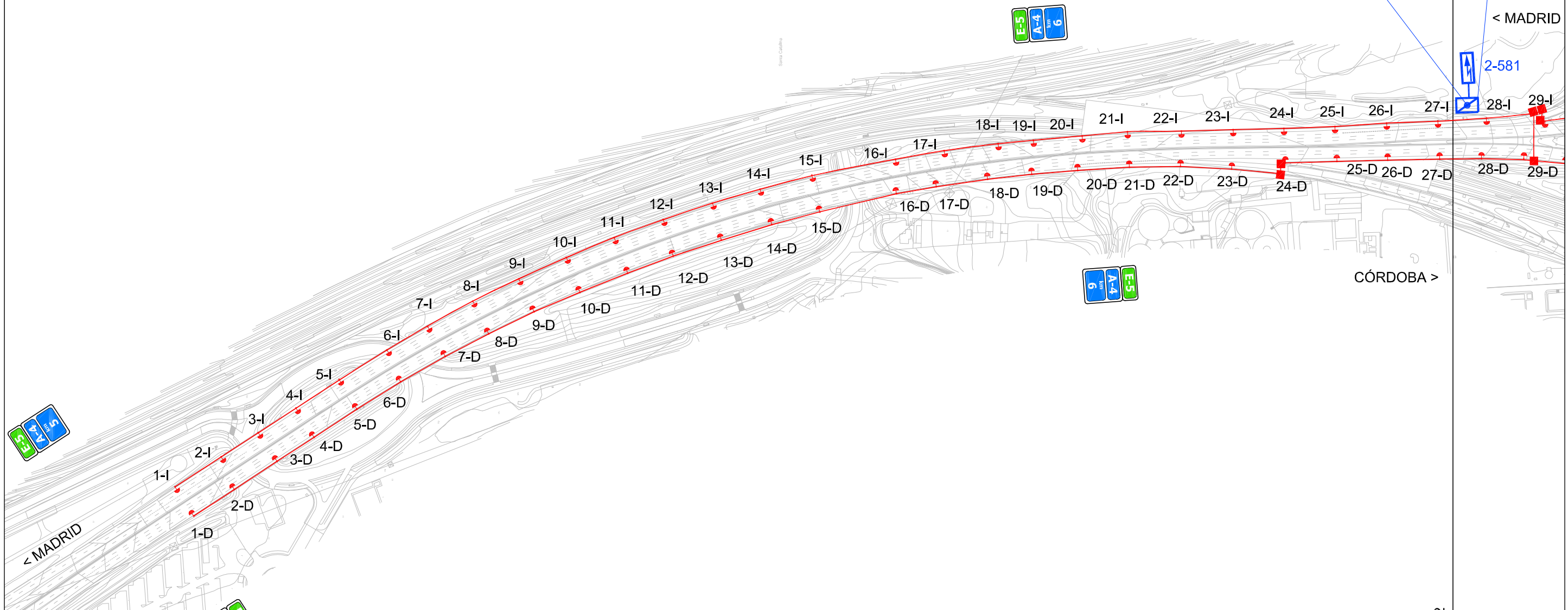
FLUJOS ECONÓMICOS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	TOTAL	VAN
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032		
INVERSIÓN																							
Coste de las obras	2.619.554	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.619.554	2.619.554
TOTAL INVERSIÓN:	2.619.554	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.619.554	2.619.554
GASTOS DE EXPLOTACIÓN																							
Consumos eléctricos	0	34.517	35.553	36.619	37.718	38.849	40.015	41.215	42.452	43.725	45.037	46.388	47.780	49.213	50.689	52.210	53.776	55.390	57.051	58.763	60.526	927.485	544.092
TOTAL GASTOS DE EXPLOTACIÓN:	0	34.517	35.553	36.619	37.718	38.849	40.015	41.215	42.452	43.725	45.037	46.388	47.780	49.213	50.689	52.210	53.776	55.390	57.051	58.763	60.526	927.485	544.092
GASTOS DE MANTENIMIENTO																							
Mantenimiento preventivo																							
Revisiones y mediciones	0	33.598	34.606	35.644	36.713	37.815	38.949	40.118	41.321	42.561	43.838	45.153	46.507	47.903	49.340	50.820	52.345	53.915	55.532	57.198	58.914	902.791	529.606
Limpeza de luminarias	0	2.094	2.157	2.222	2.288	2.357	2.428	2.500	2.575	2.653	2.732	2.814	2.899	2.986	3.075	3.167	3.262	3.360	3.461	3.565	3.672	56.267	33.008
Reposición de lámparas al final de su vida útil	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Reposición de equipos al final de su vida útil	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16.416	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16.416	10.582
Mantenimiento correctivo																							
Reposición de lámparas averiadas	0	593	611	629	648	668	688	708	730	752	774	797	821	846	871	897	924	952	981	1.010	1.040	15.942	9.352
Reposición de equipos auxiliares	0	61	63	65	67	69	71	73	75	77	80	82	85	87	90	92	95	98	101	104	107	1.641	963
TOTAL GASTOS DE MANTENIMIENTO:	0	36.346	37.437	38.560	39.717	40.908	42.135	43.399	44.701	46.042	47.420	48.836	50.289	51.780	53.306	54.867	56.464	58.097	59.766	61.471	63.212	993.057	583.511
TOTAL GASTOS:	2.619.554	70.863	72.989	75.179	77.434	79.757	82.150	84.615	87.153	89.766	92.453	95.214	98.049	100.960	103.946	107.007	110.143	113.354	116.641	120.004	123.444	4.540.095	3.747.157

APÉNDICE 1. PLANOS

ALTERNATIVA 1 VSAP



CUADRO 2-581
TRONCO: 1-D A 35-D / 1-I A 40-I



LÍNEAS ELÉCTRICAS

- CUADRO 2-581
- CUADRO 3-657
- CUADRO 3-658
- CUADRO 3-659
- CUADRO 3-660

LEYENDA

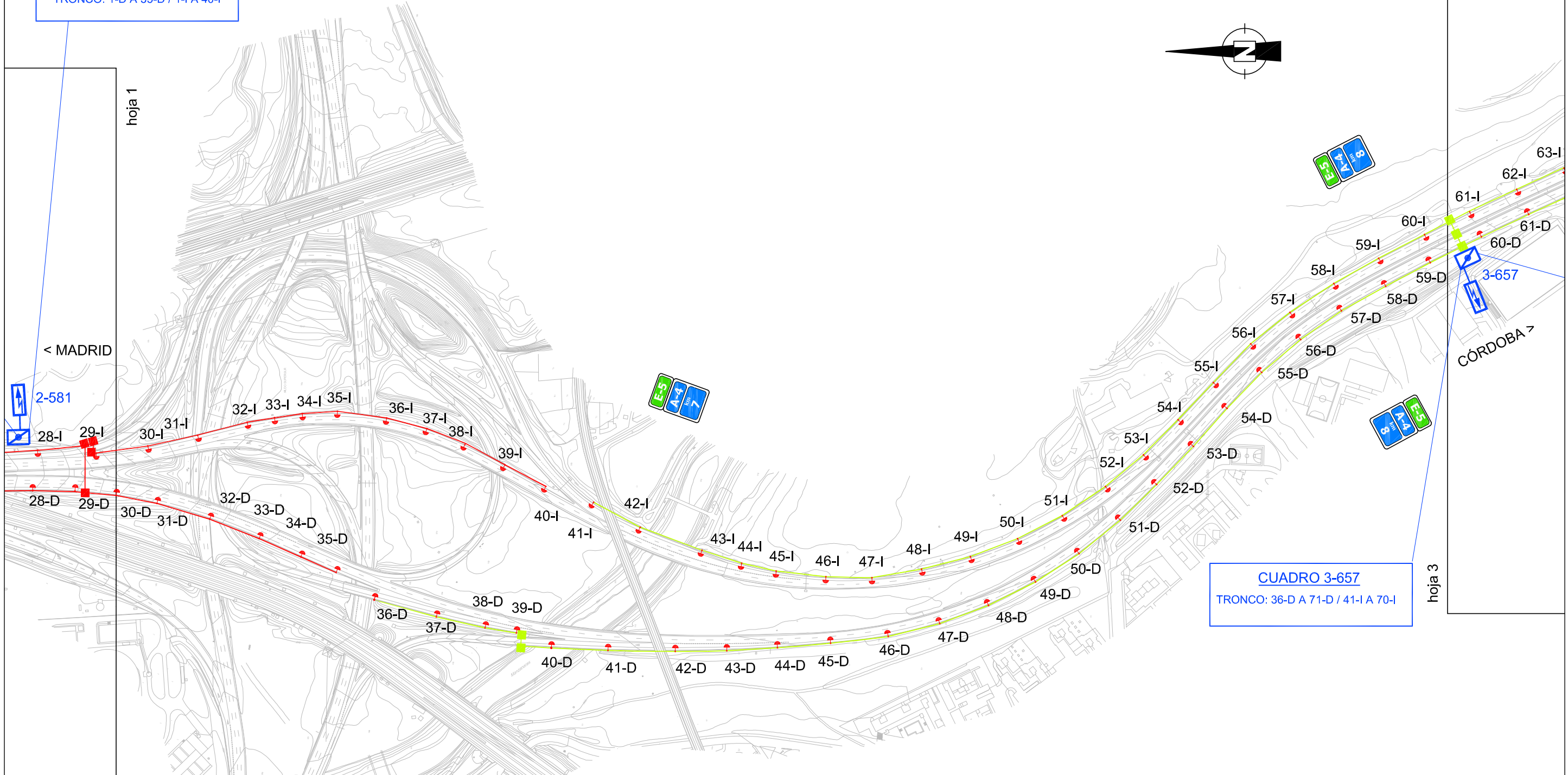
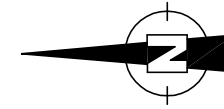
- CUADRO DE MANDO
- ACOMETIDA
- LÁMPARA 400 W
- ARQUETA CRUCE DE CALZADA

hoja 2

CUADRO 2-581

TRONCO: 1-D A 35-D / 1-I A 40-I

hoja 1







CUADRO 3-657
TRONCO: 36-D A 71-D / 41-I A 70-I

hoja 3

LÍNEAS ELÉCTRICAS

-  CUADRO 2-581
-  CUADRO 3-657
-  CUADRO 3-658
-  CUADRO 3-659
-  CUADRO 3-660

LEYENDA

-  CUADRO DE MANDO
-  ACOMETIDA
-  LÁMPARA 400 W
-  ARQUETA CRUCE DE CALZADA



SECRETARÍA DE ESTADO DE INFRAESTRUCTURAS
DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS

PROYECTO DE NUEVA CONSTRUCCIÓN DE LA INSTALACIÓN DE ALUMBRADO EN LA AUTOVÍA A-4. TRAMO DEL P.K. 5+000 AL P.K. 12+000

CLAVE:

EL INGENIERO DE CAMÍOS DIRECTOR DEL PROYECTO:

VºBº EL JEFE DE LA DEMARCIÓN
D. VICENTE YLANOVA MARTÍNEZ-FALERO

CONSULTOR:



EL INGENIERO AUTOR DEL PROYECTO

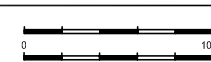
FECHA:

DICIEMBRE 2011

ESCALAS

1:2000

ORIGINAL A1

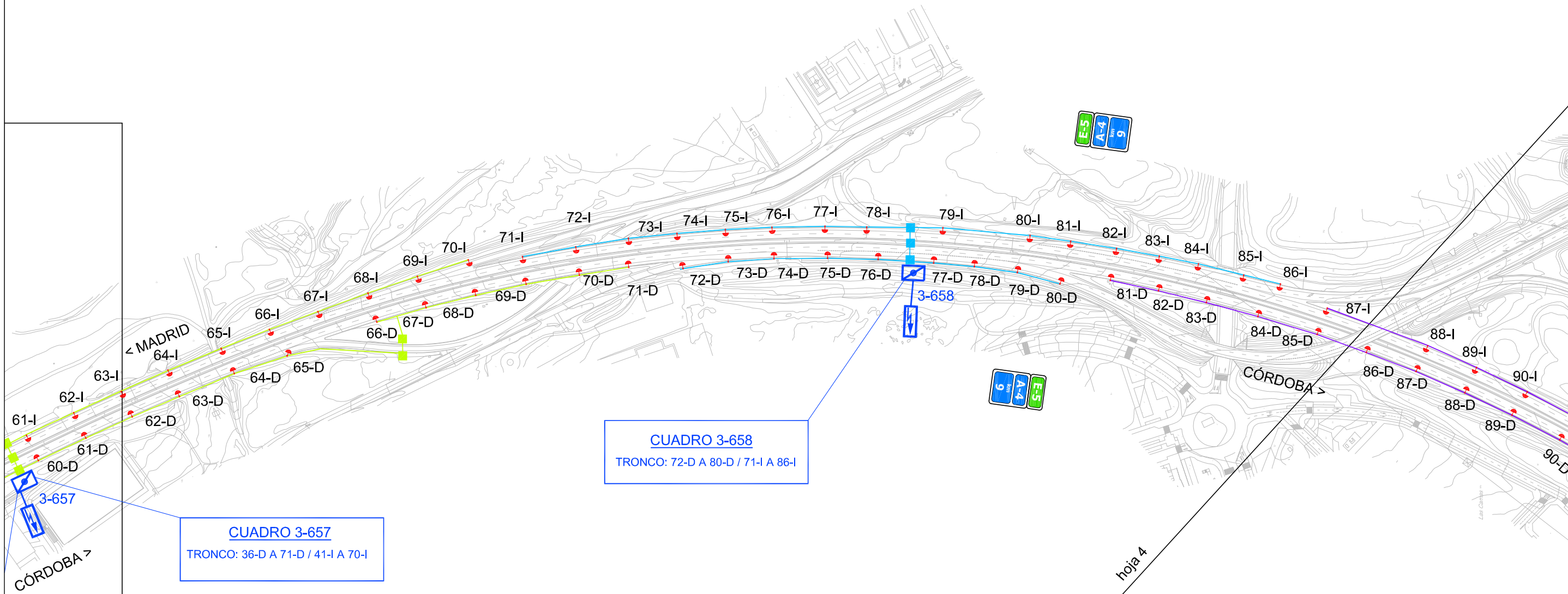
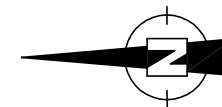


TÍTULO DEL PLANO:

ALTERNATIVA 1 - VSAP
PLANTA GENERAL

NÚMERO DE PLANO:
AP-1.1

HOJA 2 DE 5



CUADRO 3-658
TRONCO: 72-D A 80-D / 71-I A 86-I

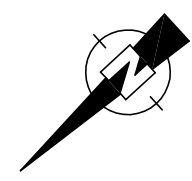
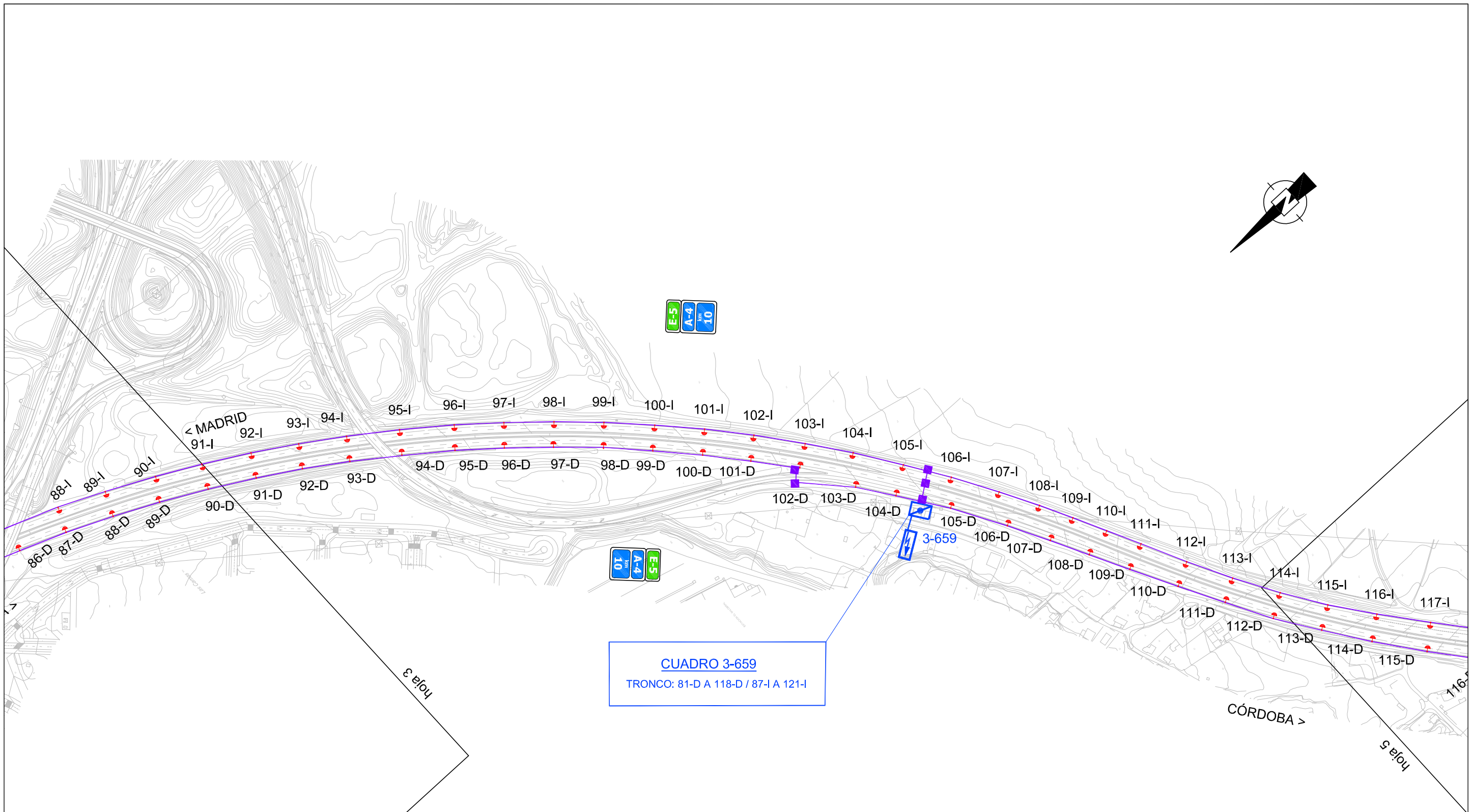
CUADRO 3-657
TRONCO: 36-D A 71-D / 41-I A 70-I

LÍNEAS ELÉCTRICAS

- CUADRO 2-581
- CUADRO 3-657
- CUADRO 3-658
- CUADRO 3-659
- CUADRO 3-660

LEYENDA

- CUADRO DE MANDO
- ACOMETIDA
- LÁMPARA 400 W
- ARQUETA CRUCE DE CALZADA



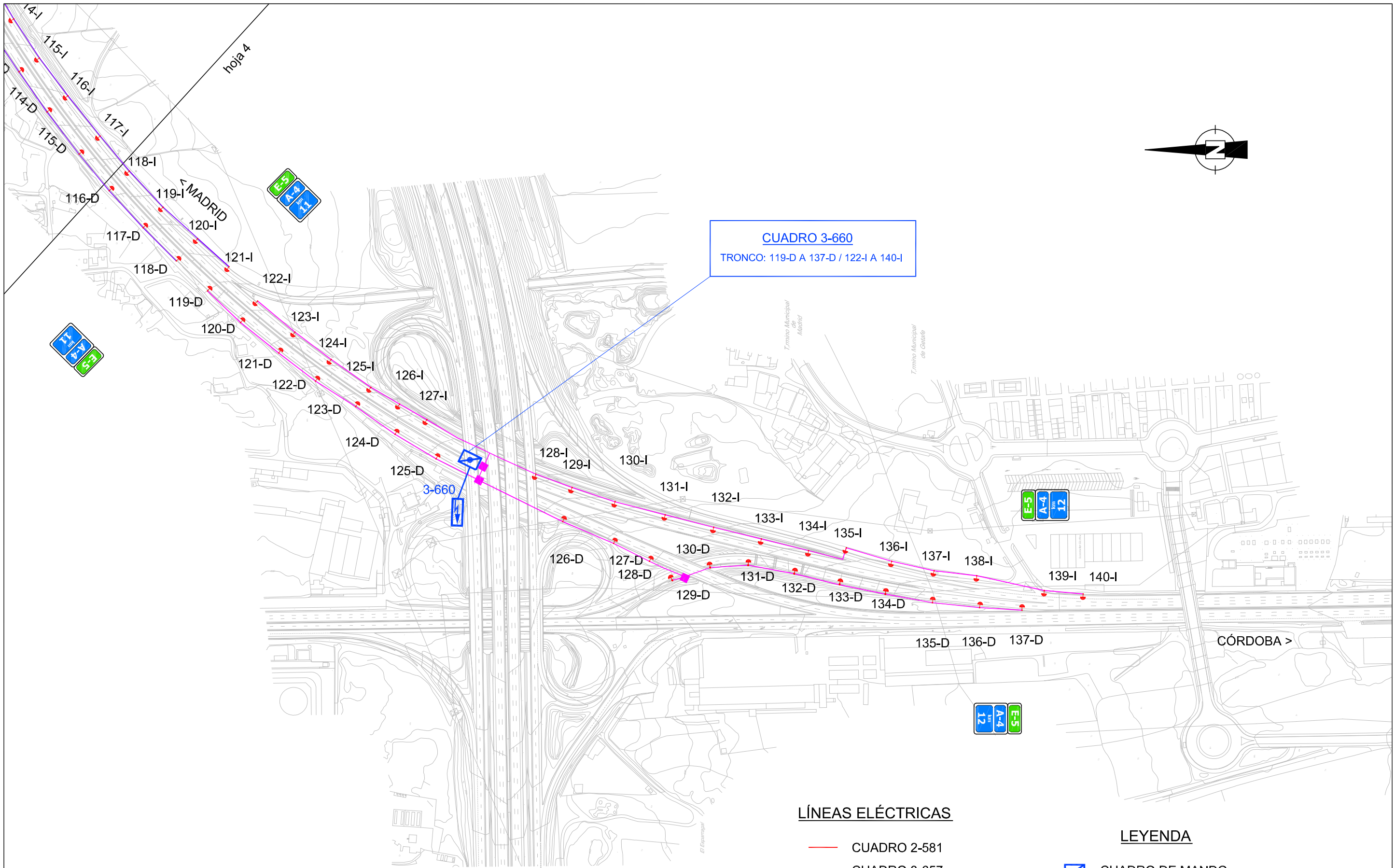
CUADRO 3-659
 TRONCO: 81-D A 118-D / 87-I A 121-I

LÍNEAS ELÉCTRICAS

- CUADRO 2-581
- CUADRO 3-657
- CUADRO 3-658
- CUADRO 3-659
- CUADRO 3-660

LEYENDA

- CUADRO DE MANDO
- ACOMETIDA
- LÁMPARA 400 W
- ARQUETA CRUCE DE CALZADA



CUADRO 3-660
TRONCO: 119-D A 137-D / 122-I A 140-I

LÍNEAS ELÉCTRICAS

- CUADRO 2-581
- CUADRO 3-657
- CUADRO 3-658
- CUADRO 3-659
- CUADRO 3-660

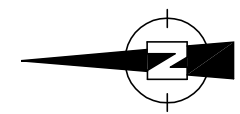
LEYENDA

- CUADRO DE MANDO
- ACOMETIDA
- LÁMPARA 400 W
- ARQUETA CRUCE DE CALZADA

ALTERNATIVA 2 LED

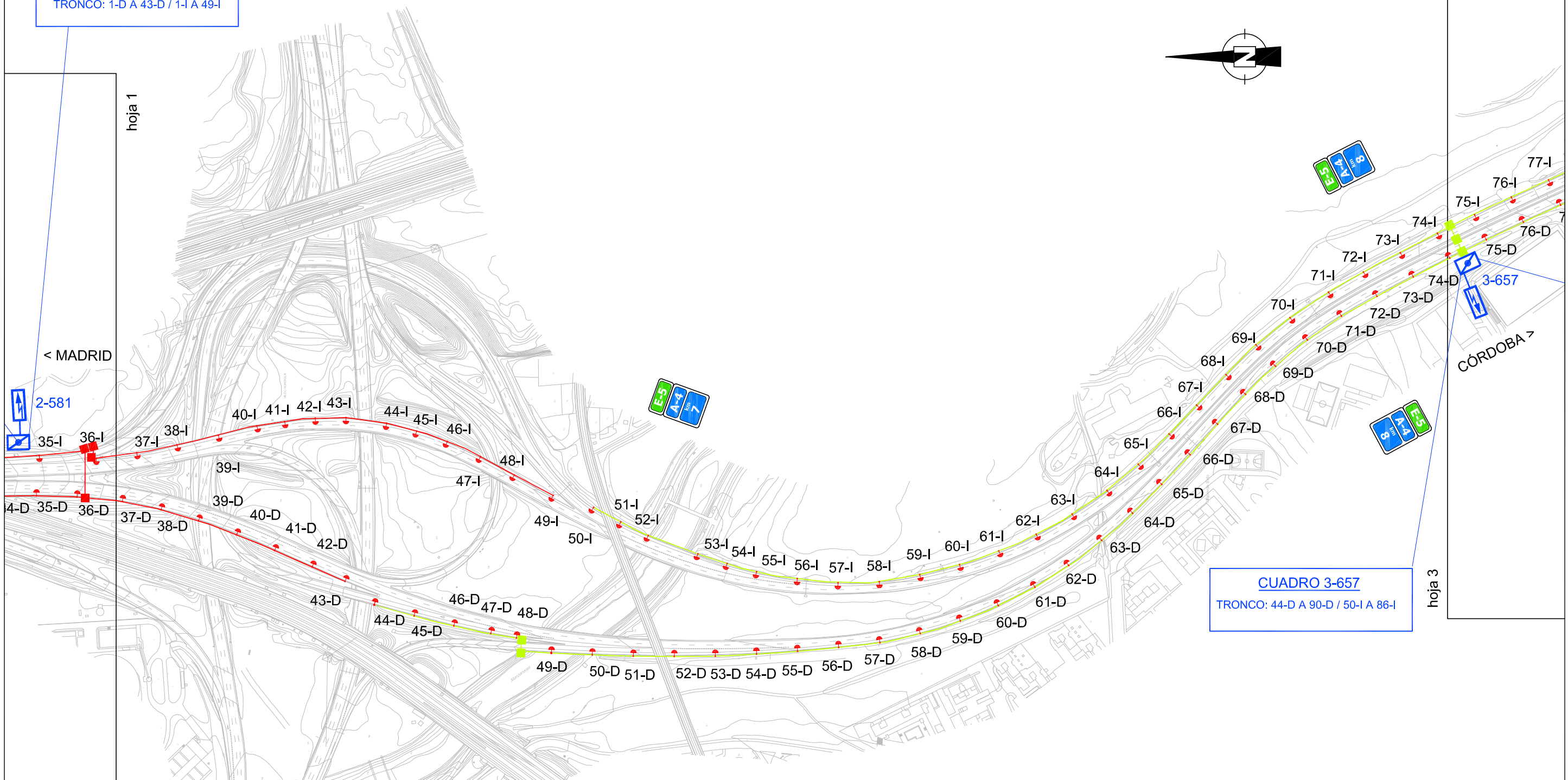
CUADRO 2-581

TRONCO: 1-D A 43-D / 1-I A 49-I



hoja 1

hoja 3

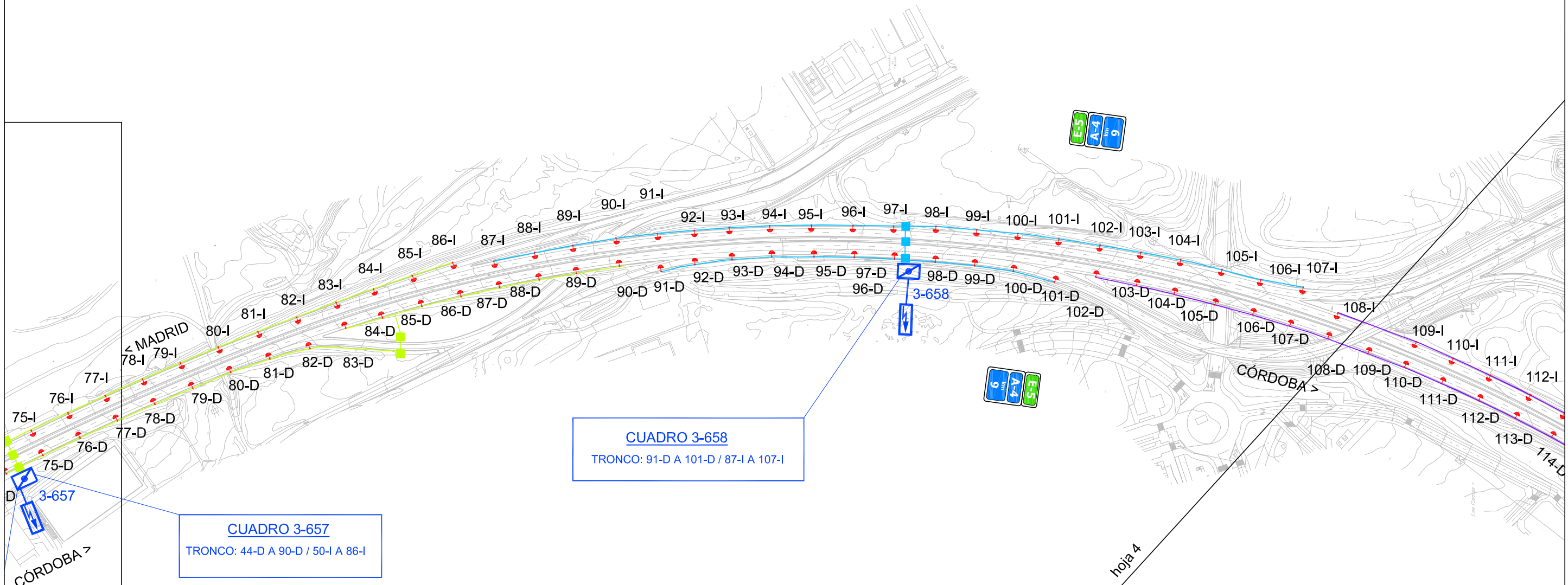
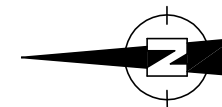


LÍNEAS ELÉCTRICAS

- CUADRO 2-581
- CUADRO 3-657
- CUADRO 3-658
- CUADRO 3-659
- CUADRO 3-660

LEYENDA

- CUADRO DE MANDO
- ACOMETIDA
- LUMINARIA 210 W
- ARQUETA CRUCE DE CALZADA



CUADRO 3-657
TRONCO: 44-D A 90-D / 50-I A 86-I

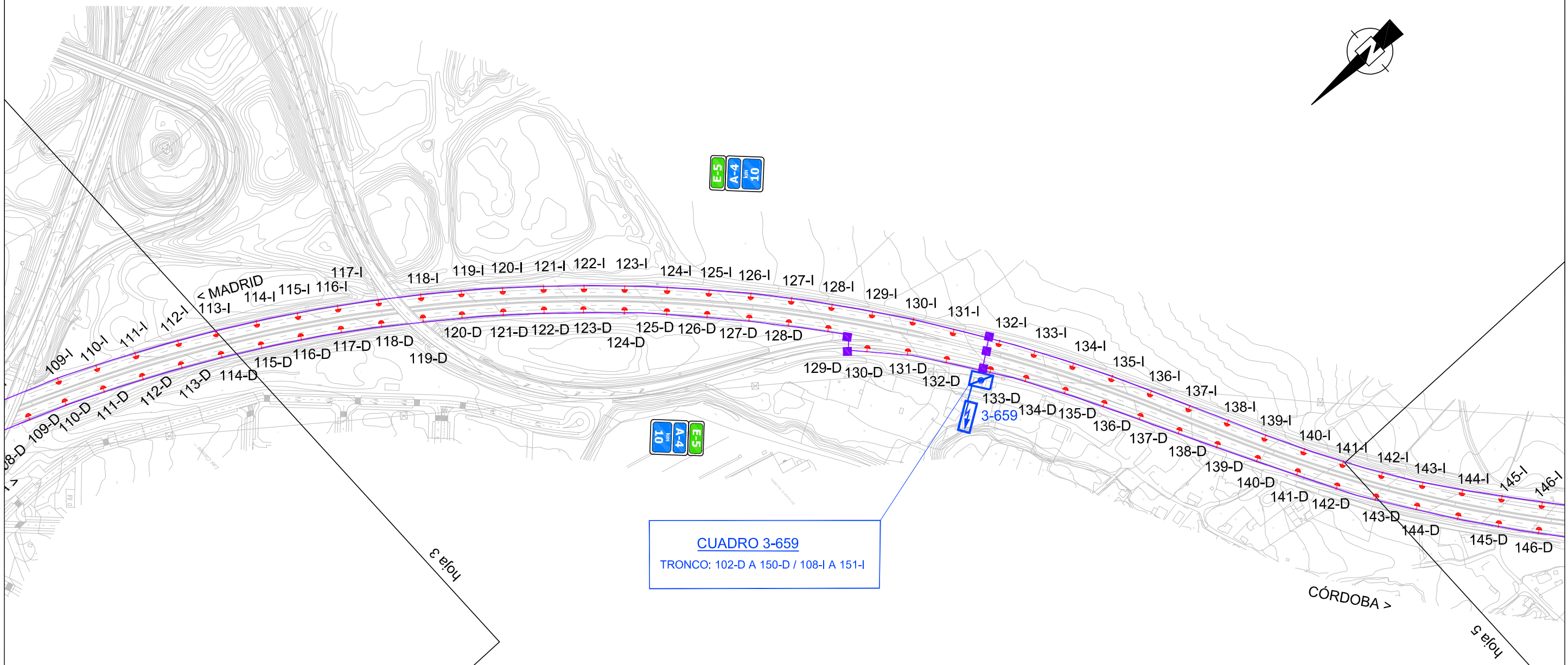
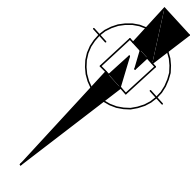
CUADRO 3-658
TRONCO: 91-D A 101-D / 87-I A 107-I

LÍNEAS ELÉCTRICAS

- CUADRO 2-581
- CUADRO 3-657
- CUADRO 3-658
- CUADRO 3-659
- CUADRO 3-660

LEYENDA

- CUADRO DE MANDO
- ACOMETIDA
- LUMINARIA 210 W
- ARQUETA CRUCE DE CALZADA



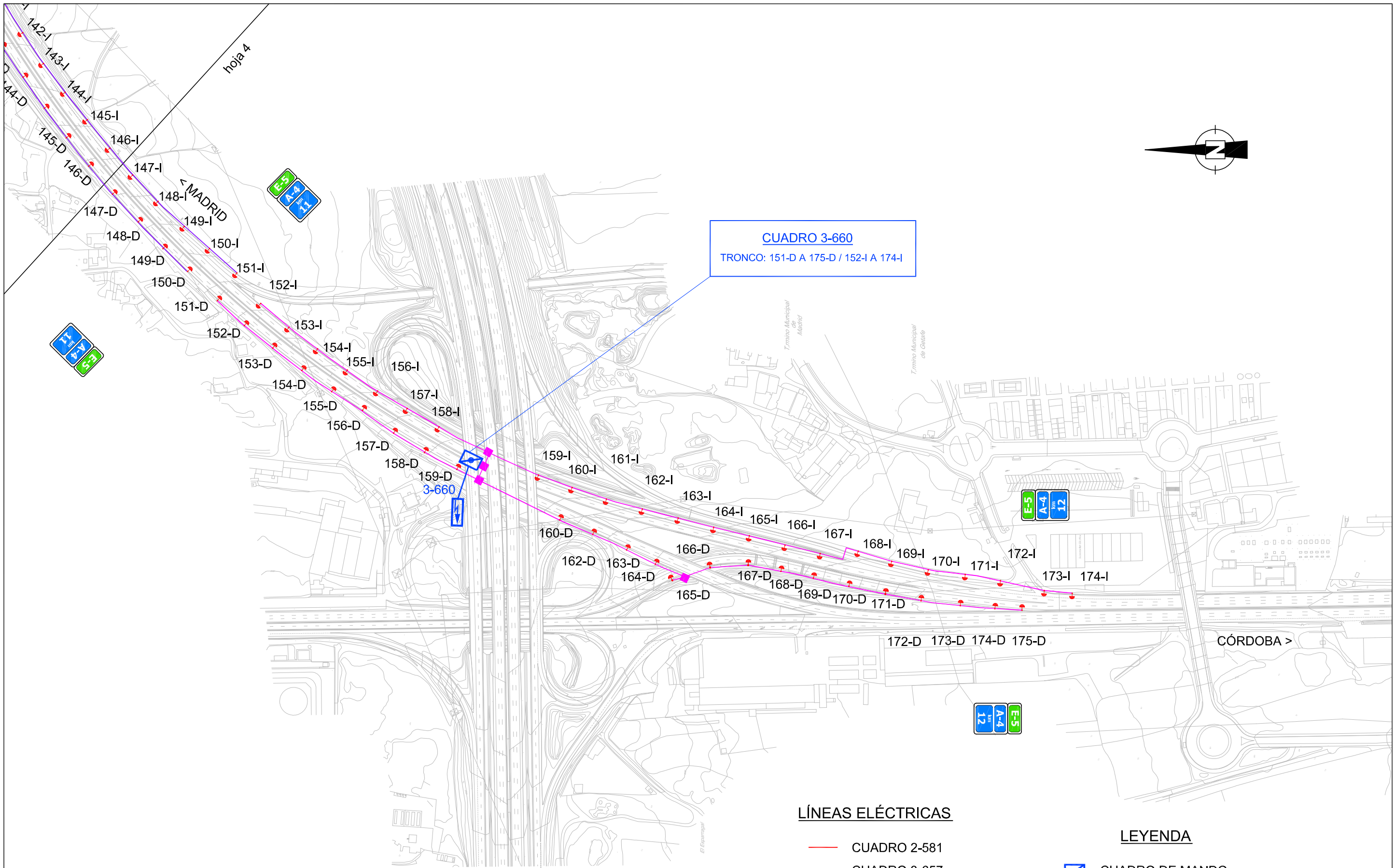
CUADRO 3-659
TRONCO: 102-D A 150-D / 108-I A 151-I

LÍNEAS ELÉCTRICAS

- CUADRO 2-581
- CUADRO 3-657
- CUADRO 3-658
- CUADRO 3-659
- CUADRO 3-660

LEYENDA

- CUADRO DE MANDO
- ACOMETIDA
- LUMINARIA 210 W
- ARQUETA CRUCE DE CALZADA



CUADRO 3-660
TRONCO: 151-D A 175-D / 152-I A 174-I

3-660

LÍNEAS ELÉCTRICAS

- CUADRO 2-581
- CUADRO 3-657
- CUADRO 3-658
- CUADRO 3-659
- CUADRO 3-660

LEYENDA

- CUADRO DE MANDO
- ACOMETIDA
- LUMINARIA 210 W
- ARQUETA CRUCE DE CALZADA

APÉNDICE 2. PRESUPUESTOS

ALTERNATIVA 1 VSAP

PRESUPUESTO Y MEDICIONES

CÓDIGO	RESUMEN	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
CAPÍTULO 1 OBRA CIVIL				
1.1	m ² 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.	50426,37	1,60	80.682,19
1.2	m ³ EXCAVACIÓN DE TIERRA VEGETAL Excavación de tierra vegetal, incluso carga y transporte a lugar de acopio, empleo o instalación de gestión de residuos.	15127,91	2,54	38.424,89
1.3	m ³ 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.	4642,10	25,73	119.441,23
1.4	m ³ HORMIGÓN HNE-15 Suministro y colocación de hormigón HNE-15 en fondo de excavación.	2055,78	59,28	121.866,64
1.5	m ³ 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.	2321,05	5,29	12.278,35
1.6	m SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE MALLA DE SEÑALIZACIÓN Suministro y colocación de malla de señalización de alumbrado público.	16578,94	0,60	9.947,36
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.	919,40	123,50	113.545,90
1.8	m CANALIZACIÓN HORIZONTAL Canalización horizontal Ø110 mm. en pasos superiores, incluso aislamiento y anclajes.	1365,00	320,00	436.800,00
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.	277,00	176,00	48.752,00
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.	25,00	224,00	5.600,00
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.	277,00	163,47	45.281,19
TOTAL CAPÍTULO 1 OBRA CIVIL.....				1.032.619,75
CAPÍTULO 2 INSTALACIÓN ELÉCTRICA				
2.1	m CABLE 0,6/1 KV SECCIÓN 4(1X6) Suministro y tendido de línea de alumbrado de baja tensión de cobre de 4(1x6) mm ² , tipo 0,6/1 KV, con recubrimiento de XLPE en el interior de tubo protector de polietileno corrugado según norma UNE-EN 50.086:1995, de Ø110 mm, incluso parte proporcional de separadores. Totalmente instalado y conexionado.	2097,39	9,88	20.722,21
2.2	m CABLE 0,6/1 KV SECCIÓN 4(1X10)	3226,02	13,00	41.938,26

PRESUPUESTO Y MEDICIONES

CÓDIGO	RESUMEN	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
	ØSuministro y tendido de línea de alumbrado de baja tensión de cobre de 4(1x10) mm ² , tipo 0,6/1 KV, con recubrimiento de XLPE en el interior de tubo protector de polietileno corrugado según norma UNE-EN 50.086:1995, de Ø110 mm, incluso parte proporcional de separadores. Totalmente instalado y conexionado.			
2.3	m CABLE 0,6/1 KV SECCIÓN 4(1X16) ØSuministro y tendido de línea de alumbrado de baja tensión de cobre de 4(1x16) mm ² , tipo 0,6/1 KV, con recubrimiento de XLPE en el interior de tubo protector de polietileno corrugado según norma UNE-EN 50.086:1995, de Ø110 mm, incluso parte proporcional de separadores. Totalmente instalado y conexionado.	7198,59	17,11	123.167,87
2.4	m CABLE 0,6/1 KV SECCIÓN 4(1X25) ØSuministro y tendido de línea de alumbrado de baja tensión de cobre de 4(1x25) mm ² , tipo 0,6/1 KV, con recubrimiento de XLPE en el interior de tubo protector de polietileno corrugado según norma UNE-EN 50.086:1995, de Ø110 mm, incluso parte proporcional de separadores. Totalmente instalado y conexionado.	4516,64	20,10	90.784,46
2.5	m CONDUCTOR 1X16 EN RED DE TIERRA Conductor de cobre de 1x16 mm ² , tipo 750 V de color amarillo-verde para red de tierra. Totalmente instalado y conexionado.	15986,99	4,90	78.336,25
2.6	m CONDUCTOR 1X35 EN RED DE TIERRA Conductor de cobre de 1x35 mm ² , tipo 750 V de color amarillo-verde para red de tierra. Totalmente instalado y conexionado.	1033,00	8,40	8.677,20
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.	33,00	19,00	627,00
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.	277,00	25,00	6.925,00
2.9	m CONDUCTOR 3x2,5 EN BÁCULO Suministro y colocación de conductor termoplástico especial tipo 0,6/1 kV de 3x2,5 mm ² de sección, según norma UNE 21029 en interior de báculo. Totalmente instalado y conexionado.	4155,00	3,40	14.127,00
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.	277,00	554,00	153.458,00
2.11	ud LUMINARIA Suministro e instalación de luminaria modelo M-400A o similar para lámpara de vapor de sodio alta presión. Totalmente instalada y conexionada.	277,00	500,00	138.500,00
2.12	ud BALASTO Suministro e instalación de balasto en interior de luminaria. Totalmente conexionado.	277,00	35,00	9.695,00
2.13	ud LÁMPARA Suministro e instalación de lámpara de vapor de sodio alta presión de 400 W de potencia.	277,00	31,00	8.587,00
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.	5,00	9.242,00	46.210,00
2.15	ud ACOMETIDA	5,00	30.000,00	150.000,00

PRESUPUESTO Y MEDICIONES

CÓDIGO	RESUMEN	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
	Suministro e instalación de acometida, incluso centro de transformación y entronque. Totalmente instalada y conexionada.			
	TOTAL CAPÍTULO 2 INSTALACIÓN ELÉCTRICA.....			891.755,25
CAPÍTULO 3 SEGURIDAD Y SALUD				
3.1	PRESUPUESTO SEGURIDAD Y SALUD	1,00	20.000,00	20.000,00
	Presupuesto de seguridad y salud, según anejo.			
	TOTAL CAPÍTULO 3 SEGURIDAD Y SALUD.....			20.000,00
	TOTAL.....			1.944.375,00

ALTERNATIVA 2 LED

PRESUPUESTO Y MEDICIONES

CÓDIGO	RESUMEN	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
CAPÍTULO 1 OBRA CIVIL				
1.1	m ² 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.	50876,37	1,60	81.402,19
1.2	m ³ EXCAVACIÓN DE TIERRA VEGETAL Excavación de tierra vegetal, incluso carga y transporte a lugar de acopio o empleo.	15262,91	2,54	38.767,79
1.3	m ³ 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, acopio o instalación de gestión de residuos.	4684,10	25,73	120.521,89
1.4	m ³ HORMIGÓN HNE-15 Suministro y colocación de hormigón HNE-15 en fondo de excavación.	2074,38	59,28	122.969,25
1.5	m ³ 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.	2342,05	5,29	12.389,44
1.6	m SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE MALLA DE SEÑALIZACIÓN Suministro y colocación de malla de señalización de alumbrado público.	16728,94	0,60	10.037,36
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.	919,40	123,50	113.545,90
1.8	m CANALIZACIÓN HORIZONTAL Canalización horizontal Ø110 mm. en pasos superiores, incluso aislamiento y anclajes.	1365,00	320,00	436.800,00
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.	349,00	176,00	61.424,00
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.	26,00	224,00	5.824,00
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.	349,00	163,47	57.051,03
TOTAL CAPÍTULO 1 OBRA CIVIL.....				1.060.732,85
CAPÍTULO 2 INSTALACIÓN ELÉCTRICA				
2.1	m CABLE 0,6/1 KV SECCIÓN 4(1X6) Suministro y tendido de línea de alumbrado de baja tensión de cobre de 4(1x6) mm ² , tipo 0,6/1 KV, con recubrimiento de XLPE en el interior de tubo protector de polietileno corrugado según norma UNE-EN 50.086:1995, de Ø110 mm, incluso parte proporcional de	2115,84	9,88	20.904,50

PRESUPUESTO Y MEDICIONES

CÓDIGO	RESUMEN	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
	separadores. Totalmente instalado y conexionado.			
2.2	m CABLE 0,6/1 KV SECCIÓN 4(1X10) Suministro y tendido de línea de alumbrado de baja tensión de cobre de 4(1x10) mm ² , tipo 0,6/1 KV, con recubrimiento de XLPE en el interior de tubo protector de polietileno corrugado según norma UNE-EN 50.086:1995, de Ø110 mm, incluso parte proporcional de separadores. Totalmente instalado y conexionado.	3254,42	13,00	42.307,46
2.3	m CABLE 0,6/1 KV SECCIÓN 4(1X16) Suministro y tendido de línea de alumbrado de baja tensión de cobre de 4(1x16) mm ² , tipo 0,6/1 KV, con recubrimiento de XLPE en el interior de tubo protector de polietileno corrugado según norma UNE-EN 50.086:1995, de Ø110 mm, incluso parte proporcional de separadores. Totalmente instalado y conexionado.	7261,97	17,11	124.252,31
2.4	m CABLE 0,6/1 KV SECCIÓN 4(1X25) Suministro y tendido de línea de alumbrado de baja tensión de cobre de 4(1x25) mm ² , tipo 0,6/1 KV, con recubrimiento de XLPE en el interior de tubo protector de polietileno corrugado según norma UNE-EN 50.086:1995, de Ø110 mm, incluso parte proporcional de separadores. Totalmente instalado y conexionado.	4556,41	20,10	91.583,84
2.5	m CONDUCTOR 1X16 EN RED DE TIERRA Conductor de cobre de 1x16 mm ² , tipo 750 V de color amarillo-verde para red de tierra. Totalmente instalado y conexionado.	15987,00	4,90	78.336,30
2.6	m CONDUCTOR 1X35 EN RED DE TIERRA Conductor de cobre de 1x35 mm ² , tipo 750 V de color amarillo-verde para red de tierra. Totalmente instalado y conexionado.	1033,00	8,40	8.677,20
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.	33,00	19,00	627,00
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.	349,00	25,00	8.725,00
2.9	m CONDUCTOR 3x2,5 EN BÁCULO Suministro y colocación de conductor termoplástico especial tipo 0,6/1 KV de 3x2,5 mm ² de sección, según norma UNE 21029 en interior de báculo. Totalmente instalado y conexionado.	4188,00	3,40	14.239,20
2.10	ud BÁCULO 10 M Suministro y colocación de báculo de chapa de acero galvanizado de 10 m. de altura, incluso tornillería y anclajes. Totalmente terminado.	349,00	477,00	166.473,00
2.11	ud LUMINARIA LED Suministro e instalación de luminaria LED, incluso fuentes de luz y balasto. Totalmente instalada y conexionada.	349,00	850,00	296.650,00
2.12	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.	5,00	9.242,00	46.210,00
2.13	ud ACOMETIDA Suministro e instalación de acometida, incluso centro de transformación y entronque. Totalmente instalada y conexionada.	5,00	30.000,00	150.000,00
TOTAL CAPÍTULO 2 INSTALACIÓN ELÉCTRICA.....				1.048.985,81

PRESUPUESTO Y MEDICIONES

CÓDIGO	RESUMEN	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
CAPÍTULO 3 SEGURIDAD Y SALUD				
3.1	PRESUPUESTO SEGURIDAD Y SALUD Presupuesto de seguridad y salud, según anejo.	1,00	20.000,00	20.000,00
TOTAL CAPÍTULO 3 SEGURIDAD Y SALUD.....				20.000,00
TOTAL.....				2.129.718,66

**PROYECTO DE REHABILITACIÓN Y MEJORA DE LA
INSTALACIÓN DE ALUMBRADO EN LA AUTOVÍA A-4.**

TRAMO DEL P.K. 5+000 AL P.K. 12+000

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 Carreteras a Cielo Abierto 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 de un tramo del tronco de la autovía A-4, entre los PP.KK. 5+000 y 12+000, es decir tiene 7 km de longitud. A lo largo del tramo se pueden distinguir varias secciones tipo:

- PP.KK. 5+000 – 6+000: consta de dos calzadas separadas por una barrera New Jersey a doble cara; cada calzada consta de cuatro carriles de 3,30 m. de anchura cada uno y arcenes interior y exterior de aproximadamente 1,00 y 2,50 m, respectivamente.
- PP.KK. 6+000 – 6+350: consta de dos calzadas separadas por una barrera New Jersey a doble cara; cada calzada consta de tres carriles de 3,30 m de anchura cada uno y arcenes interior y exterior de aproximadamente 1,00 y 2,50 m, respectivamente.
- PP.KK. 6+350 – 6+700: consta de dos calzadas cuyo trazado no discurre en paralelo; cada calzada consta de tres carriles de 3,50 m de anchura cada uno y arcenes interior y exterior de aproximadamente 1,00 y 3,00 m, respectivamente.
- PP.KK. 6+700 – 7+700: consta de dos calzadas separadas por una mediana de tierra de ancho variable; cada calzada consta de dos carriles de 3,50 m de anchura cada uno y arcenes interior y exterior de aproximadamente 0,50 y 2,50 m, respectivamente.
- PP.KK. 7+700 – 9+200: consta de dos calzadas separadas por una barrera New Jersey a doble cara; cada calzada consta de dos carriles de 3,50 m de anchura cada uno y arcenes interior y exterior de aproximadamente 0,50 y 2,50 m, respectivamente.
- PP.KK. 9+200 – 12+000: consta de dos calzadas separadas por una barrera New Jersey a doble cara; cada calzada consta de dos carriles de 3,50 m de anchura cada uno y arcén interior de 0,50 m y arcén exterior de ancho variable entre 2,00 y 3,00 m.

Se considera el caso de la instalación existente de VSAP que ha llegado al fin de su vida útil y se plantea la continuación de dicha instalación con VSAP o bien la actualización a luminarias LED, con un nivel lumínico adaptado a éstas Recomendaciones. No se han tenido en cuenta otras alternativas (la disminución de nivel lumínico con VSAP) por tratarse sólo de un ejemplo indicativo con fines exclusivamente didácticos.

Por tanto, se plantean dos alternativas:

- Alternativa 1. Se realiza simplemente una reposición de las 277 lámparas de vapor de sodio de 400 W por otras equivalentes y de sus equipos auxiliares.

- Alternativa 2. Se sustituyen las luminarias de la instalación existente por luminarias de led manteniendo el resto de la instalación. En este caso se colocaran 277 luminarias de 240 W.

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 arquetas y conductores, adecuación para la regulación de la iluminación, que se estima como una partida alzada.

En el resto de aspectos ambas alternativas tienen las mismas características, que son las siguientes:

- La instalación dispone de 5 puntos de acometida desde los cuales se realiza la distribución en baja tensión a los puntos de luz. Cada uno de estos puntos consta de acometida, centro de entrega, transformador y cuadro de mando. Dispondrán de reductor de flujo en el caso de VSAP.
- La distribución desde los cuadros hasta los puntos de luz se realiza mediante canalización subterránea con una sección de 40 cm de ancho y 71 cm de alto. Los cruces de las calzadas se realizarán mediante tuberías hincadas.
- En cada punto de luz se ha dispuesto una arqueta para la conexión del punto de luz a la línea de distribución, la cual está conectada con los tubos insertados en la cimentación del báculo para facilitar la conexión de la luminaria.

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 puesta al día de la obra civil (arquetas, canalizaciones, cimentaciones, etc.) y de la instalación eléctrica (conductores, equipos, cuadros, báculos, etc.) más el de las lámparas y equipos en vapor de sodio o el de las luminarias de LED. El presupuesto de las mismas para cada alternativa figura en el Apéndice 2 y su resumen es el siguiente:

PRESUPUESTO ALTERNATIVA 1 VSAP		
Capítulo	Descripción	Importe (€)
1	Obra Civil	40.000,00
1.1	P.A. puesta al día Obra Civil	40.000,00
2	Instalación Eléctrica	90.282,00
2.1	P.A. puesta al día Instalación Eléctrica	72.000,00
2.2	Sustitución lámpara de 400 W	8.587,00
2.3	Sustitución de balasto	9.695,00
3	Seguridad y Salud	1.500,00
Total Presupuesto de Ejecución Material (PEM)		131.782,00
	17% Gastos generales	22.402,94
	6% Beneficio industrial	7.906,92
Suma		162.091,86
	18% IVA	29.176,53
PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN (PBL)		191.268,39

Tabla 1. Presupuesto rehabilitación y mejora alternativa 1 (VSAP).

PRESUPUESTO ALTERNATIVA 2 LED		
Capítulo	Descripción	Importe (€)
1	Obra Civil	32.000,00
1.1	P.A. puesta al día Obra Civil	32.000,00
2	Instalación Eléctrica	270.530,00
2.1	P.A. puesta al día Instalación Eléctrica	24.000,00
2.2	Sustitución de luminarias por Led	246.530,00
3	Seguridad y Salud	3.000,00
Total Presupuesto de Ejecución Material (PEM)		305.530,00
	17% Gastos generales	51.940,10
	6% Beneficio industrial	18.331,80
Suma		375.801,90
	18% IVA	67.644,34
PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN (PBL)		443.446,24

Tabla 2. Presupuesto rehabilitación y mejora alternativa 2 (LED).

4. Determinación de los gastos de consumo energético

El consumo de energía total anual de la instalación de alumbrado se obtiene:

- Potencia instalada (kW): es la suma de las potencias de todas las lámparas de la instalación más las de los equipos auxiliares.

- Número anual de horas de funcionamiento: varía en función de las horas de luz diurna, siendo mayor el periodo de encendido en invierno y menor en verano. Para la presente instalación, los periodos de funcionamiento serán:
 - Enero-Febrero: 18:30 a 8:00 horas.
 - Marzo-Abril: 20:30 a 7:30 horas.
 - Mayo-Agosto: 21:30 a 6:30 horas.
 - Septiembre-Octubre: 20:30 a 7:30 horas.
 - Noviembre-Diciembre: 18:30 a 8:00 horas.
- Lo que significa un total de 4.069 horas de funcionamiento al año.
- Plan de explotación: Dadas las diferentes características de regulación y de iluminación existentes entre el VSAP y el LED se definen dos planes de explotación distintos para cada alternativa. En el plan de explotación se definen los niveles luminosos que se van a aplicar en cada franja horaria en función de la IMD y la luz solar existente en cada una de ellas. El plan de explotación para las características de tráfico de la carretera, se estima que debe ser el siguiente:
 - Alternativa 1 VSAP
 - Entre las 24 h y las 6 h: nivel luminoso reducido al 70%.
 - Resto del tiempo: nivel luminoso al 100%
 - Alternativa 2 LED
 - Entre las 24 h y la 2 h y entre las 4 h y las 6 h: nivel luminoso reducido al 70%.
 - Entre las 2 h y las 4 h: nivel luminoso reducido al 25%
 - Resto del tiempo: nivel luminoso al 100%
- Consumo teórico (kWh): es el producto de la potencia en funcionamiento por el número anual de horas correspondiente, 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 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 = $277 \text{ ud.} \times 400 \text{ W/ud.} \times 1,10 = 121.880 \text{ W} = 121,88 \text{ kW}$ (se ha multiplicado por 1,10 para considerar el consumo de los equipos auxiliares, que suele ser un 10% del consumo de la lámpara).
- Número de horas de funcionamiento = 4.069 h, obtenido a partir del plan de explotación.
- Consumo teórico (potencia instalada x nº de horas en cada régimen de funcionamiento) = $121,88 \text{ kW} \times 1,07 \times [123 \text{ días/año (mayo-agosto)} \times (6\text{h} \times 70\% + 3\text{h} \times 100\%) + 61 \text{ días/año (marzo-abril)} \times (6\text{h} \times 70\% + 5\text{h} \times 100\%) + 120 \text{ días/año (noviembre-febrero)} \times (6\text{h} \times 70\% + 7,5\text{h} \times 100\%) + 61 \text{ días/año (septiembre-octubre)} \times (6\text{h} \times 70\% + 5\text{h} \times 100\%)] = 444.964,38 \text{ kWh/año}$. (se ha multiplicado por 1,07 para considerar las pérdidas de la instalación).
- Coste fijo: $121,88 \text{ kW} \times 1,07 \times 2,51 \text{ €/mes y kW} \times 12 \text{ meses/año} = 3.927,99 \text{ €/año}$
- Coste variable: $444.964,38 \text{ kWh/año} \times 0,12 \text{ €/kWh} = 53.395,73 \text{ €/año}$

Para la alternativa 2 hay que realizar los cálculos con 277 puntos de luz y 240 W.

- Potencia instalada = $277 \text{ ud.} \times 240 \text{ W/ud.} \times 1,10 = 73.128 \text{ W.} = 73,1 \text{ kW}$ (se ha multiplicado por 1,10 para considerar el consumo de los equipos auxiliares, que suele ser un 10% del consumo de la lámpara).

- Número de horas de funcionamiento = 4.069 h, obtenido a partir del plan de explotación.
- Consumo teórico (potencia instalada x nº de horas en cada régimen de funcionamiento) = $73,1 \text{ kW} \times 1,07 \times [123 \text{ días/año (mayo-agosto)} \times (2\text{h} \times 25\% + 4\text{h} \times 70\% + 3\text{h} \times 100\%) + 61 \text{ días/año (marzo-abril)} \times (2\text{h} \times 25\% + 4\text{h} \times 70\% + 5\text{h} \times 100\%) + 120 \text{ días/año (noviembre-febrero)} \times (2\text{h} \times 25\% + 4\text{h} \times 70\% + 7,5\text{h} \times 100\%) + 61 \text{ días/año (septiembre-octubre)} \times (2\text{h} \times 40\% + 4\text{h} \times 70\% + 5\text{h} \times 100\%)] = 241.182,12 \text{ kWh/año}$ (se ha multiplicado por 1,07 para considerar las pérdidas de la instalación).
- Coste fijo: $73,1 \text{ kW} \times 1,07 \times 2,51 \text{ €/mes y kW} \times 12 \text{ meses/año} = 2.355,89 \text{ €/año}$.
- Coste variable: $241.182,12 \text{ kWh/año} \times 0,12 \text{ €/kWh} = 28.941,85 \text{ €/año}$.

Los costes de explotación finales de cada alternativa son los siguientes:

- Alternativa 1 VSAP: $3.927,99 \text{ €/año} + 53.395,73 \text{ €/año} = 57.323,72 \text{ €/año}$.
- Alternativa 2 LED: $2.355,89 \text{ €/año} + 28.941,85 \text{ €/año} = 31.297,74 \text{ €/año}$.

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 1 hora x 365 días/año con una furgoneta.
- 2 operarios 50 días/año con un camión cesta.

Que suponen un coste anual de 33.598 €, 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 50 luminarias al día, resulta un coste unitario de 12 €/ud.

- Alternativa 1. Se considera necesaria una limpieza anual de cada una de las luminarias de VSAP. Por tanto el coste es: $277 \text{ ud./año} \times 12 \text{ €/ud.} = 3.324 \text{ €/año}$.
- Alternativa 2. Las luminarias LED requieren menor mantenimiento, por lo que se considera necesaria su limpieza cada dos años. En el caso de estudio: $0,5 \times 277 \text{ ud./año} \times 12 \text{ €/ud.} = 1.662 \text{ €/año}$.

5.1.3 Reposición de lámparas y equipos al final de su vida útil

- Alternativa 1. La vida útil de las lámparas VSAP es de 5 años aproximadamente (20.000 horas). Teniendo en cuenta que el periodo de estudio es de 20 años, será necesario sustituirlas tres 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 10 años, una vez en el periodo. Tomando como coste de sustitución de lámparas VSAP 31 €, el coste total de sustitución de las lámparas será: $277 \text{ ud.} \times 31 \text{ €/ud.} \times 3 = 25.761 \text{ €}$, que se acometerá en tres desembolsos de 8.587 € en los años 5, 10 y 15. El coste de sustitución de elementos auxiliares será de $277 \text{ ud.} \times 35 \text{ €/ud.} = 9.695 \text{ €}$. Estos costes están calculados para el año 1, por lo que es necesario aplicarles la inflación, estimada en un 3% anual.
- Alternativa 2. Debido a que el periodo de estudio, que es de 20 años, coincide aproximadamente con la vida útil de las lámparas LED (60.000 horas funcionando al 100%, hay que tener en cuenta que de las 4.069 horas de funcionamiento anuales solo el 46% del tiempo lo hace al 100%), no será necesario reponerlas durante el periodo de estudio. El coste de sustitución de elementos auxiliares será de $277 \text{ ud.} \times 35 \text{ €/ud.} = 9.695 \text{ €}$ en el año 10. Hay que tener en cuenta una inflación del 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 31 €, los costes resultantes son: $0,01 \times 277 \text{ ud./año} \times 31 \text{ €/ud.} = 85,87 \text{ €/año}$.
- 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 890 €, los costes resultantes son: $0,002 \times 277 \text{ ud./año} \times 890 \text{ €/ud.} = 493,1 \text{ €/año}$.

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. $0,005 \times 277 \text{ ud./año} \times 35 \text{ €/ud.} = 48,47 \text{ €/año}$.
- Alternativa 2. $0,005 \times 277 \text{ ud./año} \times 35 \text{ €/ud.} = 48,47 \text{ €/año}$.

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: $33.598 \text{ €/año} + 3.324 \text{ €/año} + 85,87 \text{ €/año} + 48,47 \text{ €/año} = 37.056,34 \text{ €/año}$. Además se acometerán tres desembolsos de 8.587 € en los años 5, 10 y 15 y otro de 9.695 € en el año 10, 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. LED: 33.598 €/año + 1.662 €/año + 493,1 €/año + 48,47 €/año = 35.802,57 €/año. Además se acometerá un desembolso de 9.695 € en el año 10 correspondiente a la reposición de equipos auxiliares el 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 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: 162.091,86 €.
- Alternativa 2 LED: 375.801,90 €.

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: 3.927,99 €/año + 53.395,73 €/año = 57.323,72 €/año
- Alternativa 2 LED: 2.355,89 €/año + 28.941,85 €/año = 31.297,74 €/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: $33.598 \text{ €/año} + 3.324 \text{ €/año} + 85,87 \text{ €/año} + 48,47 \text{ €/año} = 37.056,34 \text{ €/año}$. Además se acometerán tres desembolsos de 8.587 € en los años 5, 10 y 15 y otro de 9.695 € en el año 10, 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. LED: $33.598 \text{ €/año} + 1.662 \text{ €/año} + 493,1 \text{ €/año} + 48,47 \text{ €/año} = 35.802,57 \text{ €/año}$. Además se acometerá un desembolso de 9.695 € en el año 10 correspondiente a la reposición de equipos auxiliares el 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.

6.4 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: 1.698.168 €.
- VAN Alternativa 2 LED: 1.455.026 €.
- La TIR es del 14,85%.

Como se puede observar, la rentabilidad que se obtiene al sustituir la solución actual por una de leds puede ser considerada como buena.

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			
<u>PUESTA A CERO INSTALACIONES</u>																								
Coste de las obras	162.092	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	162.092	162.092	
TOTAL PUESTA A CERO INSTALACIONES:	162.092	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	162.092	162.092	
<u>GASTOS DE EXPLOTACIÓN</u>																								
Consumos eléctricos	0	57.324	59.043	60.815	62.639	64.518	66.454	68.448	70.501	72.616	74.794	77.038	79.349	81.730	84.182	86.707	89.308	91.988	94.747	97.590	100.517	1.540.310	915.161	
TOTAL GASTOS DE EXPLOTACIÓN:	0	57.324	59.043	60.815	62.639	64.518	66.454	68.448	70.501	72.616	74.794	77.038	79.349	81.730	84.182	86.707	89.308	91.988	94.747	97.590	100.517	1.540.310	915.161	
<u>GASTOS DE MANTENIMIENTO</u>																								
Mantenimiento preventivo																								
Revisiones y mediciones	0	33.598	34.606	35.644	36.713	37.815	38.949	40.118	41.321	42.561	43.838	45.153	46.507	47.903	49.340	50.820	52.345	53.915	55.532	57.198	58.914	902.791	536.385	
Limpeza de luminarias	0	3.324	3.424	3.526	3.632	3.741	3.853	3.969	4.088	4.211	4.337	4.467	4.601	4.739	4.881	5.028	5.179	5.334	5.494	5.659	5.829	89.317	53.067	
Reposición de lámparas al final de su vida útil	0	0	0	0	0	9.955	0	0	0	0	11.540	0	0	0	0	13.378	0	0	0	0	0	34.873	21.320	
Reposición de equipos al final de su vida útil	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13.029	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13.029	7.999	
Mantenimiento correctivo																								
Reposición de lámparas averiadas	0	86	88	91	94	97	100	103	106	109	112	115	119	122	126	130	134	138	142	146	151	2.307	1.371	
Reposición de equipos auxiliares	0	48	50	51	53	55	56	58	60	61	63	65	67	69	71	73	76	78	80	83	85	1.302	774	
TOTAL GASTOS DE MANTENIMIENTO:	0	37.056	38.168	39.313	40.492	51.662	42.958	44.247	45.575	46.942	72.920	49.801	51.295	52.833	54.418	69.429	57.733	59.465	61.248	63.086	64.979	1.043.620	620.915	
TOTAL GASTOS:	162.092	94.380	97.211	100.128	103.132	116.180	109.412	112.695	116.076	119.558	147.714	126.839	130.644	134.563	138.600	156.137	147.041	151.452	155.996	160.676	165.496	2.746.022	1.698.168	

ALTERNATIVA 2 LED

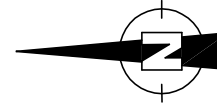
FLUJOS ECONÓMICOS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	TOTAL	VAN	TIR
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032			
<u>PUESTA A CERO INSTALACIONES</u>																								
Coste de las obras	375.802	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	375.802	375.802	
TOTAL PUESTA A CERO INSTALACIONES:	375.802	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	375.802	375.802	
<u>GASTOS DE EXPLOTACIÓN</u>																								
Consumos eléctricos	0	31.298	32.237	33.204	34.200	35.226	36.283	37.371	38.492	39.647	40.836	42.062	43.323	44.623	45.962	47.341	48.761	50.224	51.730	53.282	54.881	840.982	478.978	
TOTAL GASTOS DE EXPLOTACIÓN:	0	31.298	32.237	33.204	34.200	35.226	36.283	37.371	38.492	39.647	40.836	42.062	43.323	44.623	45.962	47.341	48.761	50.224	51.730	53.282	54.881	840.982	499.662	
<u>GASTOS DE MANTENIMIENTO</u>																								
Mantenimiento preventivo																								
Revisiones y mediciones	0	33.598	34.606	35.644	36.713	37.815	38.949	40.118	41.321	42.561	43.838	45.153	46.507	47.903	49.340	50.820	52.345	53.915	55.532	57.198	58.914	902.791	536.385	
Limpeza de luminarias	0	1.662	1.712	1.763	1.816	1.871	1.927	1.985	2.044	2.105	2.169	2.234	2.301	2.370	2.441	2.514	2.589	2.667	2.747	2.829	2.914	44.659	26.533	
Reposición de lámparas al final de su vida útil	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Reposición de equipos al final de su vida útil	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13.029	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13.029	7.999	
Mantenimiento correctivo																								
Reposición de lámparas averiadas	0	493	508	523	539	555	572	589	606	625	643	663	683	703	724	746	768	791	815	839	865	13.249	7.872	
Reposición de equipos auxiliares	0	48	50	51	53	55	56	58	60	61	63	65	67	69	71	73	76	78	80	83	85	1.303	774	
TOTAL GASTOS DE MANTENIMIENTO:	0	35.802	36.876	37.982	39.121	40.295	41.504	42.749	44.031	45.352	59.742	48.114	49.558	51.044	52.576	54.153	55.778	57.451	59.174	60.950	62.778	975.030	579.563	
TOTAL GASTOS:	375.802	67.099	69.112	71.186	73.321	75.521	77.786	80.120	82.524	84.999	100.579	90.176	92.881	95.668	98.538	101.494	104.538	107.675	110.905	114.232	117.659	2.191.814	1.455.026	

DIFERENCIA DE FLUJOS ECONÓMICOS	(213.710)	27.281	28.099	28.942	29.810	40.659	31.626	32.575	33.552	34.558	47.135	36.663	37.763	38.896	40.063	54.643	42.503	43.778	45.091	46.444	47.837	554.208	243.141	14,85%
--	-----------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	----------------	----------------	---------------

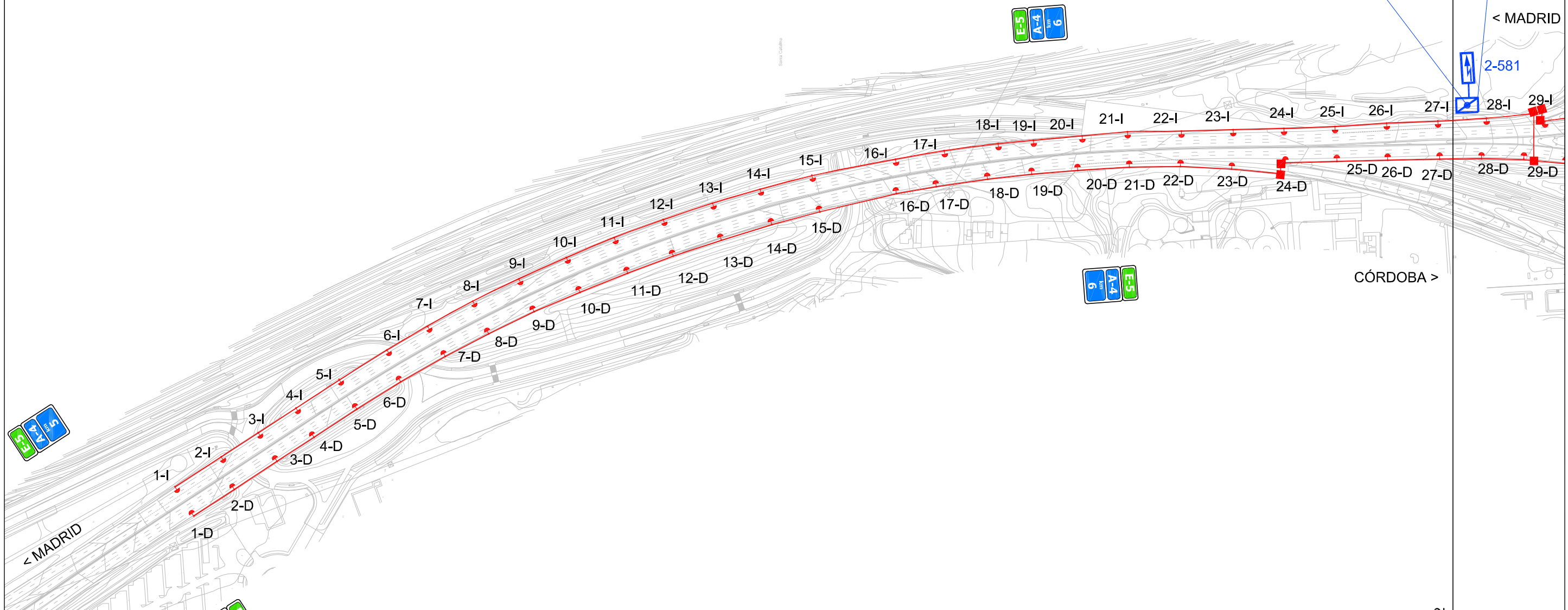
ACUMULADO	(213.710)	(186.429)	(158.330)	(129.388)	(99.577)	(58.918)	(27.292)	5.283	38.835	73.393	120.529	157.192	194.955	233.850	273.913	328.556	371.059	414.836	459.927	506.371	554.208			
------------------	-----------	-----------	-----------	-----------	----------	----------	----------	-------	--------	--------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	----------------	--	--	--

APÉNDICE 1. PLANOS

ALTERNATIVA 1 VSAP



CUADRO 2-581
TRONCO: 1-D A 35-D / 1-I A 40-I



LÍNEAS ELÉCTRICAS

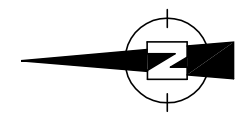
- CUADRO 2-581
- CUADRO 3-657
- CUADRO 3-658
- CUADRO 3-659
- CUADRO 3-660

LEYENDA

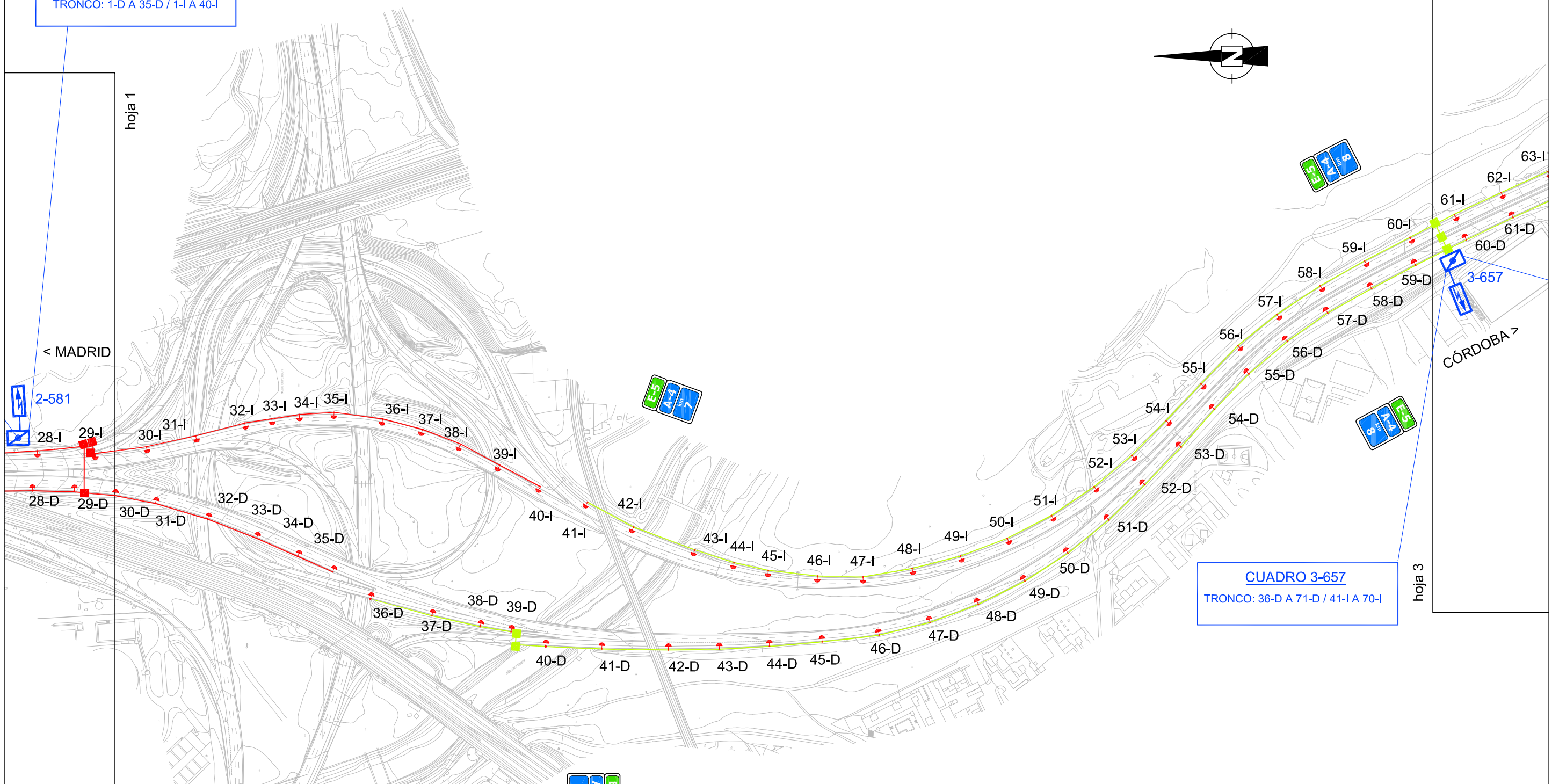
- CUADRO DE MANDO
- ARQUETA CRUCE DE CALZADA
- LÁMPARA 400 W

hoja 2

CUADRO 2-581
TRONCO: 1-D A 35-D / 1-I A 40-I



hoja 1



CUADRO 3-657
TRONCO: 36-D A 71-D / 41-I A 70-I

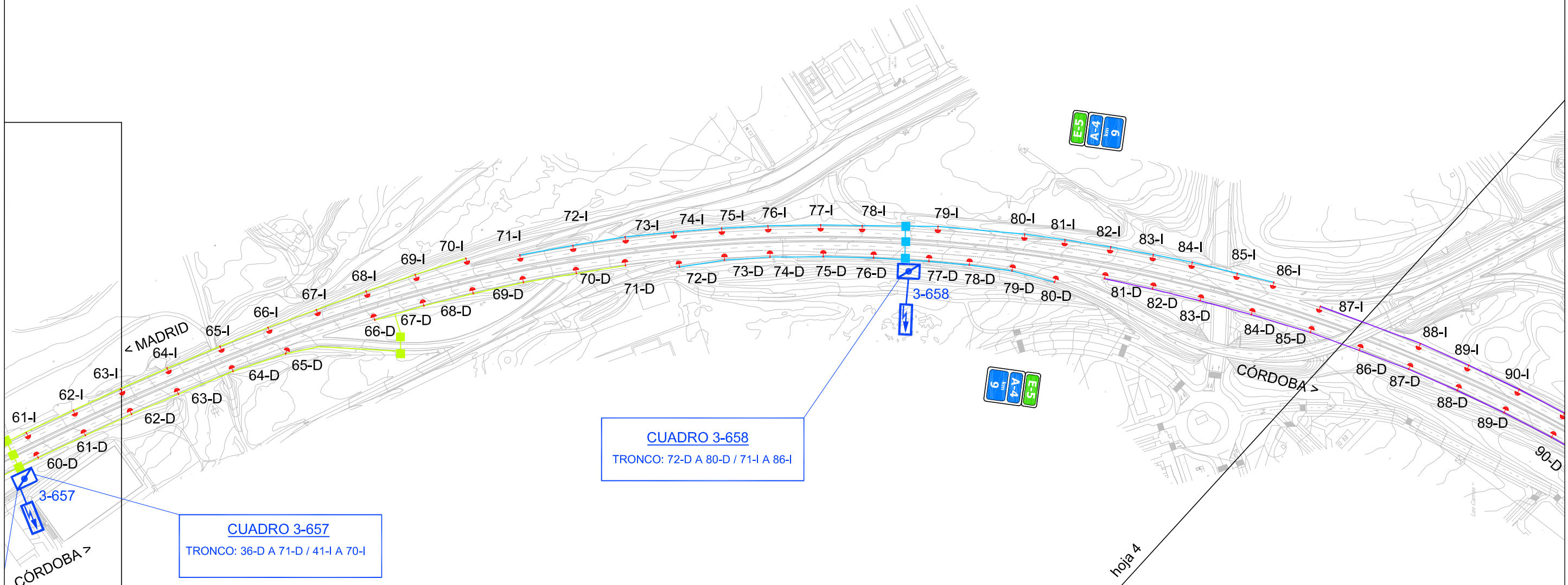
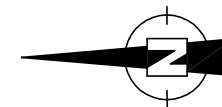
hoja 3

LÍNEAS ELÉCTRICAS

- CUADRO 2-581
- CUADRO 3-657
- CUADRO 3-658
- CUADRO 3-659
- CUADRO 3-660

LEYENDA

- CUADRO DE MANDO
- ACOMETIDA
- LÁMPARA 400 W
- ARQUETA CRUCE DE CALZADA



CUADRO 3-658
TRONCO: 72-D A 80-D / 71-I A 86-I

CUADRO 3-657
TRONCO: 36-D A 71-D / 41-I A 70-I

LÍNEAS ELÉCTRICAS

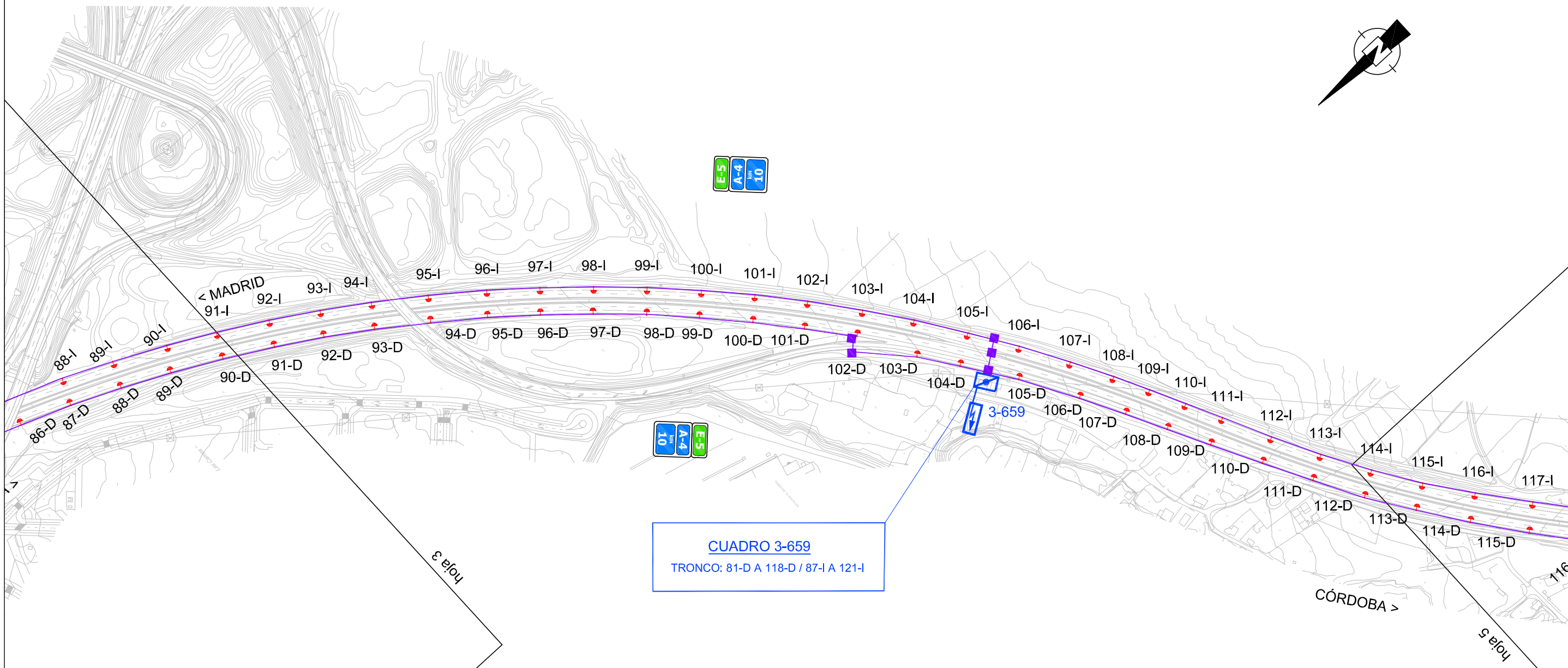
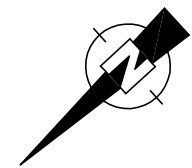
- CUADRO 2-581
- CUADRO 3-657
- CUADRO 3-658
- CUADRO 3-659
- CUADRO 3-660

LEYENDA

- CUADRO DE MANDO
- ACOMETIDA
- LÁMPARA 400 W
- ARQUETA CRUCE DE CALZADA

hoja 2

hoja 4



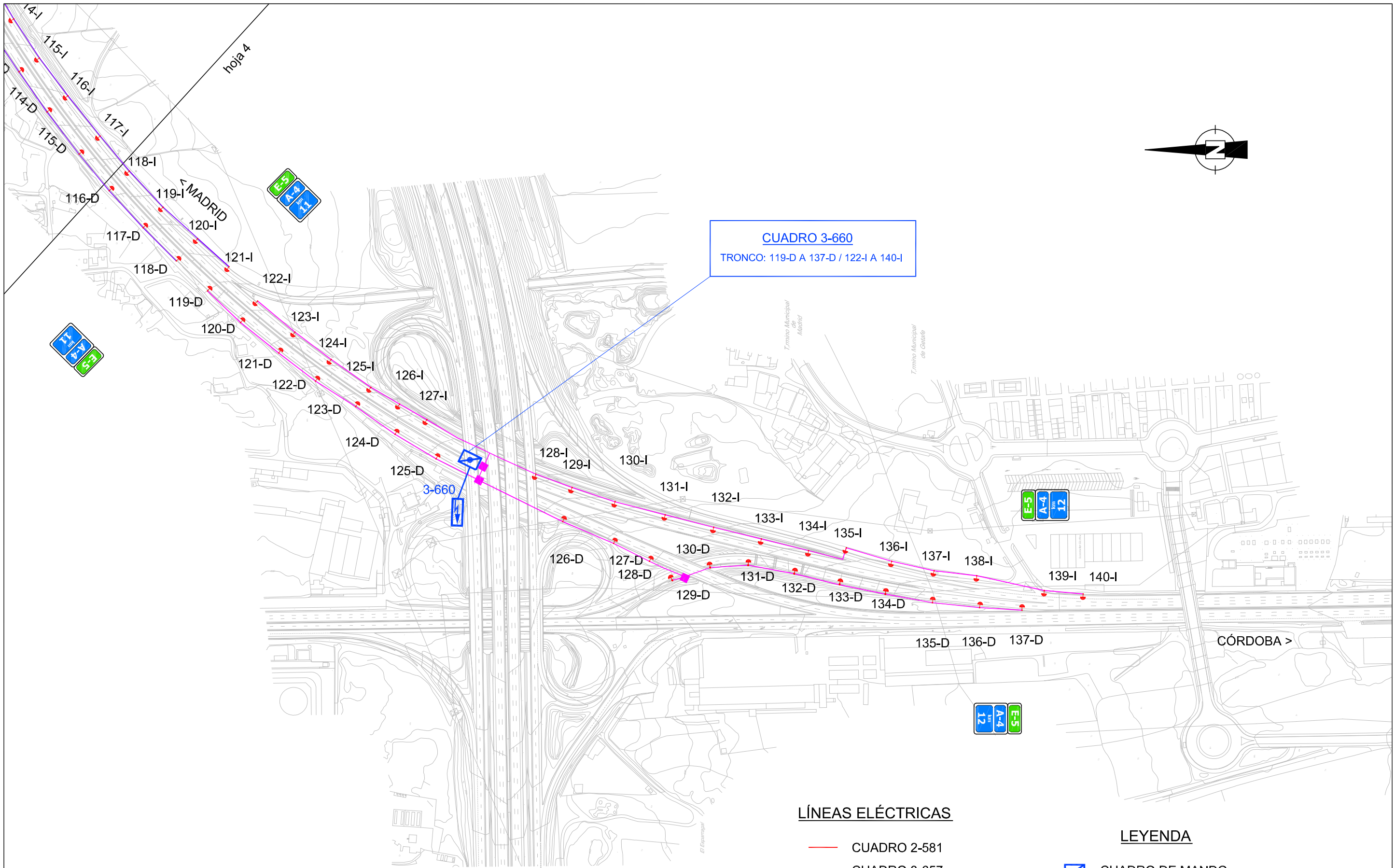
CUADRO 3-659
 TRONCO: 81-D A 118-D / 87-I A 121-I

LÍNEAS ELÉCTRICAS

- CUADRO 2-581
- CUADRO 3-657
- CUADRO 3-658
- CUADRO 3-659
- CUADRO 3-660

LEYENDA

- CUADRO DE MANDO
- ACOMETIDA
- LÁMPARA 400 W
- ARQUETA CRUCE DE CALZADA



CUADRO 3-660
 TRONCO: 119-D A 137-D / 122-I A 140-I

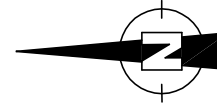
LÍNEAS ELÉCTRICAS

- CUADRO 2-581
- CUADRO 3-657
- CUADRO 3-658
- CUADRO 3-659
- CUADRO 3-660

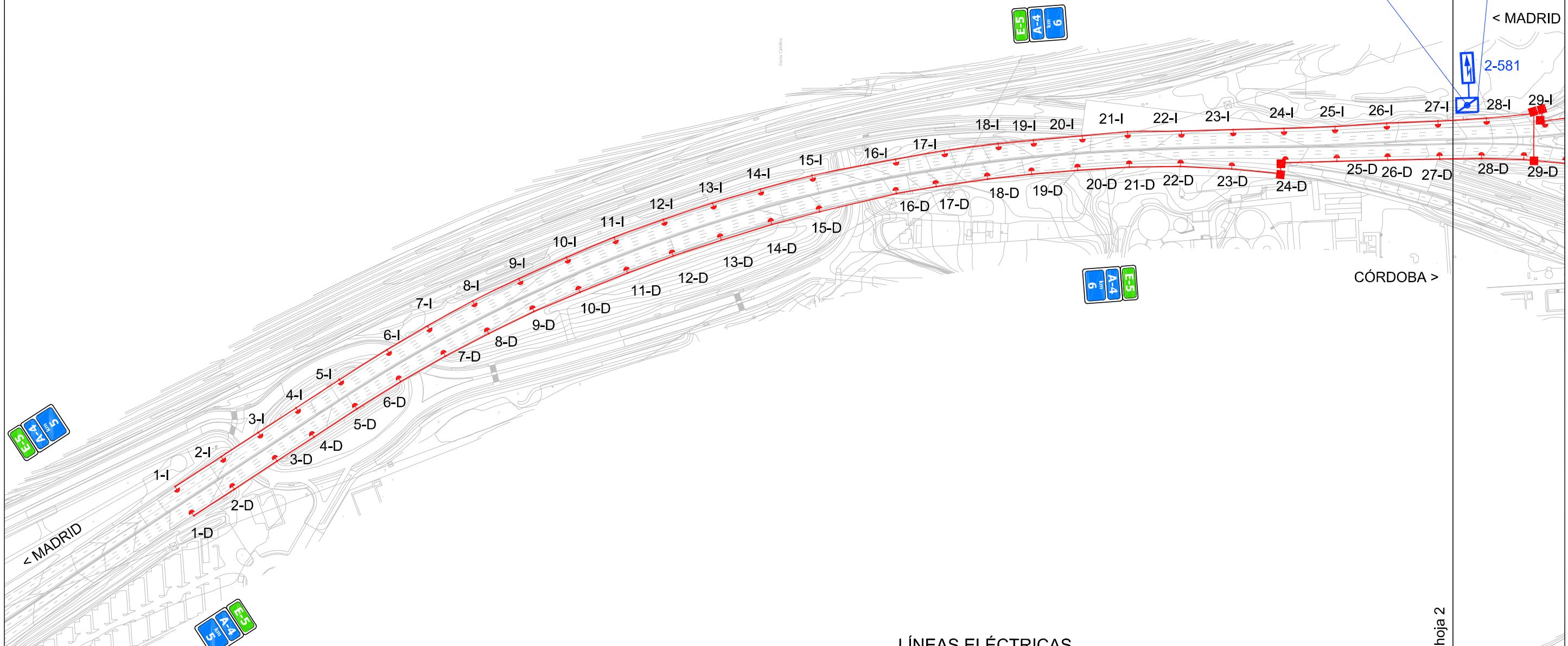
LEYENDA

- CUADRO DE MANDO
- ACOMETIDA
- LÁMPARA 400 W
- ARQUETA CRUCE DE CALZADA

ALTERNATIVA 2 LED



CUADRO 2-581
TRONCO: 1-D A 35-D / 1-I A 40-I



LÍNEAS ELÉCTRICAS

- CUADRO 2-581
- CUADRO 3-657
- CUADRO 3-658
- CUADRO 3-659
- CUADRO 3-660

LEYENDA

- CUADRO DE MANDO
- ACOMETIDA
- LUMINARIA 240 W
- ARQUETA CRUCE DE CALZADA

hoja 2




SECRETARÍA DE ESTADO DE INFRAESTRUCTURAS
DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS

PROYECTO DE REHABILITACIÓN Y MEJORA DE LA INSTALACIÓN DE ALUMBRADO EN LA AUTOVÍA A-4. TRAMO DEL P.K. 5+000 AL P.K. 12+000

CLAVE: -

EL INGENIERO DE CAMINOS DIRECTOR DEL PROYECTO:

VºBº EL JEFE DE LA DEMARCACIÓN

D. VICENTE VILANOVA MARTÍNEZ-FALERO

CONSULTOR:



EL INGENIERO AUTOR DEL PROYECTO

FECHA:

DICIEMBRE 2011

ESCALAS

1:2000

ORIGINAL A1



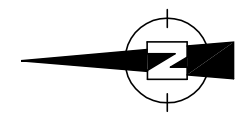
TÍTULO DEL PLANO:

ALTERNATIVA 2 - LED
PLANTA GENERAL

NÚMERO DE PLANO:
AP-1.2

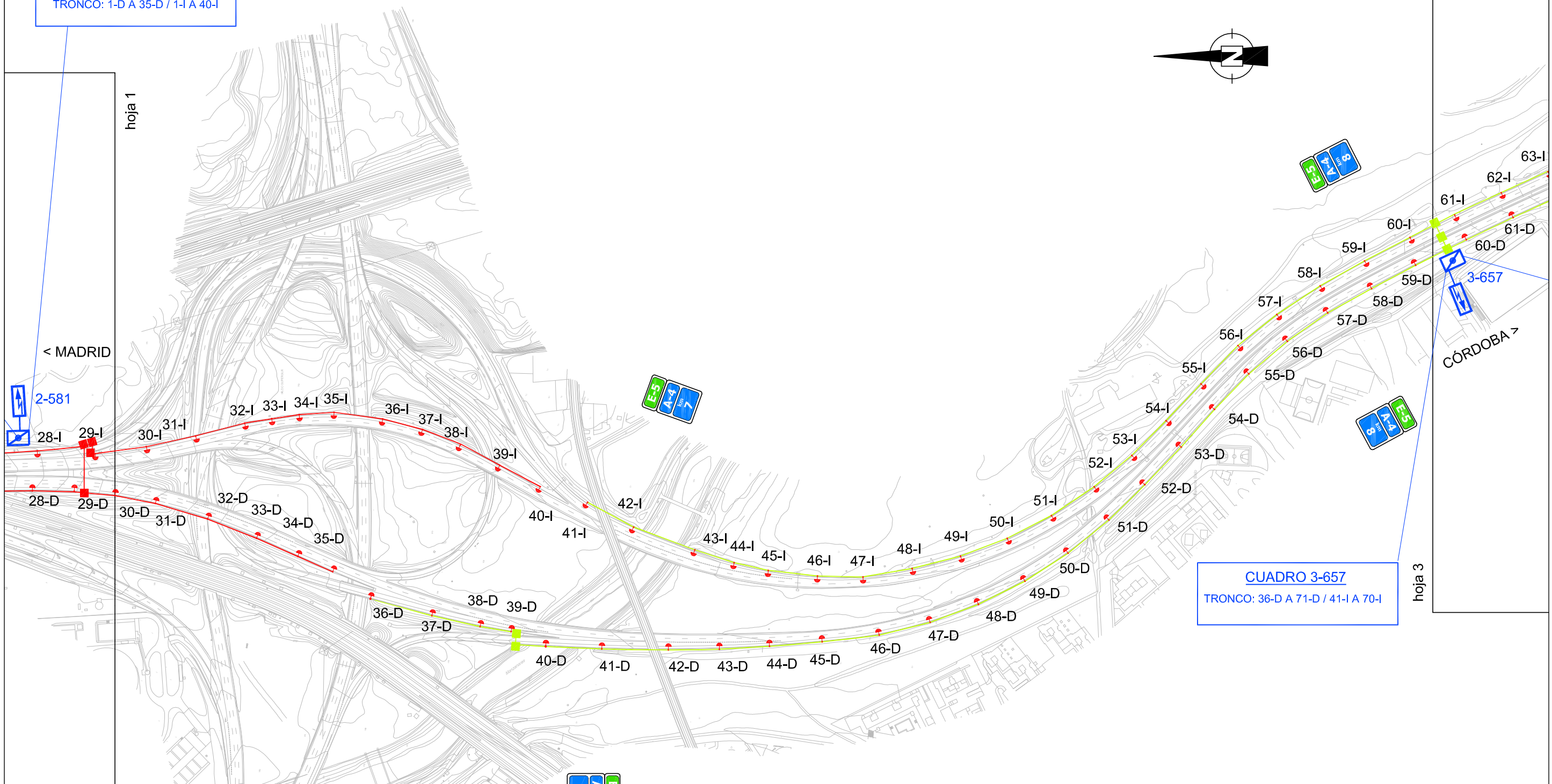
HOJA 1 DE 5

CUADRO 2-581
TRONCO: 1-D A 35-D / 1-I A 40-I



hoja 1

hoja 3



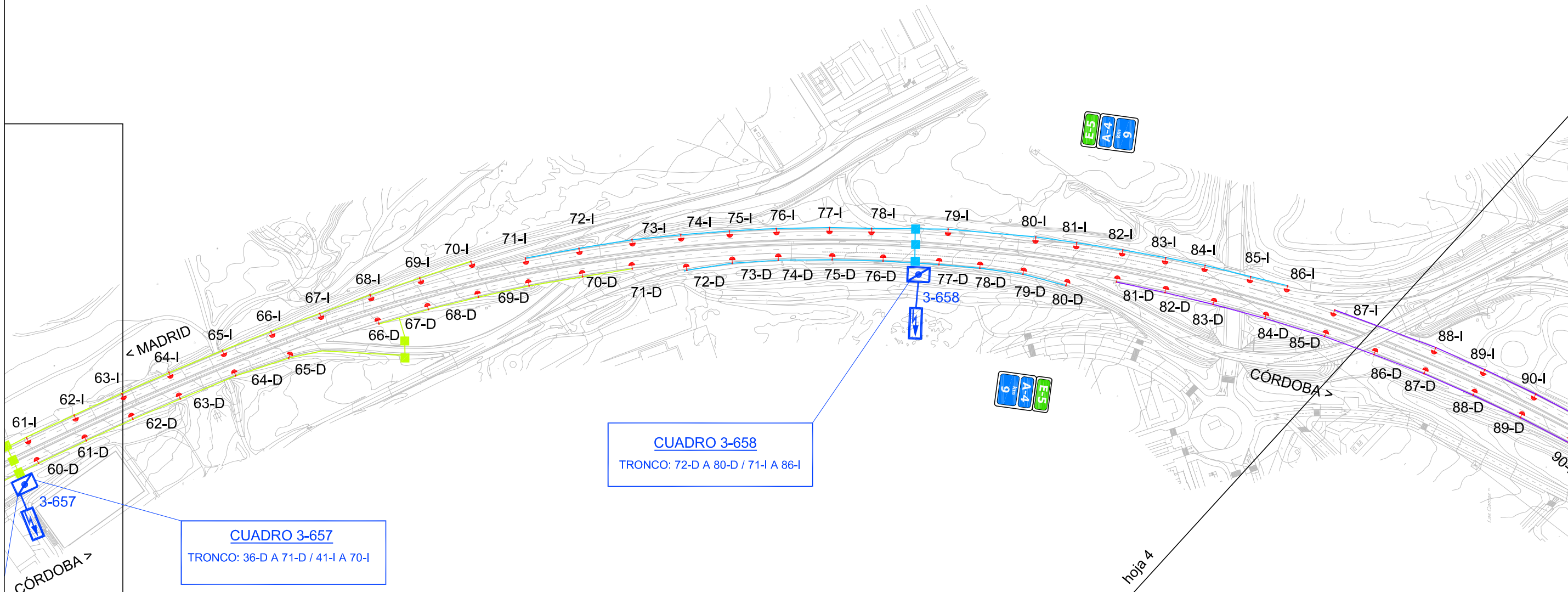
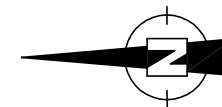
CUADRO 3-657
TRONCO: 36-D A 71-D / 41-I A 70-I

LÍNEAS ELÉCTRICAS

- CUADRO 2-581
- CUADRO 3-657
- CUADRO 3-658
- CUADRO 3-659
- CUADRO 3-660

LEYENDA

- CUADRO DE MANDO
- ACOMETIDA
- LUMINARIA 240 W
- ARQUETA CRUCE DE CALZADA



CUADRO 3-658
TRONCO: 72-D A 80-D / 71-I A 86-I

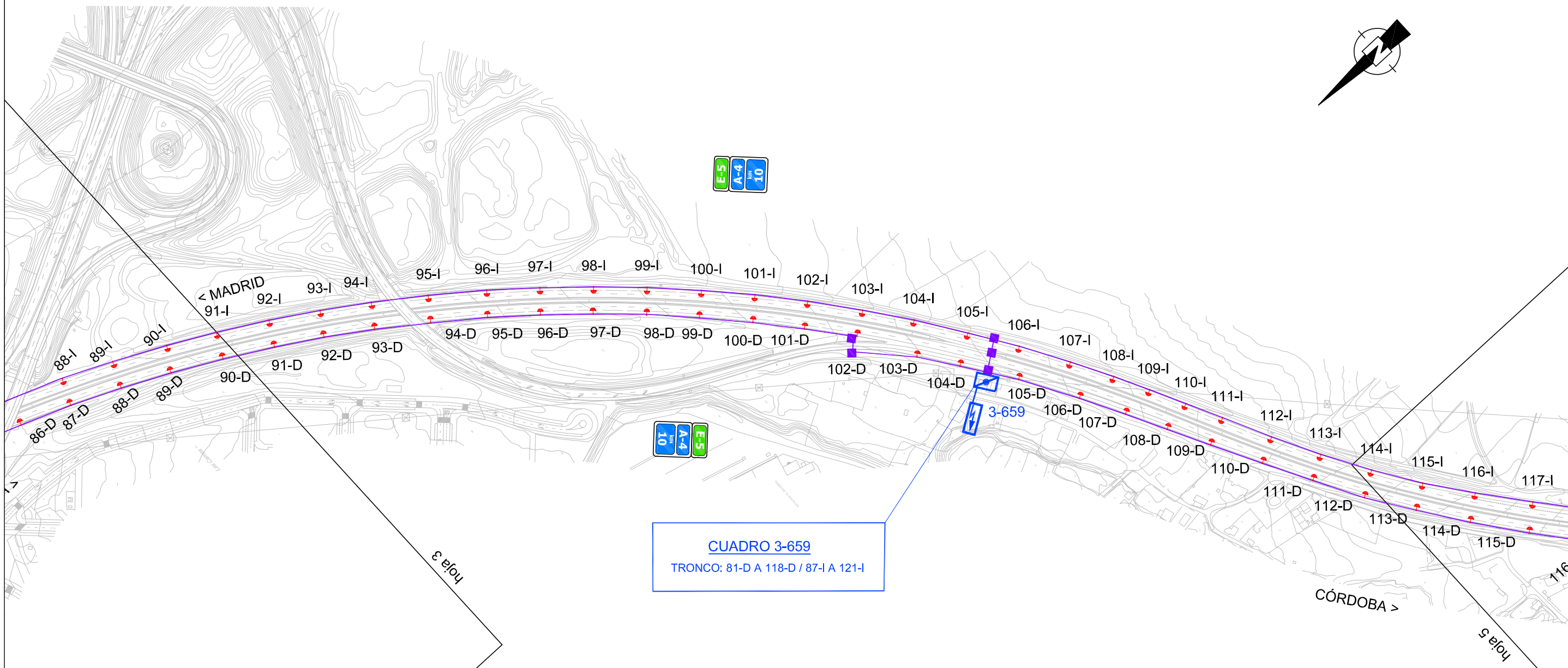
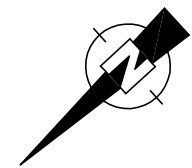
CUADRO 3-657
TRONCO: 36-D A 71-D / 41-I A 70-I

LÍNEAS ELÉCTRICAS

- CUADRO 2-581
- CUADRO 3-657
- CUADRO 3-658
- CUADRO 3-659
- CUADRO 3-660

LEYENDA

- CUADRO DE MANDO
- ACOMETIDA
- LUMINARIA 240 W
- ARQUETA CRUCE DE CALZADA



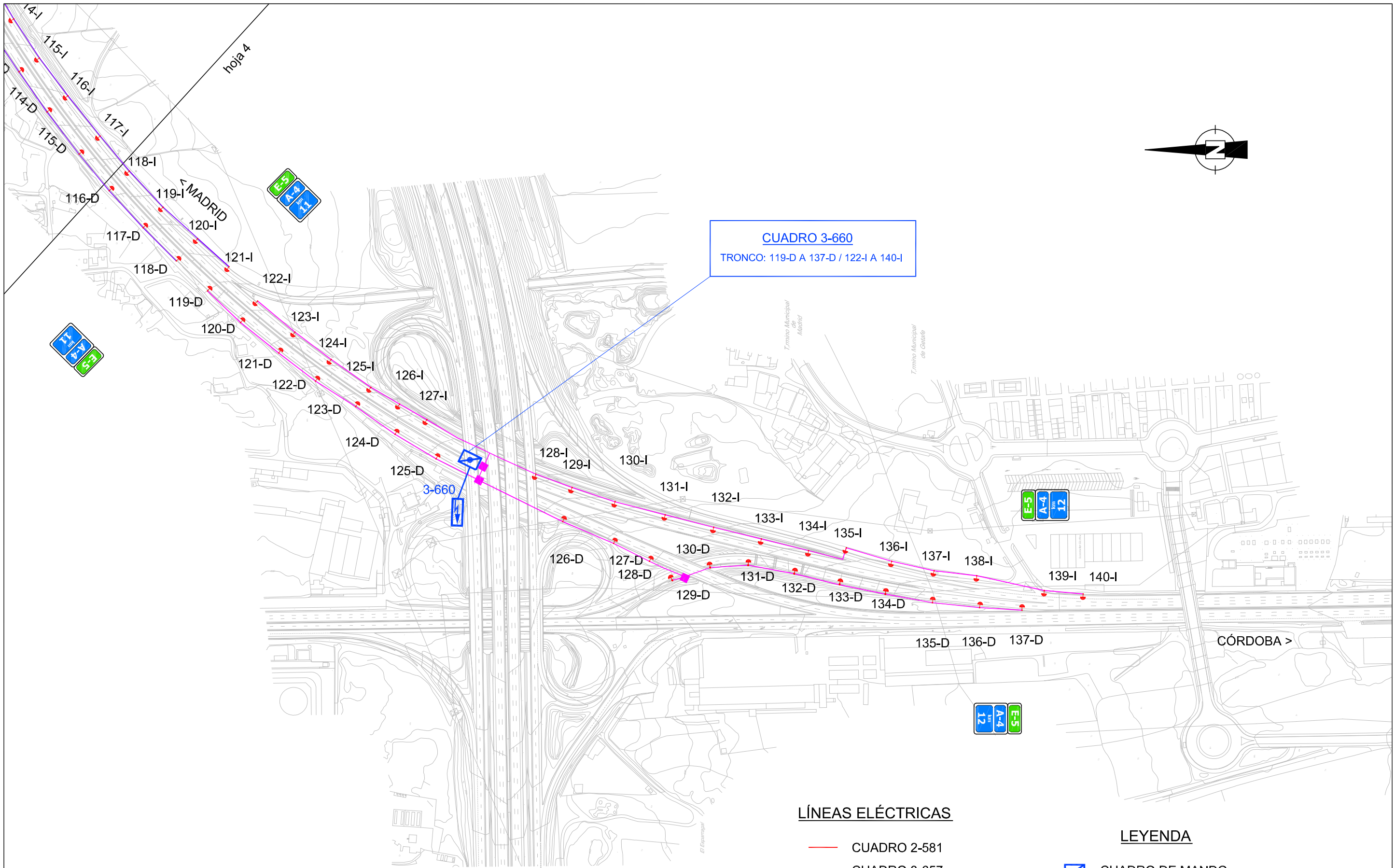
CUADRO 3-659
 TRONCO: 81-D A 118-D / 87-I A 121-I

LÍNEAS ELÉCTRICAS

- CUADRO 2-581
- CUADRO 3-657
- CUADRO 3-658
- CUADRO 3-659
- CUADRO 3-660

LEYENDA

- CUADRO DE MANDO
- ACOMETIDA
- LUMINARIA 240 W
- ARQUETA CRUCE DE CALZADA



CUADRO 3-660
TRONCO: 119-D A 137-D / 122-I A 140-I

LÍNEAS ELÉCTRICAS

- CUADRO 2-581
- CUADRO 3-657
- CUADRO 3-658
- CUADRO 3-659
- CUADRO 3-660

LEYENDA

- CUADRO DE MANDO
- ACOMETIDA
- LUMINARIA 240 W
- ARQUETA CRUCE DE CALZADA

APÉNDICE 2. PRESUPUESTOS

ALTERNATIVA 1 VSAP

PRESUPUESTO Y MEDICIONES

CÓDIGO	RESUMEN	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
CAPÍTULO 1 OBRA CIVIL				
1.1	P.A. PUESTA AL DÍA OBRA CIVIL A justificar para puesta al día de la obra civil.	1,00	40.000,00	40.000,00
TOTAL CAPÍTULO 1 OBRA CIVIL.....				40.000,00
CAPÍTULO 2 INSTALACIÓN ELÉCTRICA				
2.1	P.A. PUESTA AL DÍA INSTALACIÓN ELÉCTRICA A justificar para puesta al día de instalación eléctrica.	1,00	72.000,00	72.000,00
2.2	m SUSTITUCIÓN DE LÁMPARA 400 W Sustitución de lámpara de VSAP de 400 w de potencia.	277,00	31,00	8.587,00
2.3	m SUSTITUCIÓN DE BALASTO Sustitución de balasto. Totalmente conexionado y probado.	277,00	35,00	9.695,00
TOTAL CAPÍTULO 2 INSTALACIÓN ELÉCTRICA.....				90.282,00
CAPÍTULO 3 SEGURIDAD Y SALUD				
3.1	PRESUPUESTO SEGURIDAD Y SALUD Presupuesto de seguridad y salud, según anejo.	1,00	1.500,00	1.500,00
TOTAL CAPÍTULO 3 SEGURIDAD Y SALUD.....				1.500,00
TOTAL.....				131.782,00

ALTERNATIVA 2 LED

PRESUPUESTO Y MEDICIONES

CÓDIGO	RESUMEN	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
CAPÍTULO 1 OBRA CIVIL				
1.1	P.A. PUESTA AL DÍA OBRA CIVIL A justificar para puesta al día de obra civil.	1,00	32.000,00	32.000,00
TOTAL CAPÍTULO 1 OBRA CIVIL				32.000,00
CAPÍTULO 2 INSTALACIÓN ELÉCTRICA				
2.1	P.A. PUESTA AL DÍA INSTALACIÓN ELÉCTRICA A justificar para puesta al día de instalación eléctrica.	1,00	24.000,00	24.000,00
2.2	m SUSTITUCIÓN LUMINARIA Retirada de luminaria de VSAP y suministro e instalación de luminaria LED de 240 w. Totalmente conexas y probada.	277,00	890,00	246.530,00
TOTAL CAPÍTULO 2 INSTALACIÓN ELÉCTRICA.....				270.530,00
CAPÍTULO 3 SEGURIDAD Y SALUD				
3.1	PRESUPUESTO SEGURIDAD Y SALUD Presupuesto de seguridad y salud, según anejo.	1,00	3.000,00	3.000,00
TOTAL CAPÍTULO 3 SEGURIDAD Y SALUD.....				3.000,00
TOTAL				305.530,00

***ANEJO 7. EJEMPLOS DE ALGUNAS
REALIZACIONES***

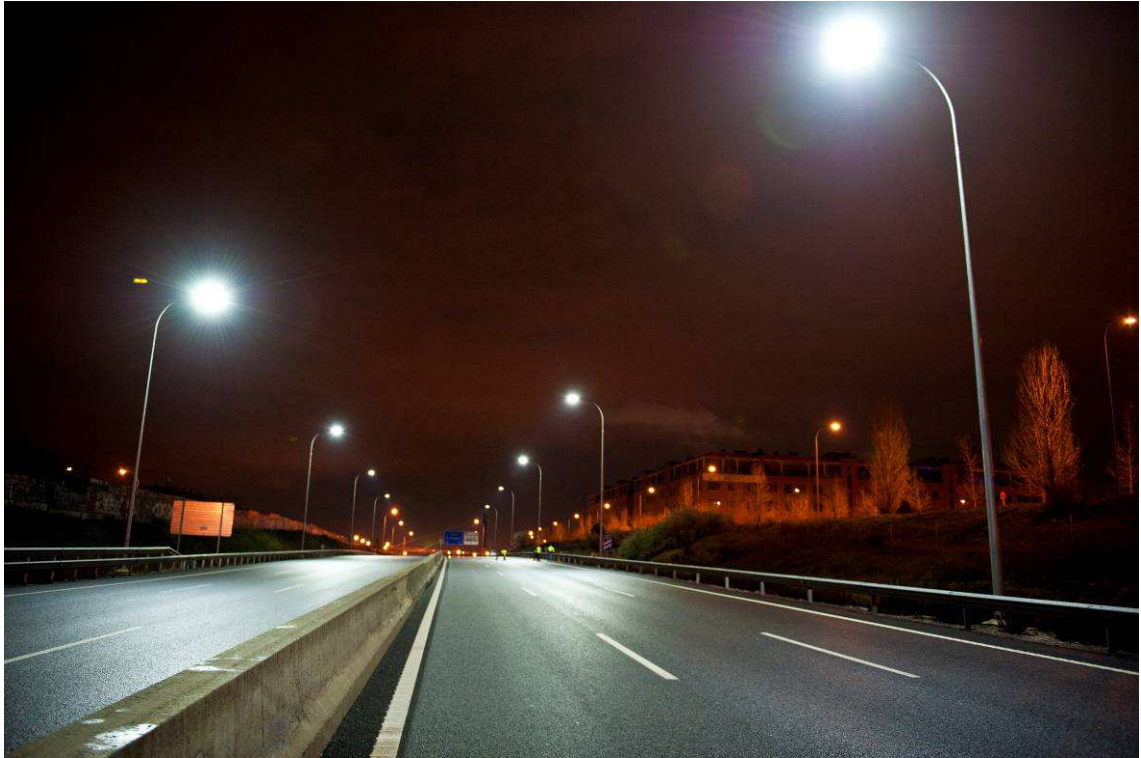
ÍNDICE

1. OBJETO.....	1
2. REPORTAJE FOTOGRÁFICO.....	1

1. OBJETO

El objeto de este anejo es presentar fotografías de algunas realizaciones.

2. REPORTAJE FOTOGRÁFICO



Fotografía 1. Autovía M-11. Sección tipo con dos calzadas y tres carriles cada una. Iluminación con tecnología LED con báculos de 14 m. de altura. Interdistancia 50 m. Tipo de implantación: tresbolillo.



Fotografía 2. Autovía M-13. Sección tipo con dos calzadas y tres carriles cada una. Iluminación con tecnología VSAP con báculos de 14 m de altura. Interdistancia 40 m. Tipo de implantación: tresbolillo.



Fotografía 3. Autovía A-2. Sección tipo con dos calzadas y cuatro carriles cada una. Iluminación con tecnología VSAP. Interdistancia 40 m. Tipo de implantación: axial.



Fotografía 4. Autovía A-2. Sección tipo con dos calzadas y cuatro carriles cada una. Iluminación con tecnología VSAP. Interdistancia 40 m. Tipo de implantación: axial.



Fotografía 5. Sección tipo con una calzada y un carril por sentido. Iluminación con tecnología VSAP. Tipo de implantación: unilateral.



Fotografía 6. Sección tipo con una calzada y un carril por sentido. Iluminación con tecnología VSAP. Tipo de implantación: unilateral.



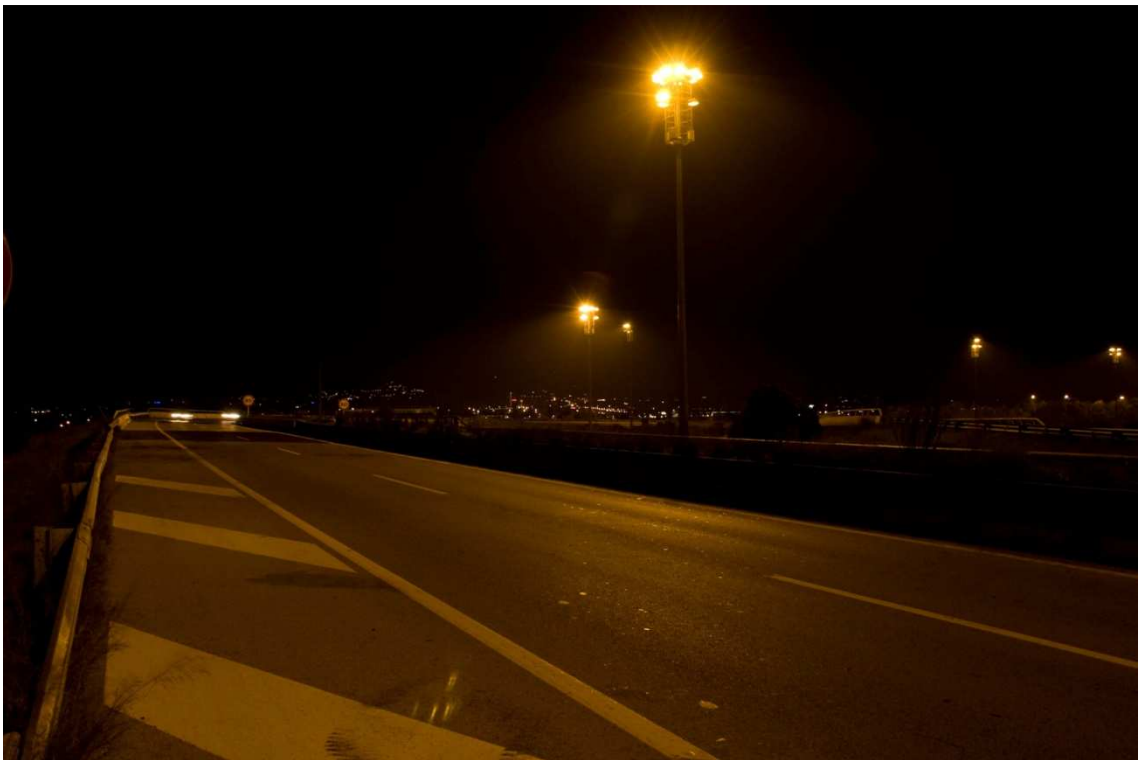
Fotografía 7. Autovía A-2. Sección tipo con dos calzadas y dos carriles cada una. Iluminación con tecnología VSAP. Tipo de implantación: axial.



Fotografía 8. Autovía A-2. Sección tipo con dos calzadas y dos carriles cada una. Iluminación con tecnología VSAP. Tipo de implantación: axial.



Fotografía 9. Autovía A-2. Sección tipo con dos calzadas y dos carriles cada una. Iluminación con tecnología VSAP. Tipo de implantación: axial.



Fotografía 10. Autovía A-2. Sección tipo con dos calzadas y dos carriles cada una. Iluminación con tecnología VSAP. Torres de iluminación.



Fotografía 11. Autovía A-2. Sección tipo con dos calzadas y dos carriles cada una. Iluminación con tecnología VSAP. Torres de iluminación.