



industriales
etsii

**Escuela Técnica
Superior
de Ingeniería
Industrial**

Máster Universitario en Energías Renovables

TRABAJO FIN DE MÁSTER

**“Optimización Energética de Alumbrado
Público: Aplicación al Paseo Marítimo de Los
Nietos (Mar Menor, Murcia)”**

**Alumna: Encarnación M. Sanes Linares
Profesor: Ángel Molina-García**

Cartagena, Curso 2018/2019



**Universidad
Politécnica
de Cartagena**

Optimización Energética de Alumbrado Público: Aplicación al Paseo Marítimo de Los Nietos (Mar Menor, Murcia)

Alumno: Encarnación M. Sanes Linares
Tutor: Ángel Molina-García

Cartagena, Octubre 2019

RESUMEN

Es indudable que el alumbrado público exterior posibilita desarrollar múltiples actividades en la noche, proporcionándonos la visibilidad que necesitamos, pero sin embargo representa para los ayuntamientos un gasto considerable, además de influir en la contaminación del medio ambiente ya sea por emisión de dióxido de carbono como por la contaminación lumínica.

Ante dicha situación, se ha estimado necesario optimizar el uso de las instalaciones del alumbrado público en el paseo marítimo de la localidad de Los Nietos, complementado con un proyecto de nueva instalación en el paraje de la Lengua de la Vaca a base de energías renovables.

Analizada la reglamentación vigente y mediante el uso de software especializado, con los datos obtenidos, se plantea este proyecto para la sustitución de las luminarias actuales por otras de tecnología LED en dicho paseo, así como su implementación con un nuevo alumbrado en el paraje Lengua de la Vaca mediante luminarias solares 100% autónomas. Ello supone, para el primer caso con el cambio de luminarias de VSAP por otras LED, un gran ahorro desde el punto de vista económico y energético entorno al 63 % con respecto a la instalación actual y, para el segundo, la apuesta firme por los beneficios medioambientales de las energías renovables.

Palabras Clave: Alumbrado público, Optimización energética, Energía Solar, Los Nietos.

ABSTRACT

There is no doubt that outdoor public lighting makes possible to develop multiple activities at night, providing us with the visibility we need. However, it represents a considerable cost for the municipalities, in addition to its influence in the pollution of the environment either by emission of carbon dioxide as by light pollution.

Given this situation, it has been deemed necessary to optimize the use of public lighting facilities on the seafront in the town Los Nietos, complemented by a new installation project in the area of "La Lengua de la Vaca" based on renewable energy.

Analyzed the current regulations and through the use of specialized software, with the data obtained, this project is proposed for the replacement of the current luminaires with others with LED technology on the mentioned seafront, as well as its implementation with a new lighting in "La Lengua de la Vaca" through 100% autonomous solar luminaires. This means, for the first case with the change of VSAP luminaires for other LEDs, a great saving from the economic and energy point of view around 63% in relation to the current installation and, for the second, the firm commitment to environmental benefits of renewable energy.

Keywords: Public lighting, Energy optimization, Solar Energy, Los Nietos.

Agradecimientos

***A mi familia, mis amigos y compañeros, mis profesores,
especialmente a mi tutor, a la Universidad y a mi
empresa, por enseñarme.....***

.....siempre!!

ÍNDICE

1.- INTRODUCCIÓN	5
2.- MEMORIA DESCRIPTIVA	7
2.1. Objetivo del proyecto.....	7
2.2. Metodología.....	8
2.3. Fases del proyecto	8
2.4. Fundamentos luminotécnicos	9
2.5. Definiciones y conceptos generales	10
2.6. El alumbrado, evolución histórica	11
2.7. Luminarias y componentes generales	12
2.8. Optimización energética.....	16
2.9. Tecnología LED	17
2.10. Reglamentación.....	17
2.11. Emplazamiento	18
2.12. Descripción de la zona de estudio	19
2.13. Descripción instalación actual	20
2.14. Criterio para el diseño de una instalación adecuada	22
2.15. Diseño	27
2.15.1. Propuestas de parámetros de iluminación e instalación de las luminarias	28
2.15.2. Elaboración diseño de la instalación de iluminación parámetros establecidos...	31
2.15.3. Instalación Eléctrica.....	33
2.15.4. Regulación y control del flujo lumínico	34
2.16. Costes y facturación. Verificación del ahorro de la propuesta de mejora	35
3. MEMORIA DE CÁLCULOS	39
4. PRESUPUESTO.....	51
5. PLANOS	56
6. ANEJOS.....	57
7. CONCLUSIONES.....	58
8. RESUMEN FINAL	59
9. BIBLIOGRAFÍA	60

NOMENCLATURAS Y ABREVIATURAS

BOE	Boletín Oficial del Estado
EERR	Energías renovables
Em	Iluminancia media
Emin	Iluminancia mínima
ETSII	Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales
FHS	Flujo Hemisferio Superior
GIE	Grado Ingeniería de la Energía
IMD	Intensidad Media Diaria
km	Kilómetro
kW	Kilovatios
kWh	Kilovatio hora
LED	Light Emitting Diode. Diodo emisor de luz
Lm	Lumen
Lx	Lux
Lm	Lumen
m	Metro
mA	Miliamperio
mm	Milímetro
OM	Orden Ministerial
RD	Real Decreto
R	Reglamento
REEIAE	Regl. Eficiencia Energética Instalaciones Alumbrado Exterior
T	Total
TFM	Trabajo Fin de Máster
Um	Uniformidad media
UPCT	Universidad Politécnica de Cartagena
VSAP	Vapor Sodio Alta Presión
W	Vatios

1.- INTRODUCCIÓN

Con la realización de este Trabajo Fin de Máster -TFM- sobre optimización energética en el alumbrado público del paseo marítimo de Los Nietos, que depende de la administración local -Ayuntamiento de Cartagena-, se pretende realizar un diagnóstico energético pormenorizado del actual existente y plantear una propuesta de nueva instalación basada en iluminación LED. Este trabajo también incluye una propuesta de nueva iluminación funcional a base de energía solar, inexistente en la actualidad, en la zona de transición denominada “Lengua de la Vaca” entre los núcleos de las playas de Los Nietos e Islas Menores y que estará mimetizada con el entorno. Todo ello repercutirá positivamente sobre el consumo energético, el ahorro económico correspondiente, y en una menor contaminación del medio ambiente ya sea por emisión de dióxido de carbono, así como por la contaminación lumínica.

En efecto, a nadie le cabe la menor duda de la creciente y enorme sensibilización de la sociedad actual sobre todos los aspectos que influyen en el medio ambiente, como la desertización, pérdida de la biodiversidad, y en general el denominado cambio climático, considerado como una prioridad mundial por los distintos programas de Naciones Unidas y Protocolo de Kioto entre otros. Así es que, ante esta problemática, las distintas administraciones deben intentar volcar también sus esfuerzos en disminuir, a través del uso de las Energías Renovables -EERR- y la optimización energética, las principales emisiones de CO₂. En efecto, un planteamiento de producción y consumo basado en EERR, permite un suministro de energía eficiente y sostenible, reduciendo los efectos negativos para el medio ambiente por el consumo de combustibles fósiles.

Asimismo, especial importancia cobra la Energía Solar fotovoltaica, entre las diversas renovables existentes, y que supone la producción de energía eléctrica directamente a partir de la radiación inagotable del Sol; un proceso que no presenta emisión alguna de gases de efecto invernadero durante la producción de la energía. En efecto, España es uno de los países de Europa que reciben más radiación solar directa, y por ello debe ser un país pionero en el aprovechamiento de esta energía. Concretamente la Región de Murcia, y con ello el Mar Menor situado al sureste del país es uno de los lugares que presenta más horas solares anuales y una mayor irradiación solar que no debiera desaprovecharse a la hora de plantear proyectos de esta naturaleza.

Inicialmente, para la elaboración de este TFM, se ha realizado un inventario de las instalaciones existentes recopilando toda la información necesaria para poder analizar cada uno de los elementos energéticos -cuadros de mando, luminarias, distancias entre elementos, alturas de luminarias, longitud y anchura del paseo marítimo-. Asimismo, mediante un luxómetro se ha medido la intensidad lumínica de cada uno de los elementos inventariados con el fin de hacer el diagnóstico de posibles problemas como lámparas poco eficientes y exceso o defecto de luz.

Con la Reglamentación y normativa sobre alumbrado público como referencia, se ha valorado cada uno de los elementos objeto de estudio sistemas de encendido o apagado automático, tipología de lámparas y potencia, entre otros, identificando así las posibles medidas a adoptar para diseñar definitivamente un adecuado programa de optimización energética del alumbrado objeto de estudio.

Posteriormente se ha realizado un análisis de los costes energéticos y con los resultados se elabora la propuesta a tener en cuenta en la que se detalla las medidas a adoptar para mejorar la eficiencia y el gasto energético mediante simulaciones por software.

Para este trabajo se ha considerado de interés que las administraciones públicas son los principales consumidores de energía debido al gran número de instalaciones que gestionan y mantienen, especialmente las de alumbrado público que para algunos municipios puede suponer un porcentaje muy elevado de la partida presupuestaria final del ayuntamiento, y ello teniendo en cuenta la sensibilidad de la sociedad para con el medioambiente y el uso de EERR.

Es sabido que el alumbrado público exterior hace posible el desarrollo de un sinfín de actividades nocturnas y proporciona visibilidad tanto al peatón como al conductor. Ello, sin embargo, representa para los ayuntamientos como administraciones encargadas de su gestión, un gasto muy elevado. Ante esta situación, en la actualidad, cada vez más, existe la tendencia de racionalizar y optimizar el uso de las instalaciones del alumbrado público con la finalidad de obtener un significativo ahorro de energía en el mismo. En ese anterior contexto, se desarrolla a continuación la redacción del TFM denominado “Optimización Energética de Alumbrado Público: Aplicación al Paseo Marítimo de Los Nietos (Mar Menor, Murcia)” en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad Politécnica de Cartagena.

2.- MEMORIA DESCRIPTIVA

2.1. Objetivos

Este estudio sobre optimización energética en alumbrado público se basa en la realización de un diagnóstico energético de aquellas instalaciones energéticas dependientes de la administración local, en el que se plantean una serie de propuestas de ahorro que incidirán directamente en el consumo energético y su coste correspondiente.

Con la realización de este estudio se pretende, entre otros, cumplir con los objetivos de reducción del gasto energético municipal, así como la mejora de las instalaciones y establecimiento de los adecuados programas de gestión y mantenimiento.

El presente TFM se basa en el estudio luminotécnico y en el análisis de los diferentes elementos del alumbrado del paseo marítimo de la localidad de Los Nietos perteneciente al municipio de Cartagena, con el fin de obtener de éste el mayor rendimiento de la manera más óptima.

Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo es la identificación, el control y la planificación para la rectificación de los aspectos energéticos del alumbrado público del paseo marítimo de Los Nietos que no son eficientes, así como la implantación de las medidas correctoras necesarias para paliar dicha ineficiencia, sin olvidar la aplicación de sistemas y procedimientos de control que nos aseguren el correcto funcionamiento en el tiempo de todas las medidas establecidas. Asimismo, como ya se ha citado anteriormente, existe una zona con importante tránsito peatonal y cicloturista entre las localidades de Los Nietos e Islas Menores sin iluminación alguna en la que se pretende plantear un proyecto de iluminación respetuosa con el entorno con la cantidad de luz suficiente y apropiada mediante el uso de energía solar como alternativa.

En definitiva, se pretende con este trabajo un objetivo final, que no es otro, sino el mejor conocimiento sobre el alumbrado exterior de nuestros municipios para iluminar donde necesitamos, cuando necesitamos y con la cantidad de luz apropiada y con ello insistir en una mayor concienciación medioambiental mediante la incorporación progresiva de las EERR alternativas a proyectos de estas características.

2.2. Metodología

En primer lugar, para plantear este trabajo, se ha seleccionado el paseo marítimo del municipio cartagenero de Los Nietos por las características visiblemente obsoletas, en términos globales, que presenta el alumbrado público y que necesitan, desde hace tiempo, una renovación muy demandada socialmente.

Inicialmente, se ha procedido a elaborar un inventario de cada una de las instalaciones energéticas del mismo y ubicarlas sobre un plano, pretendiendo recopilar toda la información necesaria para poder analizar cada uno de los elementos energéticos - cuadros de mando, luminarias, distancias entre elementos, alturas de luminarias, longitud y anchura del vial-. Asimismo, se ha medido mediante un luxómetro la intensidad lumínica de cada uno de los elementos inventariados con el fin de hacer el diagnóstico de posibles problemas como lámparas poco eficientes, exceso o defecto de luz, y presencia de elementos distorsionadores.

Posteriormente se ha realizado un análisis de los costes energéticos y, con los resultados, la propuesta a tener en cuenta en la que se detalla las medidas a adoptar para mejorar la eficiencia y el gasto energético mediante simulaciones por el software específico de Dialux. Teniendo en cuenta la Reglamentación y normativa sobre alumbrado público como referencia, se ha valorado e identificando las posibles medidas a adoptar para diseñar definitivamente un adecuado programa de optimización energética del alumbrado exterior urbano.

En la zona de la “Lengua de la Vaca” se han considerado una nueva iluminación a base de luminarias autónomas alimentadas mediante energía solar teniendo en cuenta la línea de protección de ramblas, de costas y con respeto al entorno paisajístico.

2.3. Fases del proyecto

Inicialmente se selecciona la zona de actuación, y posteriormente se consideran las siguientes fases:

a) Recopilación de datos técnicos necesarios

Los trabajos deben iniciarse con la identificación y conocimiento de todos los focos de consumo energético que puedan estar relacionados con las instalaciones de alumbrado público exterior en las zonas o calles seleccionadas.

b) Labor de campo para la toma y recogida de datos

Para complementar los datos, se realiza un trabajo de campo en visitas diurnas y nocturnas a todos los sectores del alumbrado público y se identifican todos los elementos que componen un sector del alumbrado, distinguiendo entre otros: tipos de lámparas, luminarias, balastos, tipo de control para la conexión y desconexión de los equipos de iluminación, sistemas de ahorro de energía, inventario de todo el parque de luminarias, medición de los niveles lumínicos y características de la iluminación, etc.

c) Análisis y evaluación de la situación actual y elaboración de propuestas

Con todos los datos recogidos se elabora la propuesta de actuación mediante el uso de un programa informático de los existentes en el mercado, buscando los objetivos ya descritos que en resumen son la reducción del coste económico de explotación del alumbrado público, la reducción del consumo energético y la contaminación lumínica, mediante acciones sobre lámparas, y en su caso sobre equipos auxiliares y luminarias, instalación de mejores sistemas de encendido y apagado, instalación de sistemas de regulación de flujo luminoso, etc.

2.4. Fundamentos luminotécnicos

Se define luminotecnia como la ciencia que estudia la luz y sus colores con el fin de obtener una buena iluminación artificial, sin que haya contrastes excesivos, sombras y/o deslumbramientos.

La iluminación es la aplicación de la electricidad más antigua. Actualmente parece imposible hacer una vida normal sin tener luz eléctrica. Ésta es la más limpia, cómoda y segura de los diferentes tipos de luz artificial, pero hay que saber tratarla de forma eficiente y económica.

La luz artificial es la encargada de sustituir a la luz natural cuando sea necesario y debe parecerse lo máximo posible a ella. El problema del alumbrado se basa, principalmente, en la obtención de una buena iluminación con un menor consumo de energía eléctrica.

Para poder realizar un buen trabajo de iluminación, se exige la elaboración de un estudio para el cual son necesarios unos conceptos básicos de luminotecnia, por un lado, en cuanto a luz como la radiación electromagnética capaz de producir una sensación visual, y por otra, en cuanto a la radiación visible de proporcionar una

impresión luminosa capaz de aportar una sensación de color de los objetos que nos rodean.

Cabe destacar que la temperatura del color se mide en grados Kelvin y describe de forma genérica la calidez o la frialdad producida por la fuente de luz. Una temperatura de color bajo, indica una fuente cálida que enfatiza los rojos, los naranjas y los amarillos. Una temperatura de color más alto designa una fuente fría que enfatiza los azules y los verdes.

2.5. Definiciones y conceptos generales

Se hace a continuación la presentación de conceptos básicos y definiciones sobre iluminación necesarias para una mejor comprensión del TFM:

Flujo luminoso (Φ). Cantidad de luz que emite una fuente luminosa en todas direcciones, en un segundo. Su unidad de medida es el lumen. [Lm]

Intensidad luminosa (I). Cantidad de flujo luminoso emitido por una fuente en una dirección, por unidad de ángulo sólido. Su unidad de medida es la candela. [Cd]

$$I = \Phi/\omega$$

Iluminancia (E) o nivel de iluminación. Cantidad de flujo luminoso que llega a una superficie entre el área de dicha superficie. Su unidad de medida es el lux. [Lx]

$$E = \Phi/S$$

Luminancia (L) o brillo. Relación entre intensidad luminosa emitida por una fuente primaria o secundaria en una dirección y la superficie vista por el observador. Su unidad de medida es la candela/metro cuadrado. [cd/m²]

$$L = I/S$$

Eficiencia luminosa (e) o rendimiento luminoso. Relación entre el flujo luminoso y la potencia que consume la lámpara. Su unidad de medida es [Lm/W].

$$e = \Phi/P$$

Uniformidad. Iluminancia proporcionada sobre una superficie de referencia. Esta magnitud no suele ser uniforme, pero hay que tenerla muy en cuenta puesto que es un factor muy importante para un buen confort y visión de la zona a iluminar.

Deslumbramiento. Fenómeno por el cual se producen molestias en la percepción visual debido al exceso de luminancia del objeto que se observa.

2.6. El alumbrado. Evolución histórica

De forma general cuando se hace alusión a la palabra alumbrado se refiere a aquel sistema destinado para aportarle iluminación a un espacio.

Y en particular, se conoce como alumbrado público al conjunto de fundamentos y tecnologías que se encargan de la iluminación de lugares de libre circulación, como son las vías públicas, parques, así como monumentos, edificios públicos o similares espacios que se encuentran bajo la tutela de la administración y cuya finalidad es proporcionarles la iluminación adecuada para generar una sensación de seguridad y confortabilidad tanto a peatones como a conductores de vehículos y usuarios en general.

Cabe considerar que el alumbrado público es uno de los servicios que con más insistencia se demanda en las localidades como resultado del crecimiento de la población y del desarrollo urbano. Sin embargo, su instalación, gestión y mantenimiento constituyen con frecuencia un problema técnico y económico, debido principalmente a su inadecuada planificación desde el punto de vista de optimización energética del servicio como del mantenimiento del mismo.

Históricamente, el uso de la energía eléctrica para el alumbrado público en las ciudades españolas tardó en imponerse a otros sistemas como las lámparas de aceite, de petróleo y, sobre todo, las de gas. En los inicios de la difusión de la electricidad, las empresas y las administraciones públicas debieron afrontar retos técnicos y administrativos para la construcción de las infraestructuras y los elementos imprescindibles para innovar en los sistemas de alumbrado público y así atender a una demanda urbana e industrial creciente.

Desde entonces ha tenido una evolución constante. Así, tras el uso inicial en los sistemas de alumbrado eléctricos de la lámpara incandescente patentada por Thomas Alva Edison en 1879, de rendimiento lumínico muy bajo ya que casi toda la energía se disipaba en forma de calor, se pasó a las lámparas de descarga de alta intensidad, como la de vapor de mercurio desarrollada en los años treinta del siglo pasado, y que incrementaron notablemente el rendimiento lumínico (hasta cuatro veces superior). Al mismo tiempo también se impulsó el uso de lámparas fluorescentes tubulares, de mejor

eficacia lumínica y un índice de reproducción cromática superior, pero de inferior vida útil. En esa misma década también comienza el uso de lámparas de vapor de sodio de baja presión, con mayor eficacia, pero de baja reproducción cromática.

Posteriormente, durante la década de los 60 se impulsa el desarrollo de las lámparas de descarga de alta intensidad (HID del inglés High Intensity Discharge), apareciendo primero las lámparas de vapor de sodio de alta presión -VSAP- y poco después los halogenuros metálicos. Estas últimas presentan una menor eficiencia y vida útil que las de sodio de alta presión, pero producen una luz blanca con un elevado índice reproducción cromática que incrementa el confort visual de las personas.

Ya entrada la primera década de este siglo XXI se produce la introducción de la tecnología LED consistente en un diodo semiconductor emisor de luz. Los dispositivos actuales emiten luz en el espectro visible y tienen un rendimiento lumínico de hasta 150 lm/w.

La tecnología LED está representando una revolución en el sector del alumbrado. Así, mientras que las tecnologías existentes hasta finales del siglo XX tuvieron una evolución lenta y unos periodos de introducción y estabilización de más de 30 años, los LEDs, en menos de una década, han evolucionado rápidamente en su rendimiento y tienen todavía mucho camino por recorrer, mientras que las tecnologías más tradicionales están ya en una etapa más madura de su evolución.

2.7. Luminarias y componentes generales

Según la Norma UNE-EN 60598-1, adoptada de la Norma Internacional CIE 598-1, se define "luminaria" como aparato de alumbrado que reparte, filtra o transforma la luz emitida por una o varias lámparas y que comprende todos los dispositivos necesarios para el soporte, la fijación y la protección de lámparas (excluyendo las propias lámparas) y, en caso necesario, los circuitos auxiliares en combinación con los medios de conexión con la red de alimentación.

Las luminarias son aparatos que sirven de soporte y conexión a la red eléctrica a las lámparas y para que cumplan eficientemente su función, es necesario que cumplan una serie de características ópticas, mecánicas y eléctricas entre otras.

A nivel de óptica, la luminaria es responsable del control y la distribución de la luz emitida por la lámpara. Por eso es importante, que en el diseño de su sistema óptico se cuide la forma y distribución de la luz, el rendimiento del conjunto lámpara-luminaria y el deslumbramiento que pueda provocar en los usuarios. Otros requisitos que deben cumplir las luminarias es que sean de fácil instalación y mantenimiento. Para ello, los materiales empleados en su construcción han de ser los adecuados para resistir el ambiente en que deba trabajar la luminaria y mantener la temperatura de la lámpara dentro de los límites de funcionamiento.

Genera eficiencia en el sistema siendo la encargada de entregar la luz donde se necesita. Su comportamiento depende de variables controlables, como rendimiento, distribución lumínica, dimensión o nivel de estanqueidad. Debe cumplir la premisa de emisión de luz hacia el hemisferio superior (FHSinst), y no sobrepasar los valores admitidos por cada tipo de zona medioambiental (entre el 1% y el 25%).

Los elementos genéricos que cabe destacar de las luminarias son:

- a) **Cuerpo o carcasa:** Es la parte encargada de soportar estructuralmente a todos los elementos de la luminaria, por lo que es necesario que tenga unas características concretas como ligereza, resistencia mecánica, resistencia a la corrosión, así como que cumpla una función de estética.
- b) **Equipo eléctrico:** Comprende los elementos necesarios para el arranque y funcionamiento de la lámpara.
- c) **Bloque óptico:** El conjunto de difusor, reflector y refractor comprende el bloque óptico. El difusor es una carcasa que envuelve la lámpara y difunde el haz de luz. El reflector tiene como función modelar la forma y dirección del flujo luminoso. El bloque óptico debe tener los dispositivos de regulación necesarios para una modificación de la posición de la lámpara en función del uso para el que esté destinada la luminaria.
- d) **Filtro:** en unión con los difusores, sirven para aumentar o reducir algunas características de la radiación luminosa, como son los rayos ultravioleta o infrarrojos.
- e) **Junta:** elemento que sirve para aportar estanqueidad a la luminaria, por lo que tiene que ser resistente a altas, bajas temperaturas y a los agentes atmosféricos.

Las luminarias se clasifican según diferentes parámetros:

- a) Según el grado de protección eléctrica: Protección contra descargas eléctricas.
- b) Según las condiciones operativas: Protección contra la entrada de polvo, cuerpos, sólidos y humedad (Código IP).
- c) Según la inflamabilidad de la superficie de montaje.
- d) Según las condiciones de servicio: Resistencia a choques mecánicos.
- e) Para instalaciones de iluminación interior y exterior.

En cuanto a la implantación de las luminarias y dependiendo de las diferentes características de las vías, la configuración de las luminarias en el alumbrado público será de un tipo o de otro. Se consideran como las cuatro formas principales las siguientes:

- a) Unilateral: Los puntos de luz se encuentran situados en un mismo lado de la vía. Se implementará cuando la anchura de la calzada sea igual o inferior a la altura de las luminarias. Esta solución busca una buena relación entre economía e iluminación mínima.
- b) A Tresbolillo: Los puntos de luz se sitúan en ambos lados de la calzada, dispuestos en zigzag. Esta configuración se usará cuando la anchura de la calzada sea alrededor de 1,5 veces la altura de las luminarias.
- c) Bilateral pareada: Los puntos de luz estarán situados en ambos lados de la calzada, uno enfrente al otro. La anchura de la calzada idónea para el uso de este tipo de implantación será superior a 1.5 veces la altura de las luminarias.
- d) Central o axial: En las vías en las que existe una mediana de separación entre las diferentes partes de la calzada, los puntos de luz se situarán en báculos con doble brazo, en la mediana, si las dimensiones de ésta están entre 1 y 3 m de ancho.

Conviene resaltar que la fuente de luz es el verdadero corazón del conjunto lumínico, siendo de gran importancia su adecuada elección ya que las lámparas pueden concentrar el 80-85% del consumo energético que se produce. Actualmente se utilizan fuentes de luz eficientes como las de vapor de sodio alta presión –VSAP-, fluorescencia compacta y halogenuros metálicos para espacios ornamentales y cascos urbanos,

desechando las de vapor de mercurio por su menor eficiencia y su alto contenido en vapor de mercurio contaminante. Asimismo, es de considerar otras de nueva generación, como las LED de grandes posibilidades como veremos en este ejercicio.

Otros elementos importantes a tener en cuenta son los siguientes:

a) Balastos. Son el motor del sistema y permiten el encendido de las lámparas. Pueden ser electromagnéticos, electrónicos, de doble nivel o triple nivel. Pueden mejorar el funcionamiento del conjunto al reducir los consumos de energía activa y reactiva, a que la lámpara trabaje de una forma más óptima e incrementar la vida útil del conjunto.

Los balastos, también conocidos como equipos auxiliares o reactancias, son accesorios para utilizar en combinación con las lámparas de descarga, limitando la corriente que circula por ellas a los valores exigidos para un funcionamiento correcto, pudiendo representar su consumo un incremento del 5% al 30% sobre el de la lámpara.

Existen varios tipos como son los electromagnético, utilizado con lámparas de descarga y formado fundamentalmente por hilos de cobre enrollados similares a los de un transformador en un núcleo de acero o hierro. Otro tipo es el electrónico, y presenta la ventaja de una mayor eficacia de la lámpara, con pérdidas reducidas y son más pequeños y ligeros que los electromagnéticos.

b) Centros de mando. Sistemas de control y gestión. Los elementos de control de encendido y apagado se encuentran situados en los centros de mando que accionan el encendido de las lámparas. Los que con mayor frecuencia se utilizan son los relojes analógicos, los astronómicos y las células fotoeléctricas.

Los relojes astronómicos funcionan de acuerdo a la longitud y a la latitud donde se encuentra situado el centro de mando y se pueden programar para hacer encendidos parciales o reducciones, tienen la ventaja de que no requieren de ajustes temporales.

Las células fotoeléctricas tienen el inconveniente de que con el tiempo se ensucian y acaban dando orden de encendido antes de lo que realmente sería necesario, con el consiguiente gasto energético. Además, los días nubosos puede ocurrir que el alumbrado se encienda cuando hay suficiente luz para ver, comprometiendo así la fiabilidad del sistema.

Por otro lado, y cada vez en más instalaciones, se encuentran los sistemas de gestión centralizada, denominados telegestión. Estos equipos permiten gestionar el alumbrado de los diferentes centros de mando a través de una aplicación u enlace web. En este caso, se instala un modem con tarjeta SIM en cada punto de suministro, de tal manera que se pueden acceder a cada uno de los dispositivos para gestionarlos el alumbrado a nivel de centro de mando.

2.8. Optimización energética

Como ya se ha comentado anteriormente, son las administraciones públicas uno de los principales consumidores de energía debido principalmente al gran número de instalaciones como colegios, hospitales, alumbrado público, etc... que gestionan. Y dentro de éstas destacan los municipios que gestionan y mantienen las instalaciones de alumbrado público, suponiendo en la mayoría de los casos más de un 60% del consumo de la energía final del ayuntamiento.

Para ese nivel municipal, en la actualidad, es fundamental el desarrollo de proyectos de eficiencia energética para reducir el gasto energético y disminuir los costes presupuestarios tanto en consumo como en mantenimiento.

Así, el nivel de eficiencia de una instalación de alumbrado público viene determinado por la calidad, adecuación y funcionamiento de varios factores que determinarán como de eficiente o ineficiente es una instalación como puede ser entre otros, el tipo de luminaria, lámpara, elementos de encendido y nivel de iluminación.

Cabe destacar que en los últimos años se han desarrollado nuevas aplicaciones y sistemas más óptimos que permiten obtener un nivel de ahorro del 30-40%. Estos son:

- a) Nuevas luminarias con mayor rendimiento y reducción de la contaminación lumínica.
- b) Lámparas más eficientes y más respetuosas con el medioambiente.
- c) Equipos de encendido electrónicos de reducción del consumo de energía activa y reactiva.
- d) Sistemas de control y gestión que permiten el seguimiento instantáneo del estado de las instalaciones.

2.9. Tecnología LED

Se corresponde con las siglas de Light Emitting Diode, que en su traducción significa diodo emisor de luz.

Ya citado en el punto 2.6. y a modo de resumen, la tecnología LED está basada en unos dispositivos semiconductores de estado sólido de gran resistencia que, al recibir una corriente eléctrica de muy baja intensidad, emiten luz de forma eficiente y con alto rendimiento. Son capaces de convertir energía eléctrica directamente en luz.

2.10. Reglamentación y normativa

Para la realización de un proyecto, trabajo o estudio de esta naturaleza sobre iluminación pública se procede a tomar un marco normativo de referencia que en nuestro caso ha sido el siguiente:

- Instrucciones para Alumbrado Público Urbano editadas por la Gerencia de Urbanismo del Ministerio de la Vivienda en el año 1965.
- Ley 31/1995, del 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales.
- Norma EN-60 598.
- Orden de 12 de junio de 1989. Establece la certificación de conformidad a normas como alternativa a la homologación de los candelabros metálicos (báculos y columnas de alumbrado exterior y señalización de tráfico). Ministerio de Industria y Energía. BOE: 7 de julio de 1989.
- Orden de 16 de mayo de 1989, por la que se modifica el anexo del Real Decreto 2642/1985, de 18 de diciembre, sobre especificaciones técnicas de los candelabros metálicos (báculos y columnas de alumbrado exterior y señalización de tráfico) y su homologación. Ministerio de Industria y Energía. BOE: 15 de julio de 1989.
- RD 1215/1997, del 18 de julio de 1997, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo.
- RD 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y de salud en las obras de construcción.
- RD 485/1997, del 14 de abril de 1997, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo.
- RD 773/1997, del 30 de mayo de 1997, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.

- Real Decreto 1890/2008, de 14 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior y sus Instrucciones Técnicas Complementarias EA-01 a EA-07. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. BOE: 19 de noviembre de 2008.
- Real Decreto 1955/2000 de 1 de diciembre, por el que se regula las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica. Ministerio de Economía. BOE: 27 de diciembre de 2000.
- Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.
- Real Decreto 401/1989 de 14 de abril. Modifica Real Decreto 2642/1985, de 18 de diciembre, sobre sujeción a especificaciones técnicas y homologación de los candelabros metálicos (báculos y columnas de alumbrado exterior y señalización de tráfico). Ministerio de Industria y Energía. BOE: 26 de abril de 1989.
- Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión, aprobado en Consejo de Ministros y reflejado en el Real Decreto 842/2002, del 2 de agosto.
- Y condicionantes a tener en cuenta por los Organismos Públicos afectados y Ordenanzas Municipales del Ayuntamiento de Cartagena, en nuestro caso.

Asimismo, se aplicarán las normas UNE de obligado cumplimiento para los materiales que sean objeto de ellas y las prescripciones particulares de los Órganos Competentes.

2.11. Ubicación y emplazamiento

Este apartado tiene la finalidad de ubicar geográficamente la localidad de Los Nietos perteneciente al municipio de Cartagena junto con la descripción de sus singularidades más relevantes a tener en cuenta para la redacción de este TFM. En efecto, se hace necesaria la valoración y descripción de su paseo marítimo como vial seleccionado para la realización de este trabajo y su singularidad en cuanto a sus condiciones de longitud y anchura, tránsito peatonal, tráfico limitado y exclusivo para servicios de emergencias, y características del alumbrado público.

Los Nietos es una localidad costera perteneciente al municipio de Cartagena situada al sureste de la Región de Murcia (Fig. 1 y Fig. 2), en la ribera del Mar Menor. En efecto, se encuentra situada al sureste de la capital regional, Murcia, de la que dista 65 km., y a tan sólo 25 km del casco urbano de Cartagena.



Fig. 1. Ubicación Región de Murcia



Fig. 2. Ubicación localidad de Los Nietos

2.12. Descripción de la zona de estudio

Para el diseño de la iluminación objeto de este trabajo se ha seleccionado el paseo marítimo de la población de Los Nietos y la ruta del paraje de “La Lengua de la Vaca” que une las playas de Los Nietos e Islas Menores.

Estas zonas de actuación han sido seleccionadas por sus singularidades, por un lado, el paseo en cuanto a su longitud y anchura, tránsito peatonal y características del alumbrado público; por otro, la ruta de la zona de tránsito entre Los Nietos e Islas Menores en la actualidad sin iluminación alguna. Así se describe en términos generales las siguientes:

- *Paseo marítimo de Los Nietos* (Fig. 3): Vía amplia, de 2.000 metros de longitud y con anchuras según las zonas que oscilan entre los 5,00 m y 16 m con características propias de un paseo marítimo para tránsito peatonal, cicloturista y muy excepcionalmente vehículos de servicio público. El alumbrado está formado por luminarias sobre báculos en disposición central en toda su longitud.



Fig. 3. Paseo marítimo playa de Los Nietos

- *Paraje Lengua de la Vaca* (Fig. 4): Zona de tránsito entre los núcleos residenciales de Los Nietos e Islas Menores de unos 500 metros de longitud atravesada por una rambla. Se trata de varios caminos estrechos tipo vía rural, con concurrido tránsito peatonal y cicloturista, incluso nocturno. En la actualidad, una parte de la misma, se encuentra acondicionada mediante un firme y también empalizada (Fig. 5) a base de traviesas de madera ambientada en el entorno, careciendo de cualquier tipo de iluminación.



Fig. 4 y 5. Paraje Lengua de la Vaca

2.13. Descripción de la instalación actual

Inicialmente es necesario proceder a una descripción lo más detallada posible del tipo de instalación que se encuentra en cada una de las zonas objeto del trabajo, con el fin de analizar las posibles deficiencias energéticas y las singularidades que pueden presentarse en cada una de ellas y encontrar una solución adecuada.

a) *Paseo Marítimo*. En su tramo más oeste, existen 10 puntos de luz cuya interdistancia es uniforme siendo ésta de 20,00 m (Fig. 6). En el tramo principal del paseo se encuentran instalados actualmente 70 puntos de luz (sobre proyecto inicial de 94), con una interdistancia de 18,00 m, con irregularidades en su distribución que oscilan de 36,00 m a 55,00 m que carecen de puntos de luz ya que no han sido repuestos tras su deterioro por el paso de los años (Fig. 7). La altura es de 6,00 m.



Fig. 6. Tramo oeste paseo



Fig. 7. Tramo principal paseo marítimo

El resto de puntos de luz de la zona principal del paseo presentan un soporte en columna de poliéster reforzado con fibra de vidrio, con una luminaria por columna; son de distinta tipología y marca probablemente por su reposición ante el deterioro de las mismas a lo largo de los años sin seguir un criterio uniforme (Fig. 7, 8 y 9).



Fig. 7, 8 y 9. Distintos tipos de luminarias en el paseo marítimo de Los Nietos

Los 10 puntos de luz de la zona oeste, más uniformes, se encuentran soportados mediante columna metálica, en posición central en el paseo y presentan dos luminarias cada una orientadas hacia ambos lados. Estos puntos de luz de este tramo son los que se encuentran en mejor estado de conservación de todos los estudiados. El arbolado - palmeras- existente entre las luminarias puede considerarse un elemento distorsionador a tener en cuenta.

Cabe destacar las inadecuadas condiciones de conservación y mantenimiento en las que se encuentran las luminarias, ofreciendo la mayoría de ellas signos graves de deterioro y una mala posición en cuanto a orientación del haz luminoso.

Las lámparas correspondientes a las luminarias son de 70 W y 100 W de potencia para las más altas, son de VSAP y el total de potencia instalado es de 8.400 W. La irregularidad encontrada en toda la zona y las malas condiciones en las que se encuentran los materiales de la instalación, impiden una buena eficiencia de la misma. Se puede comprobar, datos reflejados en la tabla 1, el incumplimiento en la actual instalación del paseo marítimo de valores de iluminancia y uniformidad requeridos.

Tabla 1. Paseo marítimo de Los Nietos. Zona Oeste y Zona Principal

ZONA OESTE S2	Iluminancia media E_m (lux)	Uniformidad media U_m (mínima)	Iluminancia mínima E_{min} (lux)
Requerida	$7,5 < E_m < 10$	-	1,5
Instalada	8,38	-	7,5
Cumple	✓	-	✓

PASEO PRINCIPAL S2	Iluminancia media E_m (lux)	Uniformidad media U_m (mínima)	Iluminancia mínima E_{min} (lux)
Requerida	$7,5 < E_m < 10$	-	1,5
Instalada	12,35	-	1
Cumple	X	-	X

Teniendo en cuenta los valores de iluminancia y uniformidad indicados en la reglamentación, en la tabla 1 se observa el exceso de iluminación que presenta la zona estudiada, no cumpliendo con las uniformidades exigidas en el Reglamento de Eficiencia Energética en Instalaciones de Alumbrado Exterior -REEIAE-, por lo que el consumo de energía se encuentra incrementado y conlleva un mayor gasto de capital innecesario. Todo ello, sumado a la antigüedad y el deterioro encontrado en la mayor parte de la instalación existente, hace necesario el diseño y la puesta en marcha de una nueva instalación de alumbrado público en el paseo marítimo de Los Nietos.

En otro orden de cosas, la regulación de la instalación consta de un reloj astronómico que se encuentra situado en el cuadro de mando descrito en la planimetría correspondiente.

En el documento correspondiente de Planos se refleja una representación de la disposición de los puntos de luz que se encuentran en la actualidad para la zona estudiada en este TFM.

Cabe destacar que la justificación de los valores exigidos de iluminancia, iluminancia mínima y uniformidad para cada uno de los tramos de vía se expone en el apartado correspondiente de Diseño del presente trabajo.

b) Paraje Lengua de la Vaca. En la actualidad no presenta ningún tipo de iluminación ni instalación. Al tratarse de una vía tipo rural, apartado de zona residencial y de cierto tránsito peatonal durante la noche se pretende que la propuesta no suponga un impacto visual importante para la zona, clasificándola como zona de protección contra la contaminación luminosa, y por otra parte disminuir el precio de instalación del proyecto y su explotación.

2.14. Criterio para el diseño de una instalación adecuada

La elección de la tecnología y el diseño del sistema de iluminación para la instalación de alumbrado han de ser confeccionados teniendo en cuenta la finalidad de conseguir

los niveles de iluminancia adecuados en cada zona a iluminar, disminuyendo los costos de inversión, energéticos o de mantenimiento tanto como sea posible.

La elección de los materiales a usar en el proyecto es uno de los elementos más importantes. Su selección depende de criterios tanto económicos como estéticos, entre otros, aunque normalmente estos factores no son compatibles entre sí, prevaleciendo unos sobre otros a razón de la persona con la decisión final y dependiendo del presupuesto que se tiene para dicho fin.

Así, en los últimos tiempos, la elección de la tecnología LED como solución se debe a las ventajas ofrecidas por esta nueva tecnología en cuanto a diferentes aspectos como son:

a) Altas eficiencias energéticas. Eficiencia energética superior a las alternativas como VSAP y halogenuros.

b) Rendimiento luminaria elevado. Las luminarias LED tienen reflectores y lentes por cada pequeño diodo y en las tradicionales solo uno para todo el conjunto, por lo que se consigue un mayor rendimiento.

c) Alta calidad de color. Comparada con las lámparas de VSAP, las lámparas LED ofrecen un mayor Índice de Rendimiento Cromático -IRC- y permiten una amplia variedad de colores puros.

d) Vida útil de funcionamiento: De más de 50.000 horas.

e) Encendido instantáneo. A diferencia de las lámparas de sodio, los LED permiten un arranque rápido, por lo que alcanza su nivel óptimo de iluminación y temperatura de color en el momento de encendido.

Aunque esta tecnología es más cara, su bajo coste de mantenimiento y su reducción de consumo respecto a las tecnologías de descarga, permiten una pronta recuperación de la inversión inicial.

Es importante tener en cuenta que para realizar los cálculos para la propuesta de diseño y soluciones que se plantean en este trabajo, se procede a:

a) Clasificar el tipo de vía que se quiere iluminar según indicaciones de la ITC-EA-02.

b) Diseño preliminar de la instalación a partir de parámetros establecidos y/o exigidos.

c) Cálculo inicial con ordenador. Razonar los aspectos a modificar para cumplir requerimientos y objetivos (energéticos y de coste). Volver a calcular para comprobar que se cumplen los valores de iluminancia y uniformidad, y comprobación que se cumplen los parámetros lumínicos recomendados en dicha ITC-EA-01.

d) Cálculo del alumbrado (Cálculo del índice de eficiencia energética y del índice de consumo energético para clasificar energéticamente la instalación y determinación de su clasificación energética (de A a G).

En ese sentido, e independientemente de la solución que se vaya a tomar, en primer lugar, a la hora de elaborar el diseño de una instalación de alumbrado público es la clasificación de la vía para saber los niveles de iluminancia, uniformidad, eficacia luminosa, etc., exigidos por el REEIAE.

Para la clasificación de las vías seleccionadas y selección de las clases de alumbrado se tienen en cuenta las singularidades descritas en la ITC-EA-02.

El criterio principal seguido es la velocidad de circulación como indica la tabla 1 de dicha instrucción técnica; asimismo se establecen subgrupos mediante otros criterios como son el tipo de vía y la intensidad media de tráfico diario -IMD-.

Clasificación de las vías. Tabla 1.

Clasificación	Tipo de vía	Velocidad del tráfico rodado (km/h)
A	De alta velocidad	$v > 60$
B	De moderada velocidad	$30 < v \leq 60$
C	Carriles bici	--
D	De baja velocidad	$5 < v \leq 30$
E	Vías peatonales	$v \leq 5$

Se observa que es en la tabla 4 de la citada instrucción técnica, dónde se encuentran definidas las clases de alumbrado para las diferentes situaciones del proyecto que pretendemos y se corresponde con la clasificación de vías anteriores.

Clases de alumbrado para las vías tipo D. Tabla 4.

Situaciones de proyecto	Tipos de vías	Clase de Alumbrado
D1-D2	<p>Áreas de aparcamiento en autopistas y autovías.</p> <p>Aparcamientos en general.</p> <p>Estaciones de autobuses.</p> <p>Flujo de tráfico de peatones</p> <p>Alto.....</p> <p>Normal</p>	<p>CE1A / CE2</p> <p>CE3 / CE4</p>
D3-D4	<p>Calles residenciales suburbanas con aceras para peatones a lo largo de la calzada.</p> <p>Zonas de velocidad muy limitada.</p> <p>Flujo de tráfico de peatones y ciclistas</p> <p>Alto.....</p> <p>Normal.....</p>	<p>CE2 / S1 / S2</p> <p>S3 / S4</p>

Realizada la clasificación de situación de proyecto correspondiente a la tipología CE se utiliza el requerimiento correspondiente indicado en la tabla 19 del reglamento.

Clases de alumbrado de similar nivel de iluminación. Tabla 19 - ITC-EA-02.

	ME2 MEW2	ME3 MEW3	ME4 MEW4	ME5 MEW5	ME6
CE0	CE2	CE3	CE4	CE5	
		S1	S2	S3	S4

La clasificación CE abarca los tipos de vías C, D y E, que hacen referencia a los carriles bici, zonas de baja velocidad y vías peatonales. Partiendo de la geometría de cada vía y con la luminaria seleccionada en base a los términos técnicos expuestos en los apartados anteriores, se procede al cálculo mediante ordenador de la posición y la cantidad de puntos de luz necesarios para una iluminación.

Es necesario comprobar que, con la distribución de los puntos de luz elegida, se cumplen los valores de todos los parámetros fotométricos que se describen a continuación, impuestos por las diferentes instrucciones técnicas complementarias del reglamento de eficiencia energética:

Los niveles medios de iluminancia no pueden superar el 20 % de los niveles de referencia establecidos por la ITC-EA-02.

Se exige el cumplimiento de la uniformidad mínima de la ITC-EA-02 para cada tipo de vía. Para el resto de requisitos fotométricos, la norma establece unos valores de referencia que, aunque no son de obligado cumplimiento, son recomendables para la seguridad de los usuarios de las vías.

El flujo hemisférico superior instalado, FHS_{inst} , de las luminarias en cada zona clasificada en base a su protección contra la contaminación luminosa, no superará los valores límites de la tabla 2 de la instrucción técnica ITC-EA-03.

Para conseguir unos valores mínimos contra los efectos de la luz intrusa, molesta para los viandantes, se debe cumplir las limitaciones exigidas en la tabla 3 de la ITC-EA-03 para los parámetros de Iluminancia vertical (E_v) e Luminancia máxima de las fachadas.

La eficacia luminosa de las lámparas tendrá un valor superior a 65 lum/W para alumbrados vial, específico y ornamental.

Se cumplirán los requisitos de rendimiento y factor de utilización de la tabla 1 de la ITC-EA-04 en cuanto a luminarias y alumbrado funcional o ambiental.

Los sistemas de regulación del flujo luminoso serán capaces de reducir éste al 50 % en las horas de funcionamiento reducido de las vías.

Estos datos serán verificados con la ayuda de un software específico como el Dialux.

En cuanto a los valores límite del flujo hemisférico, eficiencia energética y calificación energética se atenderá a los expresados en las siguientes tablas:

Valores límite del flujo hemisférico superior. Tabla 2 de la ITC-EA-03.

CLASIFICACIÓN DE ZONAS	FLUJO HEMISFÉRICO SUPERIOR INSTALADO FHS_{INST}
E1	< 1 %
E2	< 5 %
E3	≤ 15 %
E4	≤ 25%

Valores de eficiencia energética de referencia. Tabla 3 de la ITC-EA-01.

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	Iluminancia media en servicio proyectada E_m (lux)	Eficiencia energética de referencia ϵ_R
≥ 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 obtendrá por interpolación lineal

Calificación energética de una instalación de alumbrado. Tabla 4 ITC-EA-01.

Calificación energética	Índice de consumo energético	Índice de eficiencia energética
A	$ICE < 0,91$	$IE > 1,1$
B	$0,91 \leq ICE < 1,09$	$1,1 \geq IE > 0,92$
C	$1,09 \leq ICE < 1,35$	$0,92 \geq IE > 0,74$
D	$1,35 \leq ICE < 1,79$	$0,74 \geq IE > 0,56$
E	$1,79 \leq ICE < 2,63$	$0,56 \geq IE > 0,38$
F	$2,63 \leq ICE < 5$	$0,38 \geq IE > 0,20$
G	$ICE \geq 5,00$	$IE \leq 0,20$

2.15. Diseño propuesto

Para la elaboración de este trabajo fin de máster a modo de proyecto académico se han seleccionado las dos zonas ya descritas -paseo marítimo de Los Nietos y paraje Lengua de la Vaca-, sobre las que se hará la propuesta definitiva.

En efecto, existirían múltiples posibilidades de diseños a tener en cuenta para la solución final de cambio de una instalación obsoleta de una red de alumbrado público para hacerla más eficiente y económica, en el más amplio de los sentidos, como son, por ejemplo, la renovación completa de la red, cambio de columnas y báculos, cambio de toda la infraestructura, etc...

En nuestro caso, como ejemplo de trabajo tan sólo se considera para el paseo marítimo de Los Nietos el mantener la instalación actual cambiando solamente las luminarias de descarga por luminarias con tecnología LED, y para la zona de la Lengua de la Vaca, la primera implantación de un proyecto de iluminación alimentado a base de energía solar y con las restricciones propias del paraje con el fin de reducir el impacto visual manteniendo las condiciones del entorno.

2.15.1. Propuestas de parámetros de iluminación e instalación de las luminarias

Es así, que con los criterios anteriores se describen a continuación las indicaciones para la solución de cada una de las zonas seleccionadas:

a) Paseo marítimo de Los Nietos: se trata de una vía amplia de 2.000 metros de longitud y con anchuras según las zonas que oscilan entre los 5,00 m y 16 m con características propias de un paseo marítimo para tránsito peatonal, compartido como cicloturista y excepcionalmente vehículos de servicio público y mantenimiento.

Esta zona se corresponde a la situación de proyecto D3-D4 considerando la vía como calles residenciales suburbanas con aceras para peatones a lo largo de la calzada, zonas de velocidad muy limitada y flujo de tráfico de peatones y ciclistas alto, por lo que se considera clase de alumbrado S2 según la instrucción técnica ITC-EA-02.

Se clasificará como zona de protección contra la contaminación luminosa, es decir, es un área de luminosidad media y se clasifica como una zona E3 según la instrucción técnica ITC-EA-03.

Este diseño consiste en una actualización de la tecnología existente en la instalación mediante un cambio de luminaria, manteniendo todas las demás partes de la instalación. Con esto se obtendrá un ahorro económico, pues la tecnología a usar, los LEDs, permiten una mejor iluminación, con un menor consumo de potencia. Además, los drivers de estas luminarias permiten una regulación del flujo lumínico de hasta 5 escalones durante el encendido de las mismas.

A continuación (Tabla 2), se expone la curva de regulación propuesta, con la descripción de las franjas horarias:

a) *Encendido*. Como se observa a continuación, la instalación arrancará siempre al 100 % de su flujo nominal, manteniendo el 100 % de la potencia nominal hasta las 23h/24h de la noche dependiendo de la época del año.

b) *Primer escalón*. Se aplicará el escalón de regulación a las 23h/24 h hasta el apagado de las mismas, reduciéndose el flujo lumínico hasta el 50 % del nominal. Esta reducción es poco apreciable para el ojo humano. Así se tendrá prácticamente funcionando la instalación de alumbrado público a su capacidad nominal desde el encendido hasta el siguiente escalón.

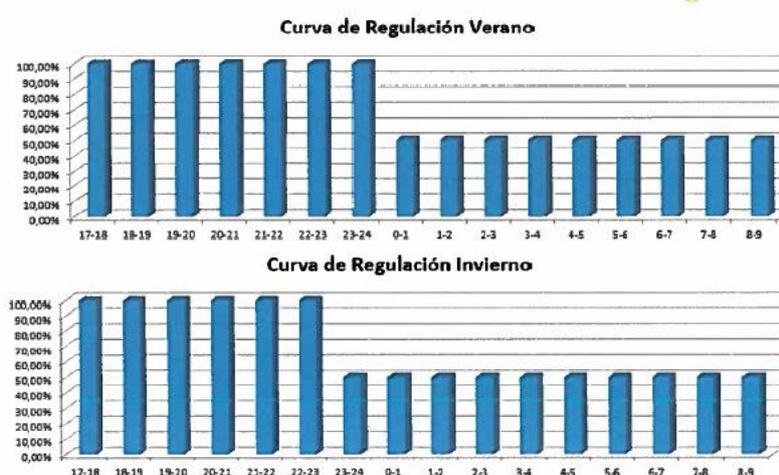


Tabla 2. Curvas de regulación Verano-Invierno

Las 20 luminarias de 70 W de VSAP del tramo oeste del paseo marítimo se sustituyen por luminarias modelo City Soul gen2 LED Mini de Philips con un consumo individual de 19 W, y por tanto un consumo total de 380 W de potencia y un flujo lumínico de 2.580 lúmenes.

Las luminarias de 100 W de VSAP del resto del paseo se cambian por luminarias del modelo TownGuide de la marca Philips con un consumo individual de 41 W y un flujo lumínico de 3.900 lm. Asimismo, es necesaria la reposición del resto de puntos de luz - 24- sobre proyecto hasta alcanzar el total de 94 unidades. Con este cambio, el consumo potencia de las luminarias en la zona principal del paseo marítimo de Los Nietos es de 3.854 W.

La instalación eléctrica existente se mantendrá. Al tener con el nuevo diseño una menor demanda de potencia, el dimensionado de la instalación actual hace factible su uso.

Con estos cambios se corrige la alta ineficiencia de la situación actual y se consiguen los valores exigidos por la normativa para los diferentes parámetros de iluminación.

En cualquiera de los casos, sería oportuno plantear una modificación total de la instalación eléctrica ejecutable con la remodelación y reconstrucción de un nuevo paseo marítimo enormemente deteriorado y gravemente afectado por los destrozos causados por la reciente “gota fría” conocida como DANA acontecida recientemente en los cercanos días 11 y 12 de septiembre.

b) Paraje Lengua de la Vaca: esta zona de tránsito entre los núcleos residenciales de Los Nietos e Islas Menores es de unos 600 metros de longitud, con varios caminos a semejanza de vías de tipo rural, atravesada por una rambla, con frecuente tránsito peatonal y cicloturista, incluso nocturno, no siendo posible el tráfico de vehículos a motor.

Para esta ruta no se proyectarán valores altos de iluminancia ya que se pretende mantener el valor de zona rural y con las protecciones de rambla y costas, además al ser un tramo poco concurrido durante la noche será suficiente con ofrecer los valores mínimos de iluminancia. Por ello, se requerirá una clase de alumbrado S4, suficiente para iluminar el camino. Se considera oportuno, por tanto, una distribución de los puntos de luz unilateral.

Ya que esta zona se trata de una zona alejada del área residencial se clasificará como zona de protección contra la contaminación luminosa, es decir, es un área de luminosidad o brillo bajo y se clasifica como una zona E2 según la instrucción técnica ITC-EA-03.

Para ambos casos, en la siguiente tabla 3 del TFM quedan reflejadas, a modo de resumen, las características indicadas anteriormente:

Tabla 3. Resumen

Nombre Vía	Velocidad	Tipo vía	Clase alumbrado	Luminosidad
- Paseo marítimo Peatones y ciclistas	Muy limitada	Tipo D3-D4	S2	E3
- Paraje Lengua de la Vaca Peatones y ciclistas	Muy limitada	Tipo D3-D4	S4	E2

Una vez realizada la clasificación de los diferentes tipos de vía, se procede a la exposición del diseño planteado que se considera de mayor interés para el alumbrado público de las zonas seleccionadas, que como ya hemos reiterado en nuestro caso consiste en el cambio de la instalación de alumbrado con sistema LED, para el primer caso siendo el número total de luminarias planteadas de 114 (20 más 94) unidades para sustitución de las ya existentes, y de 30 con energía solar para las de nueva instalación.

2.15.2. Elaboración diseño de la instalación de iluminación con parámetros establecidos

Además de la clasificación de la vía, el procedimiento genérico a seguir para diseñar un alumbrado vial eficiente, útil y que cumpla los requisitos legales es el siguiente:

a) *Flujo inicial.* A partir de las características de los tramos de la vía se calcula un valor de flujo inicial mediante la siguiente fórmula:

$$\phi = \frac{Em * A * D}{Fm * Fu}$$

ϕ = Flujo de la luminaria (Lm)

Em = Iluminancia media de la vía (Lx)

A = Ancho de la vía (m)

D = Distancia entre luminarias

Fm = Factor de mantenimiento

Fu = factor de utilización

Para la distancia inicial se hace una estimación del valor, estableciendo una distancia que se desee, pero que pueda ser realista. Se tendrá en cuenta la altura de montaje de la luminaria pues la distancia depende de esto también. Finalmente, en la distancia influirán también la fotometría y la óptica de la luminaria seleccionada.

Los factores de mantenimiento y utilización se estimarán en valores frecuentes y más tarde según las luminarias elegidas se corroborarán y se corregirán.

b) *Elección de la luminaria y el soporte.* Una vez obtenido el flujo preliminar, se escoge una luminaria que mejor cumpla con las necesidades específicas para las diferentes zonas.

Es importante una elección adecuada de la fotometría. La forma y dirección de la distribución de la luz emitida por la lámpara es un factor indispensable para cumplir con los valores requeridos en la ITC-EA-02 y los valores estimados de distancia entre luminarias.

Según la ITC-EA-04 la eficacia luminosa de las lámparas tendrá un valor superior a 65 lum/W para alumbrados vial, específico y ornamental. Con la elección de luminarias LED's esta condición no supone ningún problema ya que cumplen todas holgadamente. Se deberán cumplir también los requisitos de rendimiento y factor de utilización de la Tabla 1 de la misma instrucción técnica.

Los soportes para las luminarias dependerán del tipo de montaje requerido para cada zona. En el caso en el que el soporte sea tipo columna pueden ser de distintos materiales y deberá cumplir los requerimientos indicados en RD 401/89 y OM de 16/5/89. Además, estos soportes deberán ir provistos de una puerta situada a 0,30 m del suelo como mínimo, para colocar el equipo eléctrico. Los apoyos serán instalados en una placa base mediante el uso de pernos roscados y tuercas.

c) *Factor de mantenimiento.* Como indica la ITC-EA-06, el factor de mantenimiento es:

$$Fm = FDSL * FSL * FDLU$$

FDSL = factor de depreciación del flujo luminoso de la lámpara

FSL = factor de supervivencia de la lámpara

FDLU = factor de depreciación de la luminaria

Para el cálculo del flujo se hace una estimación de este factor, pero una vez elegida la luminaria se puede calcular mediante los valores que ofrece el fabricante y las tablas de las instrucciones técnicas.

El primero de estos factores se encuentra en la ficha técnica del fabricante. Para el cálculo de depreciación de la luminaria se establece un plan de limpieza en el que se actuará cada tres años y estudiando la zona se obtiene un grado de contaminación bajo ya que son zonas peatonales y el paso de vehículos será puntual.

Dependiendo del grado de hermeticidad proporcionado por el fabricante, se hará una selección del FDLU mediante la tabla 3 de la ITC-EA-06.

d) *Cálculo por ordenador.* En los pasos anteriores se realiza una estimación de la altura de montaje y la distancia entre luminarias. Partiendo de la geometría de la vía con cada uno de sus tramos correspondientes y con la luminaria seleccionada en base a los términos técnicos expuestos en los apartados anteriores, se procede a la simulación y cálculo de la posición y número de puntos de luz mediante el software que corroborará

y corregirá los valores estimados y se podrá analizar si la luminaria elegida cumple los valores requeridos con valores similares de posición a los estimados.

Es necesario comprobar que, con la distribución de los puntos de luz elegida, se cumplen los valores de todos los parámetros fotométricos que se han descrito previamente sacados de las indicaciones de las instrucciones técnicas.

Todos los datos serán verificados mediante el software especializado de asistencia para alumbrado Dialux.

e) *Etiqueta energética.* Mediante la tabla de clasificación energética referenciada anteriormente se realizará una etiqueta energética para la longitud total del trazado.

Para realizar este cálculo, se necesita disponer de los valores de los índices de eficiencia energética y de consumo energético.

$$I_{\varepsilon} = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_R} \qquad ICE = \frac{1}{I_{\varepsilon}}$$

Se obtiene así el nivel de eficiencia energética de referencia, ε_R , correspondiente a la iluminación media según la tabla 3 de la ITC-EA-01. También es necesario dicho valor característico de la vía a etiquetar.

$$\varepsilon = \frac{S * E_m}{P}$$

S = Superficie total de la zona

Em = Iluminancia media en servicio

P = Potencia total instalada

2.15.3. Instalación Eléctrica

Como ya se ha comentado anteriormente, para el caso del paseo marítimo se utilizará la misma instalación eléctrica existente, si bien es cierto que ésta, a nuestro juicio obsoleta, debiera ser objeto de un nuevo proyecto y renovarse en su totalidad junto con el resto de infraestructuras del paseo, máxime cuando recientemente coincidiendo con la redacción de este TFM, éste ha sufrido un importante deterioro debido a las consecuencias de las recientes lluvias torrenciales acaecidas en el mes de septiembre (Fig. 10 y 11).

Por otra parte, dada la singularidad del paraje de la Lengua de la Vaca de transición entre las dos localidades de Los Nietos e Islas Menores, en el que la red eléctrica no existe, la solución de alumbrado público solar 100 % autónoma lo dota de una solución

fiable, de calidad y con un diseño que encaja en su singular entorno (Fig. 12). Así, se autoabastecerá de la energía que recoge y transforma sin tener que depender de la red eléctrica por lo que la obra civil se reduce considerablemente al no necesitar zanjas, canalizaciones, arquetas y cables soterrados.



Fig. 10 y 11. Deterioro reciente en el paseo marítimo de septiembre 2019



Fig. 12. Características ruta Lengua de la Vaca

2.15.4. Regulación y control del flujo lumínico

En cualquier vía, independientemente de la clasificación que tenga, es recomendable reducir el valor de flujo lumínico durante las horas nocturnas de menor actividad con el fin de conseguir ahorro económico, energético y medioambiental, siempre que se mantenga la uniformidad que garantice la seguridad de los usuarios de la misma. Por una parte, y tal como se ha comentado anteriormente, cada luminaria tendrá un driver regulable con la curva de regulación propuesta.

a) A nivel de centro de mando, la propuesta para el control del encendido y apagado de las instalaciones consistirá en introducir un sistema de telegestión en todos los centros de mando que se vean involucrados en la zona de actuación. Esto permitirá una monitorización y control de los horarios de las instalaciones telemáticamente.

b) telegestión punto a punto: La telegestión punto a punto abre una ventana de regulación individualizada para cada luminaria, lo que implica que se podría implementar una curva de regulación totalmente adaptada a las necesidades de uso para cada zona y época del año, incluyendo la posibilidad de realizar modificaciones sobre la marcha en el funcionamiento de la luminaria, como por ejemplo incrementar los niveles de iluminación en caso de accidente o cualquier otra situación de necesidad. Por tanto, la tecnología punto a punto aportará una gran flexibilidad a la gestión del alumbrado, ya que en función de las necesidades se podrán realizar reprogramaciones de forma inmediata de las curvas de regulación. Esta tecnología va a permitir un mayor ahorro para la zona propuesta, pues se trata de una ciudad con ocupación estacional, de tal manera que se podrían reajustar los niveles de iluminación para cada época del año en función de la demanda.

Estos sistemas son idóneos para ofrecer una regulación mejorada e información particular de cada uno de los puntos de luz. Es una solución independiente que consiste en el control del flujo de cada luminaria mediante un controlador. La función de este dispositivo es el control del driver de la luminaria haciendo que se pueda reducir el flujo lumínico, consiguiendo un gran ahorro energético, medioambiental y económico. El controlador recibe las señales de los sensores de los nodos pertenecientes a su malla actuando de manera adecuada por medio de su interfaz 1-10V.

2.16. Costes y facturación. Verificación del ahorro de la propuesta de mejora

Uno de los principales objetivos que se persiguen a la hora de plantear el cambio de la instalación de alumbrado es conseguir un ahorro tanto económico como energético.

Los datos obtenidos se detallarán en el apartado siguiente de Memoria de Cálculos, a efectuar en cualquier proyecto de estas características, para verificar que, cualquiera de las nuevas instalaciones propuestas, suponen un ahorro tanto económico como energético.

En cuanto a los costes, como verificación de los ahorros conseguidos por la implantación de las nuevas propuestas de instalación, se procede a realizar una comparación entre la facturación de la instalación actual y las instalaciones diseñadas propuestas. De esta manera se puede observar el ahorro tanto energético como económico que cualquiera de los cambios supone.

Para hacer esta comparación, es necesaria la elección de una tarifa para calcular el precio de la potencia instalada y consumida en cada caso. La tarifa escogida en nuestro planteamiento es la *tarifa conect@ 2.0DH*, es decir, con discriminación horaria, de una de las empresas del sector. Esta tarifa suele tener un precio diferente para las distintas bandas de las horas punta y valle de los periodos de invierno y verano.

Tarifa contratada 2.0 DH		
10 horas punta	Invierno	De 12,00 a 22,00 h
	Verano	De 13,00 a 23,00 h
14 horas valle	Invierno	De 22,00 a 12,00 h
	Verano	De 23,00 a 13,00 h

Esta tarifa tiene unos costes de:

Término de potencia: 42,043426 €/kW año

Término de energía en punta: 0,142725 €/kWh

Término de energía en valle: 0,060786 €/kWh

Factura del Nuevo Diseño propuesto

Luminarias diseño nuevo propuesto			
Luminaria Diseño Nuevo	Unidades	Potencia luminaria + regulador de flujo (W)	Total (W)
- Luminaria LED 19 W	20	19 + 1	400 W
- Luminaria LED 41 W	94	41 + 1	3.948 W
			Total: 4.384 W

Se toma un valor medio del término de energía (entre punta y valle) para calcular el ahorro de energía entre las distintas instalaciones, por lo que se hará una media ponderada del valor del precio de la energía entendiendo como día medio aquel que tiene 3 horas de consumo de energía en hora punta y 8 horas en valle.

Además, el driver incorpora control Constant Light Output que permite reducir el consumo de energía a lo largo de la vida de la instalación en un 10%, por lo que el valor

del consumo cuando el flujo sea igual al 100 por 100, será un 10 % menos que la potencia de su consumo real.

También se tiene en cuenta la curva de regulación establecida, que se encuentra definida en el apartado de “regulación y control”.

- Horas de funcionamiento de la instalación: 4.015 horas/año.
- Vida estimada de la instalación: 25 años.
- Potencia contratada: 4,384 kW/año.
- Consumo con LED: 3,945 kWh.

La siguiente tabla muestra la acción de la curva de regulación configurada en el dispositivo de regulación de las luminarias en la potencia consumida por las horas de funcionamiento de la instalación al año.

Tabla Consumo anual Diseño Nuevo

Diseño Nuevo	100%	50%	
Potencia kWh	3,945	1,972	
Horas al día	4	7	
Horas al año	4X365	7X365	Total
Potencia kWh/año	5.759,70	5.038,46	10.798,16

Como se puede observar según la tabla anterior, el consumo anual para el Diseño planteado de la instalación LED es de **10.798,16 kWh/año**.

Valor medio del término de energía:

$$P_m = \frac{((5.759,70) * 0,142725) + ((5.038,46) * 0,060786)}{10.798,16} = 0,1044918 \text{ € /kWh}$$

Teniendo en cuenta el resultado anterior de potencia al año y las tarifas de referencia citadas anteriormente, así como impuestos, el total de factura de esta instalación queda reflejado a continuación:

Factura de la energía para el Diseño Nuevo

Término de potencia	3,945 kW	42,043426 €/kW	165,86 €
Termino de energía medio	10.798,16 kWh	0,1044918 €/kWh	1.128,31 €
		total	1.294,17 €
Impuestos	4,86%	1,05113	66,11 €
Alquiler de aparatos	0,0186 €/día		6,79 €
		total	1.367,07 €
		IVA 21 %	287,08 €
		TOTAL	1.654,15 €

Factura de la instalación existente en la actualidad

El resumen de potencia que consume la instalación actual se refleja a continuación:

Tabla Luminarias instalación actual

Luminaria Actual	Unidades	Pot. luminaria + equipo auxiliar (W)	Total (W)
- Luminaria LED 70 W	20	70 + 10	1.600 W
- Luminaria LED 100 W	70	100 + 16	8.120 W
			Total: 9.720 W

Las características necesarias para este cálculo son:

Potencia contratada: 9,72 kW

Consumo con VSAP: 9,72 kW

Horas de funcionamiento de la instalación: 4.015 horas/año

Vida estimada de la instalación: 25 años.

La regulación existente presenta 2 escalones de potencia. Es decir, durante 4 horas la instalación se encuentra consumiendo el 100 % de la potencia de las luminarias y durante las 7 horas restantes al día, el 60%. Por tanto:

Tabla Consumo anual instalación actual

Diseño antiguo	100 %	60%	
Potencia kW	9,720	5,832	
Horas al día	4	7	
Horas al año	1.460	2.555	Total
Potencia kWh/año	14.191,20	14.900,76	29.091,96

El consumo anual de la instalación existente con lámparas VSAP, como se observa en la tabla anterior de consumo anual es de 29.091,96 kWh/año.

Valor medio del término de energía:

$$Pm = \frac{((14.191,20) * 0,142725 + ((14.900,76) * 0,060786))}{29.091,96} = 0,100756 \text{ € /kWh}$$

En la siguiente tabla se observa, en términos de facturación incluidos impuestos, la cuantía total a la que asciende el consumo de energía de las instalaciones de alumbrado estudiadas para este trabajo:

Factura de la energía para la antigua instalación			
Término de potencia	9,720 kW	42,043426 €/kW	408,66 €
Termino de energía medio	29.091,96 kWh	0,100756 €/kWh	2.931,18 €
		total	3.339,84 €
Impuestos	4,86%	1,05113	170,61 €
Alquiler de aparatos	0,0186 €/día		6,79 €
		total	3.517,24 €
		IVA 21 %	738,62 €
		TOTAL	4.255,86 €

Según los cálculos realizados, la parte de la instalación del paseo marítimo de Los Nietos objeto de nuestra propuesta que se encuentra actualmente iluminando las zonas de estudio de este proyecto suponen, al año, un consumo de energía de 29,091 kW con un coste de 4.255,86 €, lo que supone un gasto durante la vida de la instalación de 727,27 kW y 106.396,5 €.

Respecto al consumo del nuevo diseño propuesto de 10,798 kW/año, supone un gasto al año de 1.654,15 €, por lo que, al final de la vida de la instalación presentará un consumo de potencia de 269,95 kW y 41.353,75 €.

Como se puede observar con las anteriores cifras, el nuevo diseño de la instalación, con el cambio de luminarias de VASP por otras LED suponen un gran ahorro, siendo más rentable desde el punto de vista energético ya que supone un ahorro de consumo entorno al 63 % con respecto a la instalación actual.

Conviene destacar que la Memoria de Cálculos contempla los resultados de la correspondiente calificación energética de la solución propuesta para dichas zonas.

En otro orden, este TFM en el apartado de Presupuesto General se contemplan las partidas de la obra civil necesaria, instalación luminotécnica, gestión medioambiental y seguridad y salud, así como el desglose de gastos generales, beneficio industrial e IVA.

Para finalizar, el apartado correspondiente de Planimetría contempla los planos de situación y emplazamiento, disposición de las luminarias, perfiles transversales y aquellos complementarios explicativos de la nueva instalación.

3.- MEMORIA DE CÁLCULOS

Para el diseño de la nueva instalación de alumbrado público para cada una de las zonas se procede a la realización de los cálculos necesarios teniendo en cuenta el flujo lumínico preliminar, la elección del tipo de luminaria, el soporte en su caso para las mismas y el factor de mantenimiento.

Asimismo, este apartado de cálculos finaliza con la correspondiente calificación energética de la instalación propuesta para dichas calles.

3.1. PASEO MARÍTIMO ZONA OESTE

A continuación, se exponen los cálculos realizados secuencialmente para el diseño del nuevo alumbrado público para esta zona.

a. Flujo lumínico preliminar

Teniendo en cuenta los valores de los diferentes parámetros justificados previamente en la memoria descriptiva se calcula el flujo lumínico preliminar.

$$E_m = 10 \text{ lux}$$

$$A = 5,8 \text{ metros}$$

$$D = 20 \text{ metros}$$

$$F_m = 0,8$$

$$F_u = 0,5$$

$$\phi = \frac{E_m * A * D}{F_m * F_u} = \frac{10 * 5,8 * 20}{0,8 * 0,5} = 2.900 \text{ lúmenes.}$$

b. Luminaria

Una vez calculado el flujo preliminar se procede a la elección de la luminaria adecuada; ésta cumplirá con los valores de flujo mínimo y proporcionará la luz detallada en la memoria descriptiva proyectando el haz de luz hacia delante.

Para la elección de luminarias, previamente se seleccionan aquellas que cumplan con los requisitos descritos. Y con el fin de asegurar una mejor garantía de calidad y una vida mayor serán seleccionadas entre las propuestas por los fabricantes de referencia en el mercado de la iluminación como por ejemplo *Philips*. Así se tiene en cuenta la referencia CitySoul gen2 LED Mini. Posteriormente, mediante el uso del programa Dialux se realiza el estudio correspondiente para comprobar su adaptación a las condiciones del diseño preliminar de la instalación (con altura 5,8 m e interdistancia 20 m), siendo adecuada por su mayor eficacia luminosa.

c. Soporte

Se empleará el mismo existente en la actualidad.

d. Factor de mantenimiento

Para el cálculo del factor de mantenimiento se necesita conocer la vida del LED; este dato se encuentra en la hoja de documentación del fabricante. En este caso, el fabricante indica que la vida del LED es de 100.000 horas (25 años), y transcurrido ese tiempo el flujo de la lámpara habrá disminuido un 10 %, y por lo tanto el factor de depreciación del flujo de la lámpara es 0,9.

Como bien viene reflejado en la memoria descriptiva, el plan de limpieza establecido para conservar en buen estado y flujo de las luminarias será cada 3 años. Con el grado de contaminación bajo, y el grado de hermeticidad de la luminaria escogida, IP66, se observa en la tabla 3 de la ITC-EA-06 un valor de FDLU de 0,9. Por lo tanto, el factor de mantenimiento de la luminaria es de 0,81.

e. Cálculo por ordenador

Con el flujo de la luminaria elegida y el nuevo factor de mantenimiento, se procede al cálculo de la distancia entre los puntos de luz, que en este caso de la instalación ya existente es de 20,00 m.

Esta disposición se introduce en el software con el fin de verificar el cumplimiento de los valores de E_m y U_m del reglamento. Si de este modo no se cumplieran los valores requeridos por las instrucciones técnicas del reglamento de eficiencia energética, se dispondrá a realizar un reajuste de la distribución de los puntos de luz con los siguientes condicionantes:

Si cumple la uniformidad, pero no la iluminancia. Se bajará la altura de las luminarias y de esta manera se verán modificados ambos parámetros. La iluminancia aumentará, mientras la uniformidad disminuirá.

Si cumple la iluminancia, pero no la uniformidad: Se subirá la altura de las luminarias, modificándose ambos parámetros. La iluminancia disminuirá y la uniformidad aumentará.

Si ambos valores cumplen: Si se supera el valor mínimo requerido muy por encima de los valores exigidos se tratará de aumentar la interdistancia entre luminarias hasta

conseguir los límites de cumplimiento con el fin de cumplir con la normativa, obteniendo así el máximo ahorro energético y económico posible.

En esta zona se cumple con los valores de uniformidad, y de iluminancia. Por lo tanto, la instalación en esta zona dispondrá de 10 puntos de luz dobles -20 luminarias-con una potencia total de 380 W.

f. Información de la justificación del cumplimiento del REEIAE

- Niveles de iluminancia y uniformidad

PM OESTE S3	Iluminancia media E_m (lux)	Uniformidad media U_m (mínima)	Iluminancia mínima E_{min} (lux)
Requerida	$7,5 < E_m < 10$	-	1,5
A Instalar	10	-	3,02
Cumple	✓	-	✓

- FHS instalado

Clasificación de la zona E3	Flujo hemisférico superior FHS
Requerido	$\leq 15\%$
Instalado	
Cumple	✓

- Reducción de la contaminación lumínica

Zona Urbana E3	Valores máximos			
	Luminancia vertical máxima E_v (lux)	Intensidad luminosa I (cd)	Luminancia Media Fachadas L_m (cd/m ²)	Luminancia Máxima en Fachadas $L_{m\acute{a}x}$ (cd/m ²)
Requerido	10	10.000	10	60
Instalado	7,75			
Cumple	✓	✓	✓	✓

- Eficacia luminosa

La eficacia luminosa es la relación entre el flujo luminoso que emite una fuente de luz entre la potencia que consume. En este caso:

$$\frac{\phi_{luminaria}}{P_{luminaria}} = \frac{2.580}{19} = 135,78 \text{ lm/W}$$

Eficacia luminosa (lm/W)	
Requerida	65
Instalada	135,78
Cumple	

g. Calificación energética

Para realizar este cálculo, se necesita disponer de los valores de los índices de eficiencia energética y de consumo energético.

$$I_{\varepsilon} = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_R} \qquad ICE = \frac{1}{I_{\varepsilon}}$$

Se obtiene así el nivel de eficiencia energética de referencia, ε_R , correspondiente a la iluminación media según la tabla 3 de la ITC-EA-01. También es necesario dicho valor característico de la vía a etiquetar.

$$\varepsilon = \frac{S * E_m}{P}$$

S = Superficie total de la zona

Em = Iluminancia media en servicio

P = Potencia total instalada

Para el cálculo de la calificación energética se necesita conocer la superficie de la vía. La superficie de este tramo es:

$$S = 185 \times 7 = 1.295\text{m}^2$$

En primer lugar, se obtiene el nivel de eficiencia energética correspondiente al alumbrado según indicaciones de la tabla 3 de la ITC-EA-01, obteniéndose el valor de eficiencia energética de referencia de 18.

Para poder calcular el índice de eficiencia energética y el índice de consumo energético es necesario conocer el valor de eficiencia energética.

$$\varepsilon = \frac{1295 * 10}{380} = 34,07$$

Así, aplicando las fórmulas se obtienen los índices correspondientes:

Índice de Eficiencia Energética Iε	1,89
Índice de consumo energético ICE	0,52

Por lo tanto, con los valores obtenidos y según la tabla 4 de la ITC-EA-01, la Clasificación Energética de la instalación del tramo Oeste del paseo marítimo de Los Nietos es **A**.

3.2. RESTO PASEO MARÍTIMO. ZONA PRINCIPAL

A continuación, se exponen los cálculos realizados secuencialmente para el diseño del nuevo alumbrado público para esta zona principal del paseo marítimo.

a. Flujo lumínico preliminar

Teniendo en cuenta los valores de los diferentes parámetros justificados previamente en la memoria descriptiva se calcula el flujo lumínico preliminar.

$$E_m = 10 \text{ lux}$$

$$A = 6,00 \text{ metros}$$

$$D = 18 \text{ metros}$$

$$F_m = 0,8$$

$$F_u = 0,5$$

$$\phi = \frac{E_m * A * D}{F_m * F_u} = \frac{10 * 6 * 18}{0,8 * 0,5} = 2700 \text{ lúmenes.}$$

b. Luminaria

Una vez calculado el flujo preliminar se procede a la elección de la luminaria adecuada; ésta cumplirá con los valores de flujo mínimo y proporcionará la luz detallada en la memoria descriptiva proyectando el haz de luz hacia delante.

Para la elección de luminarias, previamente se seleccionan aquellas que cumplan con los requisitos descritos. Y con el fin de asegurar una mejor garantía de calidad y una vida mayor serán seleccionadas entre las propuestas por los fabricantes de referencia en el mercado de la iluminación como por ejemplo *Philips*, y se ha tenido en cuenta la referencia TownGuide con óptica DS. Posteriormente, mediante el uso del programa Dialux se ha realizado el estudio correspondiente para comprobar que la luminaria se adapta a las condiciones del diseño preliminar de la instalación (con altura 6 metros e interdistancia 18 metros).

c. Soporte

Se empleará los mismos existente en la actualidad, incorporando los 24 nuevos soportes que en su tiempo por deterioro fueron eliminados y no repuestos.

d. Factor de mantenimiento

Para el cálculo del factor de mantenimiento se necesita conocer la vida del LED; este dato se encuentra en la hoja de documentación del fabricante. En este caso, el

fabricante indica que la vida del LED es de 100.000 horas (25 años), y transcurrido ese tiempo el flujo de la lámpara habrá disminuido un 10 %, y por lo tanto el factor de depreciación del flujo de la lámpara es 0,9.

Como bien viene reflejado en la memoria descriptiva, el plan de limpieza establecido para conservar en buen estado y flujo de las luminarias será cada 3 años. Con el grado de contaminación bajo, y el grado de hermeticidad de la luminaria escogida, IP66, se observa en la tabla 3 de la ITC-EA-06 un valor de FDLU de 0,9. Por lo tanto, el factor de mantenimiento de la luminaria es de 0,81.

e. Cálculo por ordenador

Con el flujo de la luminaria elegida y el nuevo factor de mantenimiento, se procede al cálculo de la distancia entre los puntos de luz, que en este caso de la instalación ya existente es de 20,00 m.

Esta disposición se introduce en el software con el fin de verificar el cumplimiento de los valores de E_m y U_m del reglamento. Si de este modo no se cumplieran los valores requeridos por las instrucciones técnicas del reglamento de eficiencia energética, se dispondrá a realizar un reajuste de la distribución de los puntos de luz.

En esta zona se cumple con los valores de uniformidad, no así de iluminancia. La instalación en esta zona es de 94 puntos de luz con una potencia total de 3.854 W.

f. Información de la justificación del cumplimiento del REEIAE

- Niveles de iluminancia y uniformidad

PM PRINCIPAL S3	Iluminancia media E_m (lux)	Uniformidad media U_m (mínima)	Iluminancia mínima E_{min} (lux)
Requerida	$7,5 < E_m < 10$	-	1,5
Instalada	10	-	4,53
Cumple	✓	-	✓

- FHS instalado

Clasificación de la zona E3	Flujo hemisférico superior FHS
Requerido	$\leq 15\%$
Instalado	
Cumple	✓

- **Reducción de la contaminación lumínica**

Zona Urbana E3	Valores máximos			
	Iluminancia vertical máxima E_v (lux)	Intensidad luminosa I (cd)	Luminancia Media Fachadas L_m (cd/m ²)	Luminancia Máxima en Fachadas $L_{m\max}$ (cd/m ²)
Requerido	10	10.000	10	60
Instalado	8,33*			
Cumple	✓	✓	✓	✓

- **Eficacia luminosa**

La eficacia luminosa es la relación entre el flujo luminoso que emite una fuente de luz entre la potencia que consume. En este caso:

$$\frac{\phi_{luminaria}}{P_{luminaria}} = \frac{3900}{41} = 95,12 \text{ lum/W}$$

Eficacia luminosa (lum/W)	
Requerida	65
Instalada	95,12
Cumple	✓

g. Calificación energética

Para el cálculo de la calificación energética se necesita conocer la superficie de la vía. La superficie de esta zona, aunque muy irregular en anchura, se ha calculado el promedio:

$$S = 1.815 \times 9 = 16.335 \text{ m}^2$$

En primer lugar, se obtiene el nivel de eficiencia energética correspondiente al alumbrado según indicaciones de la tabla 3 de la ITC-EA-01, obteniéndose el valor de eficiencia energética de referencia de 18. Para poder calcular el índice de eficiencia energética y el índice de consumo energético es necesario conocer el valor de eficiencia energética.

$$\varepsilon = \frac{16.335 \times 11}{3.854} = 46,62$$

Así, aplicando las fórmulas se obtienen los índices correspondientes:

Índice de Eficiencia Energética I_e	2,59
Índice de consumo energético ICE	0,38

Por lo tanto, con los valores obtenidos y según la tabla 4 de la ITC-EA-01, la Clasificación Energética de la instalación de la zona principal del paseo marítimo de Los Nietos es **A**.

3.3. VIARIO PARAJE LENGUA DE LA VACA

A continuación, se exponen algunos aspectos a tener en cuenta para un proyecto de alumbrado público con energía solar:

- a) Un proyecto de iluminación exterior con energía solar tiene que cumplir con los mismos requisitos técnicos que un proyecto de alumbrado convencional.
- b) La instalación de iluminación solar tiene una autonomía limitada ya que durante la noche depende de una batería que se ha cargado durante el día.
- c) La ubicación geográfica es importante por las horas de sol, así como las climáticas.

Desde el punto de vista técnico cuenta con paneles solares para recibir la energía solar, un controlador de carga y descarga que gestiona la batería para almacenar energía, la correspondiente luminaria y su columna.

Así, para el proyecto de esta zona se ha seleccionado el modelo integrado UrbanSpark como la solución integral de alumbrado solar este espacio como área aislada.

Los cálculos realizados secuencialmente para el diseño del nuevo alumbrado público para esta zona:

a. Flujo lumínico preliminar

Teniendo en cuenta los valores de los diferentes parámetros justificados previamente en la memoria descriptiva se calcula el flujo lumínico preliminar.

$$E_m = 5 \text{ lux}$$

$$A = 4,0 \text{ metros}$$

$$D = 20 \text{ metros}$$

$$F_m = 0,8$$

$$F_u = 0,5$$

$$\phi = \frac{E_m * A * D}{F_m * F_u} = \frac{5 * 4 * 20}{0,8 * 0,5} = 1.000 \text{ lúmenes.}$$

b. Luminaria

La elección de luminaria pertenece a la versión BRP711 de RoadGrace de 25W y una eficacia del sistema de 120 lmW; dispone de controlador de carga/descarga combinado con driver instalado en la columna.

c. Soporte

Se empleará la columna BDP301 con una altura total de 4,00 m, y una sección 172x172 mm a base de material de aleación de aluminio donde se encontrará empotrada la batería, presentando mecanismo de cierre de seguridad.

En la columna se encuentra 4 paneles solares verticales integrados.

d. Factor de mantenimiento

Para el cálculo del factor de mantenimiento se necesita conocer la vida del LED; este dato se encuentra en la hoja de documentación del fabricante. En este caso, el fabricante indica que la vida del LED es de 100.000 horas (25 años), y transcurrido ese tiempo el flujo de la lámpara habrá disminuido un 10 %, y por lo tanto el factor de depreciación del flujo de la lámpara es 0,9.

Como bien viene reflejado en la memoria descriptiva, el plan de limpieza establecido para conservar en buen estado y flujo de las luminarias será cada 3 años. Con el grado de contaminación bajo, y el grado de hermeticidad de la luminaria escogida, IP66, se observa en la tabla 3 de la ITC-EA-06 un valor de FDLU de 0,9.

Por lo tanto, el factor de mantenimiento de la luminaria es de 0,81.

e. Cálculo por ordenador

Con el flujo de la luminaria elegida y el nuevo factor de mantenimiento, se procede al cálculo de la distancia entre los puntos de luz, que en este caso será de 20,00 m.

Esta disposición se introduce en el software con el fin de verificar el cumplimiento de los valores de E_m y U_m del reglamento. Si de este modo no se cumplieran los valores requeridos por las instrucciones técnicas del reglamento de eficiencia energética, se dispondrá a realizar un reajuste de la distribución de los puntos de luz con los siguientes condicionantes:

- a) Si cumple la uniformidad, pero no la iluminancia. Se bajará la altura de las luminarias y de esta manera se verán modificados ambos parámetros. La iluminancia aumentará, mientras la uniformidad disminuirá.

b) Si cumple la iluminancia, pero no la uniformidad: Se subirá la altura de las luminarias, modificándose ambos parámetros. La iluminancia disminuirá y la uniformidad aumentará.

c) Si ambos valores cumplen: Si se supera el valor mínimo requerido muy por encima de los valores exigidos se tratará de aumentar la interdistancia entre luminarias hasta conseguir los límites de cumplimiento con el fin de cumplir con la normativa, obteniendo así el máximo ahorro energético y económico posible.

Dadas las características del paisaje y entorno se opta por una solución integral basada en EERR sin obra civil para canalizaciones seleccionando el modelo integrado UrbanSpark de Philips con una altura de montaje de 4,00 m y una distancia entre puntos de luz de 20 metros. Por lo tanto, la instalación en esta zona dispondrá de 30 puntos de luz con una potencia total de 750 W.

f. Información de la justificación del cumplimiento del REEIAE

- **Niveles de iluminancia y uniformidad**

PM OESTE S3	Iluminancia media E_m (lux)	Uniformidad media U_m (mínima)	Iluminancia mínima E_{min} (lux)
Requerida	$5 < E_m < 7,5$	-	1
Instalada	5,68	-	1,15
Cumple	✓	-	✓

- **FHS instalado**

Clasificación de la zona E2	Flujo hemisférico superior FHS
Requerido	$\leq 5\%$
Instalado	
Cumple	✓

- **Reducción de la contaminación lumínica**

Zona E2	Valores máximos			
	Iluminancia vertical máxima E_v (lux)	Intensidad luminosa I (cd)	Luminancia Media Fachadas L_m (cd/m ²)	Luminancia Máxima en Fachadas $L_{m\acute{a}x}$ (cd/m ²)
Requerido	5	7.500	5	10
Instalado	5,68*			
Cumple	✓	✓	✓	✓

*Al tratarse de una zona tipo camino rural no se tiene en cuenta

- **Eficacia luminosa**

La eficacia luminosa es la relación entre el flujo luminoso que emite una fuente de luz entre la potencia que consume. En este caso:

$$\frac{\phi_{luminaria}}{P_{luminaria}} = \frac{2.500}{25} = 100 \text{ lm/W}$$

Eficacia luminosa (lm/W)	
Requerida	65
Instalada	100
Cumple	✓

g. Calificación energética

Para el cálculo de la calificación energética se necesita conocer la superficie de la vía. La superficie de este tramo es:

$$S = 600 \times 2 = 1.200 \text{ m}^2$$

En primer lugar, se obtiene el nivel de eficiencia energética correspondiente al alumbrado según indicaciones de la tabla 3 de la ITC-EA-01, obteniéndose el valor de eficiencia energética de referencia de 7. Para poder calcular el índice de eficiencia energética y el índice de consumo energético es necesario conocer el valor de eficiencia energética.

$$\varepsilon = \frac{1.200 * 5,68}{750} = 9,08$$

Así, aplicando las fórmulas se obtienen los índices correspondientes:

Índice de Eficiencia Energética Iε	1,29
Índice de consumo energético ICE	0,77

Por lo tanto, con los valores obtenidos y según la tabla 4 de la ITC-EA-01, la Clasificación Energética de la instalación del tramo de la ruta del paraje Lengua de la Vaca es **A**.

4.- PRESUPUESTO

CÓDIGO	RESUMEN	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
--------	---------	----------	--------	---------

01 OBRA CIVIL

01.01	Arqueta 40x40, tapa y marco tipo C-250, con marcado AENOR. Arqueta dimensiones planta libres 40x40, tapa y marco fundición reforzado, tipo C-250, con marcado AENOR, con posibilidad de indicar el anagrama por la D.F., con paredes y fondo hormigón HM-20/B/20/I, espesor 15 cms, incluso excavación, suministro tapa y marco y colocación, totalmente finalizada y cegada con pavimento de acera si así se indica por parte de la DF.	30	87,3	2.619,00
01.02	Cimentación de báculo o columna de 7 a 12 m de altura Mazacota de cimentación de báculo de alumbrado público, ejecutada con hormigón HM-20/B/20/IIa, de 0,80x0,80x1,25 m, para báculos/columnas de hasta 10m.	30	226,18	6.785,40

TOTAL 01.....9.404,4 Euros

02 LUMINARIAS Y SOPORTES

C6FB	Columna TRONCOCÓNICO h: 6 m Báculotroncocónico, tipo AM-10 similar de 6m de altura, con puerta de registro enrasada, defibra de vidrio, pintada con pintura RAL9010, 60 mm de diámetro de acoplamiento de luminaria	24	643,58	15.445,92
TW01	Luminaria TOWNGUIDE PHILIPS o similar. Suministro e instalación de luminaria TOWNGUIDE PHILIPS o similar 4000K, xlm y 41W de potencia. Protección contra sobretensiones de 10kV. Caja portafusibles (IP447) con fusibles fase+neutro de 4A, cableado interior para alimentación 3x2,5mm2 RVK. Comprobada y en correcto funcionamiento según REBT y RD 1890/2008 Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior.	94	400,64	37.660,16
CS01	Luminaria CITYSOUL GEN2 LED PHILIPS o similar. Suministro e instalación de luminaria CITYSOUL GEN2 PHILIPS o similar 4000K, xlm y 19W de potencia. Protección contra sobretensiones de 10kV. Caja portafusibles (IP447) con fusibles fase+neutro de 4A, cableado interior para alimentación 3x2,5mm2 RVK. Comprobada y en correcto funcionamiento según REBT y RD 1890/2008 Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior.	20	593,2	11.864,00
RG01	Luminaria ROADGRACE PHILIPS o similar. Suministro e instalación de luminaria ROADGRACE PHILIPS o similar 4000K, xlm y 25W de potencia, herramientas. Protección contra sobretensiones de 10kV. Caja portafusibles (IP447) con fusibles fase+neutro de 4A, cableado interior para alimentación 3x2,5mm2 RVK. Comprobada y en correcto funcionamiento según REBT y RD 1890/2008 Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior.	30	2822,4	84.672,00

TOTAL 02.....149.642,08 Euros

03 PRESUPUESTO ESTUDIO SEGURIDAD Y SALUD**01SS INSTALACIONES PARA EL PERSONAL**

YPC005	Ud Alquiler mensual de aseo portátil de polietileno, de 1,20x1,20x2 Alquiler mensual de aseo portátil de polietileno, de 1,20x1,20x2,35 m, color gris, sin conexiones.	4	122,40	489,64
YPC020	Ud Alquiler mensual de caseta prefabricada para vestuarios en obra, Alquiler mensual de caseta prefabricada para vestuarios en obra, de 4,20x2,33x2,30 m (9,80 m²).	4	96,11	384,44
YPC030	Ud Alquiler mensual de caseta prefabricada para comedor en obra. Alquiler mensual de caseta prefabricada para comedor en obra, de 7,87x2,33x2,30 m (18,40 m²).	4	175,31	701,24
				1.575,32

02SS PROTECCIONES PERSONALES

YIC010	Ud Casco contra golpes, amortizable en 10 usos. Casco contra golpes, amortizable en 10 usos.	5	0,22	1,10
YIC010b	Ud Casco aislante eléctrico, amortizable en 10 usos. Casco aislante eléctrico, amortizable en 10 usos	5	1,14	5,70
YIJ010	Gafas de protección con montura universal, de uso básico, amortizable en 5 usos.	1	2,47	2,47
YIJ010b	Ud Gafas de protección con montura integral, resistentes a salpicaduras de líquidos, amortizable en 5 usos.	1	2,27	2,27
YIJ010c	Ud Gafas de protección con montura integral, resistentes a partículas de gas y a polvo fino, amortizable en 5 usos.	1	2,27	2,27
YIJ010d	Ud Pantalla de protección facial, resistente a arco eléctrico y cortocircuito, amortizable en 5 usos.	10	3,83	38,30
YIJ010e	Ud Pantalla de protección facial, para soldadores, con fijación en la cabeza y con filtros de soldadura, amortizable en 5 usos.	2	4,66	9,28
YIM010	Ud Par de guantes contra riesgos mecánicos, amortizable en 4 usos.	18	3,19	57,42
YIM010c	Ud Par de guantes contra riesgos térmicos, hasta 100°C, amortizable en 4 usos.	2	5,76	11,52
YIM010d	Ud Par de guantes para trabajos eléctricos de baja tensión, amortiz Par de guantes para trabajos eléctricos de baja tensión, amortizable en 4 usos.	15	9,93	148,95
YIM010e	Ud Par de guantes para trabajos eléctricos de alta tensión, amortizable en 4 usos.	1	11,92	11,92
YIM010f	Ud Par de guantes para soldadores, amortizable en 4 usos.	2	2,15	4,30
YIM020	Ud Par de manoplas para soldadores, amortizable en 4 usos.	18	1,54	27,72
YIM020b	Ud Par de manoplas para trabajos eléctricos de baja tensión, amortizable en 4 usos.	10	9,93	99,30
YIO010	Ud Juego de orejeras, estándar, con atenuación acústica de 15 dB, amortizable en 10 usos.	4	0,95	3,80
YIO020	Ud Juego de tapones desechables, moldeables, con atenuación acústica de 31 dB, amortizable en 1 uso.	20	0,02	0,40

YIP010	Ud Par de zapatos de seguridad, con resistencia al deslizamiento, con código de designación SB, amortizable en 2 usos.	8	17,96	143,68
YIP010b	Ud Par de botas bajas de seguridad, con resistencia al deslizamiento con código de designación SB, amortizable en 2 usos.	8	19,58	156,64
YIP010c	Ud Par de zapatos de seguridad, con resistencia al deslizamiento, aislante, con código de designación SB, amortizable en 2 usos.	8	83,79	670,32
YIP020	Ud Par de polainas para soldador, amortizable en 2 usos.	2	4	8,00
YIU005	Ud Mono de protección, amortizable en 5 usos.	10	7,43	74,30
YIU032	Ud Bolsa portaelectrodos para soldador, amortizable en 10 usos.	1	0,23	0,23
YIU040	Ud Bolsa portaherramientas, amortizable en 10 usos.	6	2,30	13,80
YIU050	Ud Faja de protección lumbar, amortizable en 4 usos.	2	4,59	9,12
YIU060	Ud Par de rodilleras, amortizable en 4 usos.	10	2,99	29,90
YIV020	Ud Mascarilla autofiltrante contra partículas, FFP1, con válvula de exhalación, amortizable en 1 uso.	20	2,74	54,80
				1.587,51

03SS PROTECCIONES COLECTIVAS

YCB030	m Vallado perimetral formado por vallas peatonales de hierro, de 1 Vallado perimetral formado por vallas peatonales de hierro, de 1,10x2,50 m, amortizables en 20 usos, para delimitación de excavaciones abiertas.	100	2,72	0272,00
YCB040	Ud Pasarela de acero, de 1,50 m de longitud para anchura máxima de Pasarela de acero, de 1,50 m de longitud para anchura máxima de zanja de 0,9 m, anchura útil de 0,87 m, barandillas laterales de 1 m de altura, amortizable en 20 usos, para protección de paso peatonal sobre zanjas abiertas.	4	14,58	58,32
YCJ010	Ud Tapón protector tipo seta, de color rojo, para protección de ext Tapón protector tipo seta, de color rojo, para protección de extremo de armadura de 12 a 32 mm de diámetro, amortizable en 3 usos.	25	0,24	6,00
YCU010	Ud Extintor portátil de polvo químico ABC polivalente antibrasa, co Extintor portátil de polvo químico ABC polivalente antibrasa, con presión incorporada, de eficacia 21A-113B-C, con 6 kg de agente extintor, amortizable en 3 usos.	2	16,17	32,34
YCU010b	Ud Extintor portátil de nieve carbónica CO2, de eficacia 34B, con 2 Extintor portátil de nieve carbónica CO2, de eficacia 34B, con 2 kg de agente extintor, amortizable en 3 usos.	2	28,07	56,14
				424,80

04SS SEÑALIZACIONES

YSB010	Ud Baliza reflectante para señalización, de chapa galvanizada, de 2 Baliza reflectante para señalización, de chapa galvanizada, de 20x100 cm, de borde derecho de calzada, con franjas de color blanco y rojo y retrorreflectancia nivel 1 (E.G.), amortizable en 10 usos.	10	5,21	52,10
--------	--	----	------	-------

YSB015	Ud Baliza luminosa intermitente para señalización, de color ámbar, Baliza luminosa intermitente para señalización, de color ámbar, con lámpara Led, amortizable en 10 usos, alimentada por 2 pilas de 6 V 4R25.	25	12,33	308,25
YSB020	Ud Barrera de seguridad portátil tipo New Jersey de polietileno de Barrera de seguridad portátil tipo New Jersey de polietileno de alta densidad, de 1,20x0,60x0,40 m, con capacidad de lastrado de 150 l, color rojo, amortizable en 20 usos.	10	19,57	195,70
YSB050	Ud Extintor portátil de polvo químico ABC polivalente antibrasa, co Extintor portátil de polvo químico ABC polivalente antibrasa, compresión incorporada, de eficacia 21A-113B-C, con 6 kg de agente extintor, amortizable en 3 usos.	200	1,43	286,00
YSB060	m Cinta para balizamiento, de material plástico, de 8 cm de anchura Cinta para balizamiento, de material plástico, de 8 cm de anchura, impresa por ambas caras en franjas de color rojo y blanco.	40	1,89	75,60
YSB130	Ud Cono de balizamiento reflectante de 75 cm de altura, de 2 piezas Cono de balizamiento reflectante de 75 cm de altura, de 2 piezas, con cuerpo de polietileno y base de caucho, con 1 banda reflectante de 300 mm de anchura y retroreflectancia nivel 1 (E.G.), amortizable en 10 usos.	50	2,82	141,00
YSM010	m Valla peatonal de hierro, de 1,10x2,50 m, amortizable en 20 usos Valla peatonal de hierro, de 1,10x2,50 m, amortizable en 20 usos, para delimitación provisional de zona de obras.	200	2,90	580,00
YSS010	m Cinta de señalización, de material plástico, de 8 cm de anchura, Cinta de señalización, de material plástico, de 8 cm de anchura, impresa por ambas caras en franjas de color amarillo y negro, sujeta a soportes de barrera de acero corrugado B500 S de 1,2 m de longitud y 16 mm de diámetro, hincados en el terreno cada 3,00 m, utilizada como señalización y delimitación de zonas de trabajo con maquinaria en funcionamiento. Amortizable los soportes en 3 usos y los tapones protectores en 3 usos.	200	6,57	1.314,00
YSS020	m Malla de señalización de polietileno de alta densidad (200 g/m ²), color naranja, de 1,20 m de altura, sujeta mediante bridas de nylon a soportes de barrera de acero corrugado B500 S de 1,75 m de longitud y 20 mm de diámetro, hincados en el terreno cada 1,00 m, utilizada como señalización y delimitación de los bordes de la excavación. Amortizable la malla en 1 uso, los soportes en 3 usos y los tapones protectores en 3 usos.	5	7,72	38,60
YSS030	Ud Cartel general indicativo de riesgos, de PVC serigrafiado, de 99 Cartel general indicativo de riesgos, de PVC serigrafiado, de 990x670 mm, amortizable en 3 usos, fijado con brida S	5	4,17	28,85
YSV010	Ud Señal de advertencia, de PVC serigrafiado, de 297x210 mm, con pi Señal de advertencia, de PVC serigrafiado, de 297x210 mm, con pictograma negro de forma triangular sobre fondo amarillo, amortizable en 3 usos, fijada con bridas.	10	10,77	107,70
YSV010b	Ud Señal provisional de obra de chapa de acero galvanizado, de peli Señal provisional de obra de chapa de acero galvanizado, de peligro, triangular, L=70 cm, con retroreflectancia nivel 1 (E.G.), con caballete portátil de acero galvanizado. amortizable la señal en 5 usos y el caballete en 5 usos.	10	18,48	184,80
				3.304,60

05SS MEDICINA PREVENTIVA

YMM010	Ud Botiquín de urgencia en caseta de obra. Botiquín de urgencia en caseta de obra.	4	96,04	384,16
				384,16

06SS FORMACIÓN TRABAJADORES

STFF.1a	H Formación trabajadores Formación a los trabajadores de el cumplimiento de las normas de seguridad y salud.	32	15,00	480,00
STFF.2a	Material individual didáctico Material individual didáctico para la formación de seguridad y salud.	10	14,18	141,80
				621,80

TOTAL 03.....7.898,19 Euros

TOTAL 01+02+03.....166.944,67 €

<u>PRESUPUESTO</u>	<u>IMPORTE</u>	<u>Euros</u>
1.- Obra civil		9.404,40
2.- Instalación eléctrica y luminotécnica		149.642,08
3.- Seguridad y Salud		7.898,19
Total presupuesto ejecución material		166.944,67
16,00% Gastos Generales		26.711,14
6,00% Beneficio industrial		10.016,68
Suma de G.G. y B.I.		36.727,82
Subtotal		203.672,49
21% I.V.A.		42.771,22
TOTAL PRESUPUESTO GENERAL		246.443,71 €

Asciende el presupuesto de ejecución material más gastos generales, beneficio industrial e impuestos, a la expresada cantidad de **DOSCIENTOS CUARENTA Y SEIS MIL CUATROCIENTOSCUARENTA Y TRES EUROS CON SETENTA Y UN CÉNTIMOS.**

5.- PLANOS

- Plano 01. Ubicación Los Nietos y paraje Lengua de la Vaca
- Plano 02. Paseo Marítimo Los Nietos
- Plano 03. Distribución luminarias PM Los Nietos
- Plano 04. Detalle nuevas luminarias PM Los Nietos
- Plano 05. Modelos de Luminarias PM Los Nietos
- Plano 06. Ruta paraje Lengua de la Vaca
- Plano 07. Complejo nuevo alumbrado Lengua de la Vaca
- Plano 08. Alumbrado Lengua de la Vaca
- Plano 09. Fotografías: Estado actual paseo marítimo Los Nietos
- Plano 10. Fotografías: Detalle delimitación Lengua de la Vaca

6.- ANEXOS

- Ficha 1. Trama de cálculo zona oeste PM Los Nietos
- Ficha 2. Gama de grises zona oeste PM Los Nietos
- Ficha 3. Rendering 3d zona oeste PM Los Nietos
- Ficha 4. Trama de cálculo zona principal PM Los Nietos
- Ficha 5. Gama de grises zona principal PM Los Nietos
- Ficha 6. Rendering 3d zona principal PM Los Nietos
- Ficha 7. Trama de cálculo paraje Lengua de la Vaca
- Ficha 8. Gama de grises paraje Lengua de la Vaca
- Ficha 9. Rendering 3d paraje Lengua de la Vaca

7.- CONCLUSIONES

1. Valorados *in situ* los aspectos energéticos del alumbrado público del paseo marítimo de la localidad de Los Nietos y analizados los diversos parámetros luminotécnicos para optimizar su eficiencia energética mediante software específico, se ha propuesto inicialmente un diseño basado en la sustitución de las luminarias de VSAP por tecnología LED dadas las altas ventajas que ofrece en cuanto a eficiencia energética. No obstante, este obsoleto paseo requiere de un nuevo proyecto integral de sustituir absolutamente toda la instalación, máxime cuando recientemente ha sufrido las consecuencias de la tormenta DANA que ha incrementado el deteriorado de su estado.

En el paraje Lengua de la Vaca, sin instalación actual, la opción de una nueva instalación basada en energía solar 100% autónoma garantiza suficientemente la iluminación necesaria demandada para la zona.

2. Este proyecto supone, por un lado, un ahorro desde el punto de vista económico y energético entorno al 63 % con respecto a la instalación actual y, por otro y ante la creciente sensibilización de la sociedad por el medio ambiente, la apuesta firme por el uso de las EERR para proyectos de estas características por los indudables beneficios que conlleva.

3. Este trabajo planteado como Trabajo Fin de Máster denominado “Optimización Energética de Alumbrado Público: Aplicación al Paseo Marítimo de Los Nietos (Mar Menor, Murcia)” en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad Politécnica de Cartagena, aunque ejercicio académico, es viable desde el punto de vista funcional, técnico y de cumplimiento de la reglamentación vigente, y aporta una solución inicial y de concienciación sobre la importancia de la optimización y el ahorro en consumo de energía correspondiente en el alumbrado público de nuestras localidades.

8.- RESUMEN FINAL

Es indudable que el alumbrado público exterior posibilita desarrollar múltiples actividades en la noche, proporcionándonos la visibilidad que necesitamos, pero sin embargo representa para los ayuntamientos un gasto considerable, además de influir en la contaminación del medio ambiente ya sea por emisión de dióxido de carbono como por la contaminación lumínica.

Ante dicha situación, se ha estimado necesario optimizar el uso de las instalaciones del alumbrado público en el paseo marítimo de la localidad de Los Nietos, complementado con un proyecto de nueva instalación en el paraje de la Lengua de la Vaca a base de energías renovables.

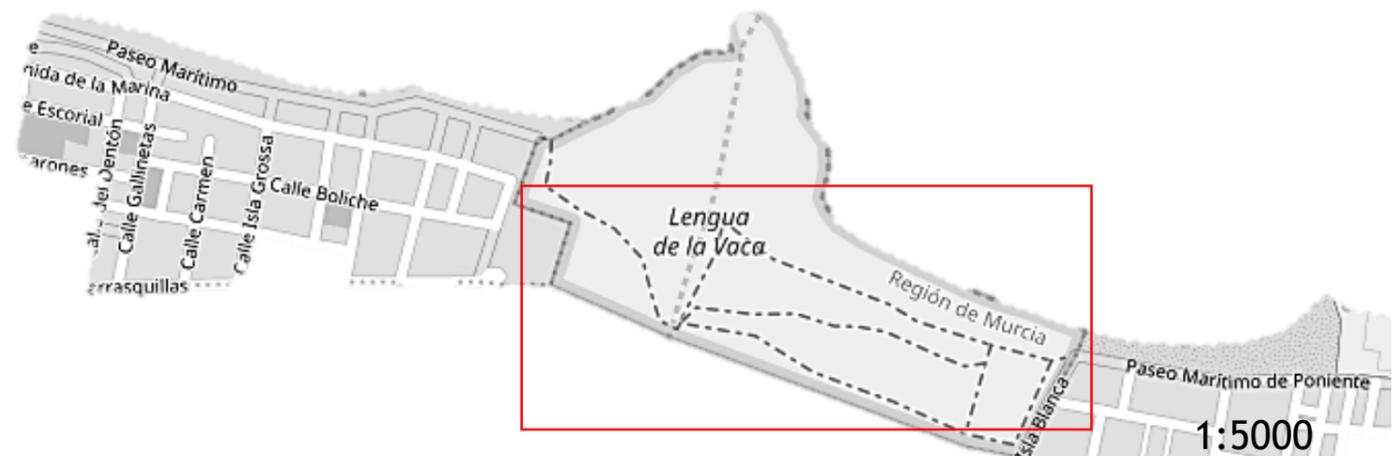
Analizada la reglamentación vigente y mediante el uso de software especializado, con los datos obtenidos, se plantea este proyecto para la sustitución de las luminarias actuales por otras de tecnología LED en dicho paseo, así como su implementación con un nuevo alumbrado en el paraje Lengua de la Vaca mediante luminarias solares 100% autónomas. Ello supone, para el primer caso con el cambio de luminarias de VSAP por otras LED, un gran ahorro desde el punto de vista económico y energético entorno al 63 % con respecto a la instalación actual y, para el segundo, la apuesta firme por los beneficios medioambientales de las energías renovables.

9.- BIBLIOGRAFÍA

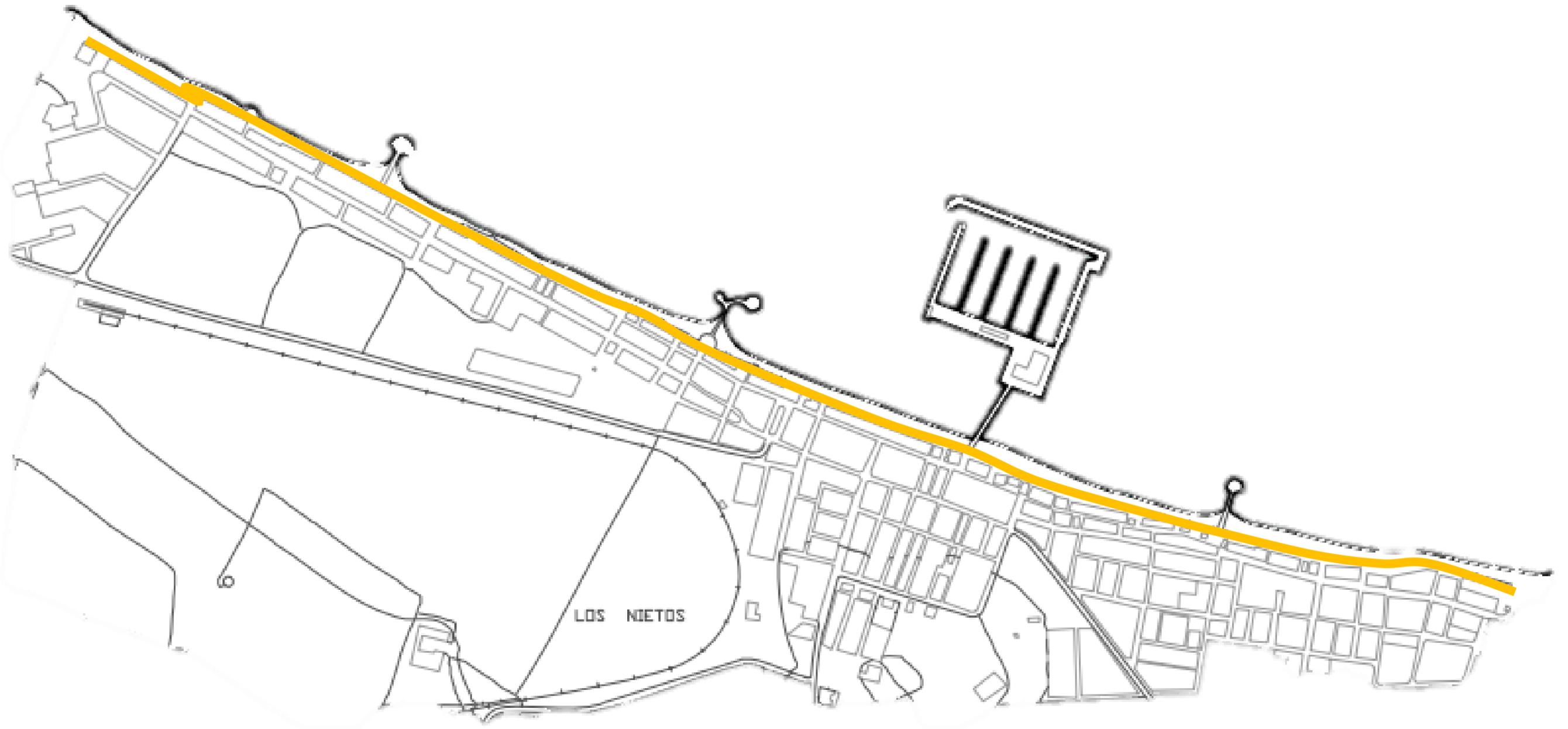
- Guías Técnicas de Aplicación. Ministerio de Industria, Energía y Turismo.
- Information on Lighting Applications: licht.wissen 03. Roads, Paths and Squares. Fördergemeinschaft Gutes Licht, 2007.
- Legislación y normativa vigente. En apartado 2.10 de Reglamentación de TFM.
- Manual de alumbrado Indal, Indalux, 2002.

Webgrafía

- Guía Técnica de Eficiencia Energética en Iluminación. Alumbrado Público.
- http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_GT_EE_iluminacion_Alumbrado_Publico_9a40dc27.pdf.
- Requerimientos Técnicos exigibles para luminarias con tecnología LED de alumbrado exterior.
- http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_Requerimientos_LED_REV-4-120815_81a949fd.pdf.
- <http://www.lighting.philips.es>.



<p>TRABAJO FIN DE MÁSTER Máster Universitario en Energías Renovables</p> 	<p>Proyecto: OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA DE ALUMBRADO PÚBLICO: APLICACIÓN AL PASEO MARÍTIMO DE LOS NIETOS (MAR MENOR, MURCIA)</p>	<p>Plano: Ubicación Los Nietos, Lengua de la Vaca</p>	<p>Fecha: Septiembre 2019</p>	<p>Nº Plano: 01</p>
		<p>Autora: Encarnación M. Sanes Linares</p>	<p>Escala:</p>	



TRABAJO FIN DE MÁSTER
Máster Universitario en Energías Renovables



Proyecto:
OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA DE ALUMBRADO PÚBLICO: APLICACIÓN AL PASEO MARÍTIMO DE LOS NIETOS (MAR MENOR, MURCIA)

Plano:
Paseo Marítimo de Los Nietos

Autora:
Encarnación M. Sanes Linares

Fecha:
Septiembre 2019

Escala:
1:8000

Nº Plano:

02



Sección 1

Sección 2

TRABAJO FIN DE MÁSTER
Máster Universitario en Energías Renovables



Proyecto:
OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA DE ALUMBRADO PÚBLICO: APLICACIÓN AL PASEO MARÍTIMO DE LOS NIETOS (MAR MENOR, MURCIA)

Plano:
Distribución luminarias PM Los Nietos

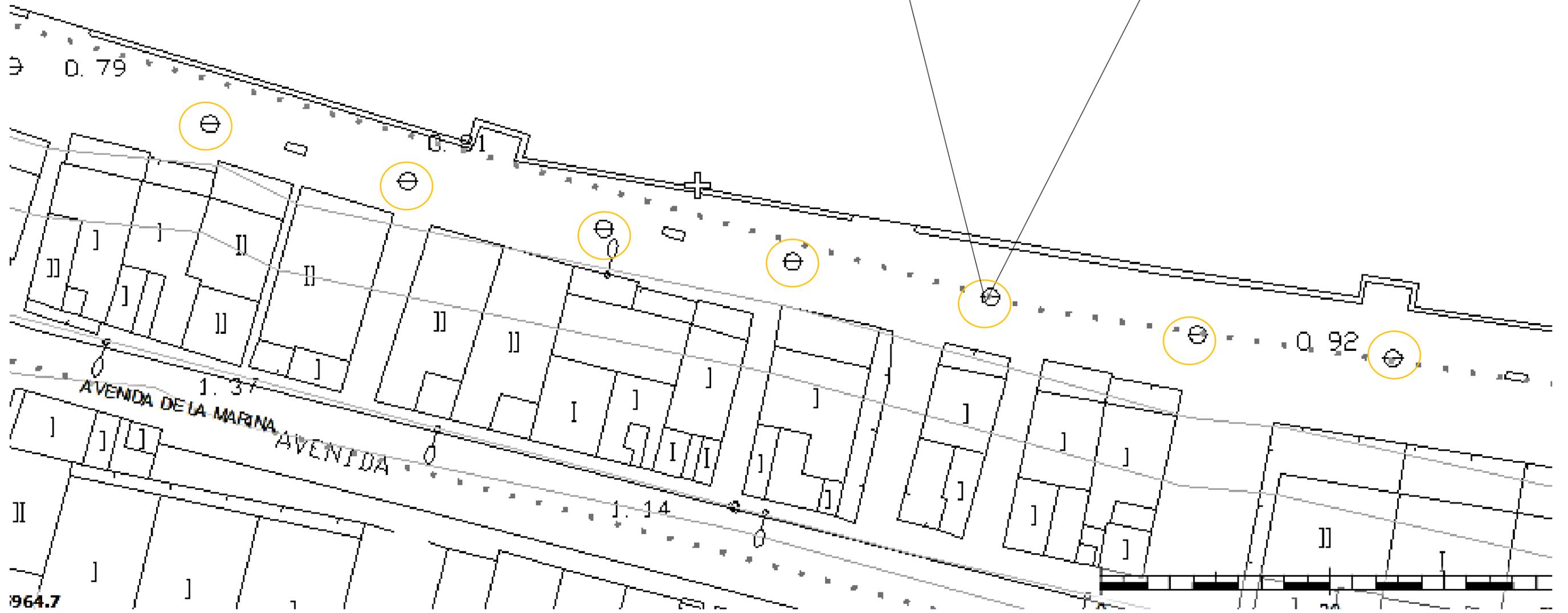
Autora:
Encarnación M. Sanes Linares

Fecha:
Septiembre 2019

Escala:
1:5000

Nº Plano:

03



TRABAJO FIN DE MÁSTER
Máster Universitario en Energías Renovables



Proyecto:
OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA DE ALUMBRADO PÚBLICO: APLICACIÓN AL PASEO MARÍTIMO DE LOS NIETOS (MAR MENOR, MURCIA)

Plano:
Detalle nuevas Luminarias PM Los Nietos

Autora:
Encarnación M. Sanes Linares

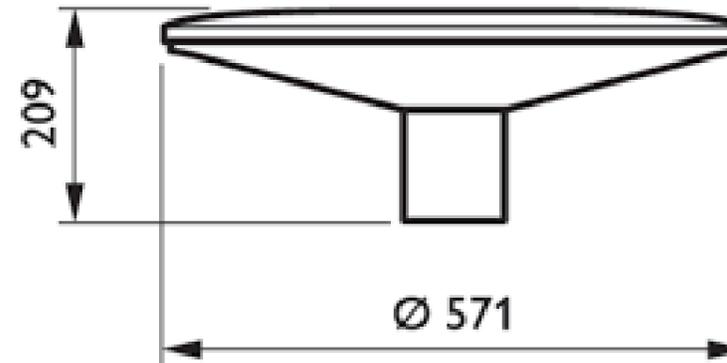
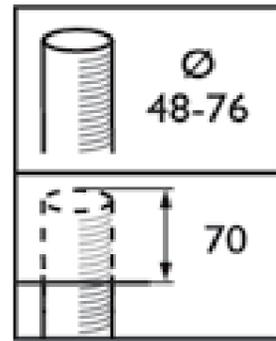
Fecha:
Septiembre 2019

Escala:
1:2000

Nº Plano:

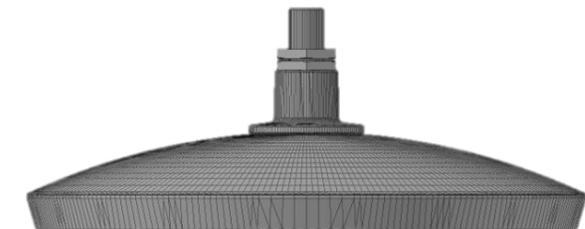
04

ZONA PRINCIPAL PASEO MARÍTIMO: TownGuide LED de Philips



LUMINARIA LED 25 W

ZONA OESTE PASEO MARÍTIMO: CitySoul gen2 LED Mini de Philips



LUMINARIA LED 19 W



TRABAJO FIN DE MÁSTER
Máster Universitario en Energías Renovables



Proyecto:
OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA DE ALUMBRADO PÚBLICO: APLICACIÓN AL PASEO MARÍTIMO DE LOS NIETOS (MAR MENOR, MURCIA)

Plano:
Ruta paraje Lengua de la Vaca

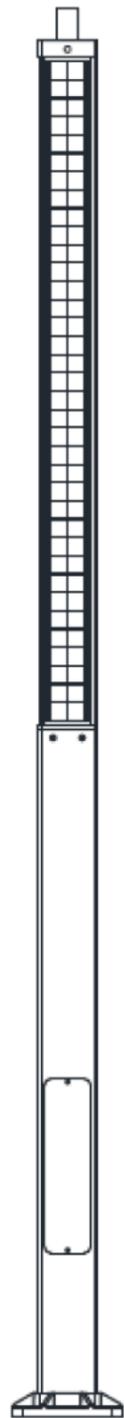
Autora:
Encarnación M. Sanes Linares

Fecha:
Septiembre 2019

Escala:
1:2000

Nº Plano:
06

ZONA PARAJE LENGUA DE LA VACA: Urban Spark ROADGRACE PHILIPS de Philips

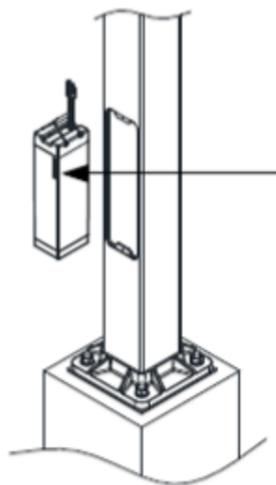


COLUMNA

Columna Altura total 4m
 Base 2m
 Sección 172x172 mm
 Material Aleación de aluminio

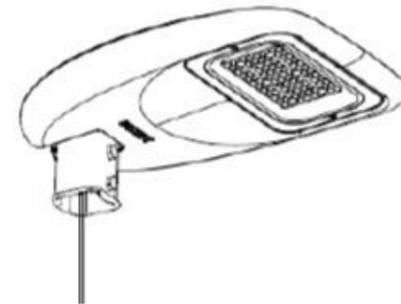
PANELES SOLARES

Tecnología PV Mono-St
 Eficacia solar (STC) 16.40%
 Potencia >180 Wp
 Numero de paneles 4
 Dimensiones 172x172x2000 mm
 Equipo Combi driver+regulador carga-descarga integrado en la columna junto a la batería



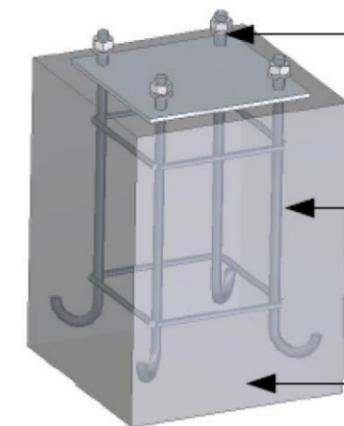
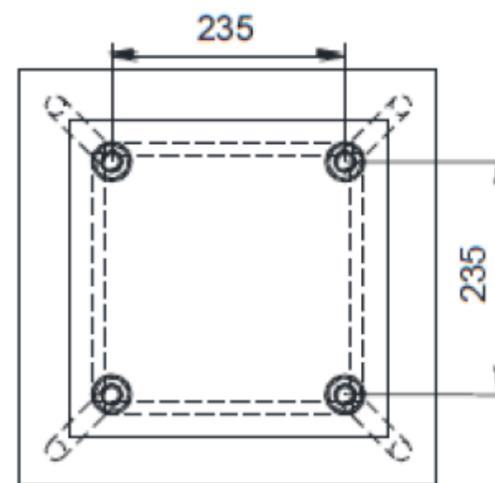
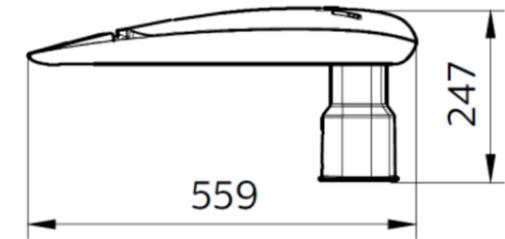
BATERÍA

Batería LiFePO4 Capacidad 60 Ah
 Ciclos de vida 2000
 Grado IP 68
 Dimensiones 120x146x470 mm
 Peso 8.5 kg



LUMINARIA

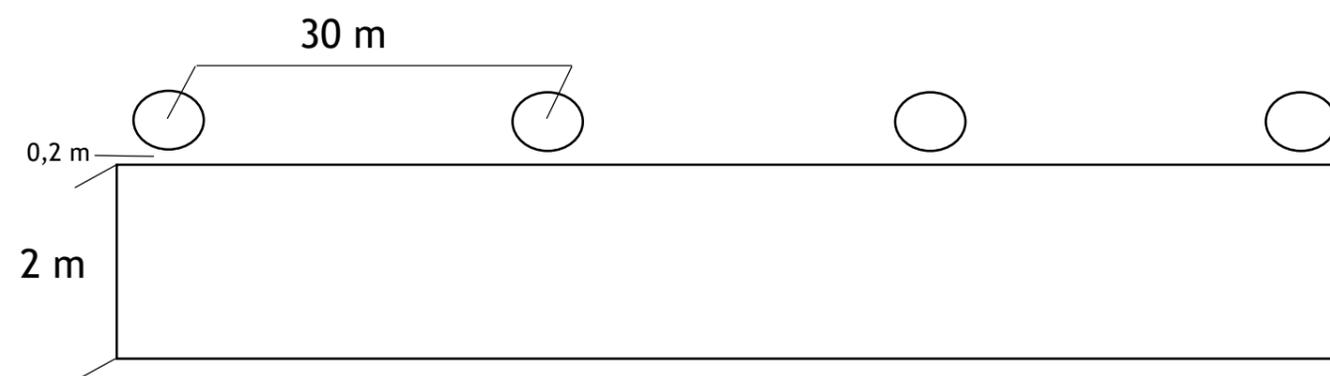
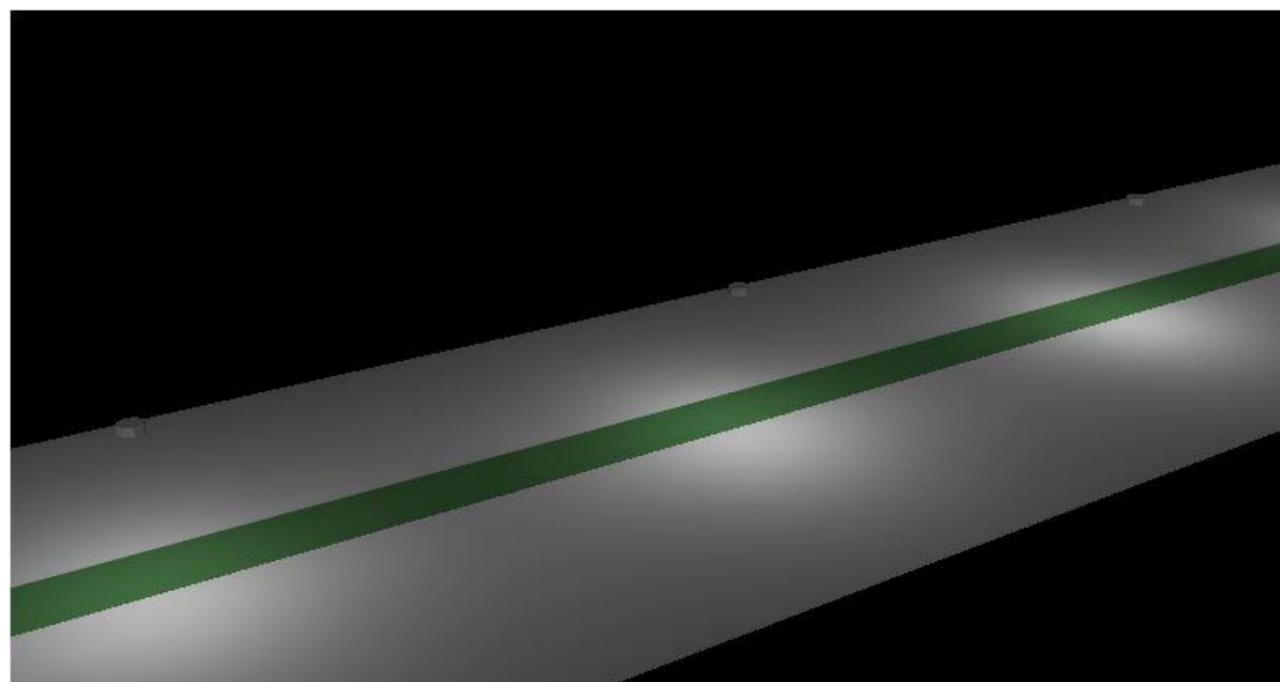
UrbanSpark ROADGRACE PHILIPS
 Material Carcasa de aluminio inyectado a alta presión
 Flujo de sistema de familia 2500 lm
 Consumo sistema de familia 25 W
 Eficacia del sistema de la familia 86,2 lm/W
 Temperatura de color 3000K, 4000K



Pernos y tuercas M16-M18.
 Arandelas de nylon para evitar par galvánico

Pernos

Base de Hormigón



TRABAJO FIN DE MÁSTER
 Máster Universitario en Energías Renovables



Proyecto:
OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA DE ALUMBRADO PÚBLICO: APLICACIÓN AL PASEO MARÍTIMO DE LOS NIETOS (MAR MENOR, MURCIA)

Plano:
Alumbrado Lengua de la Vaca

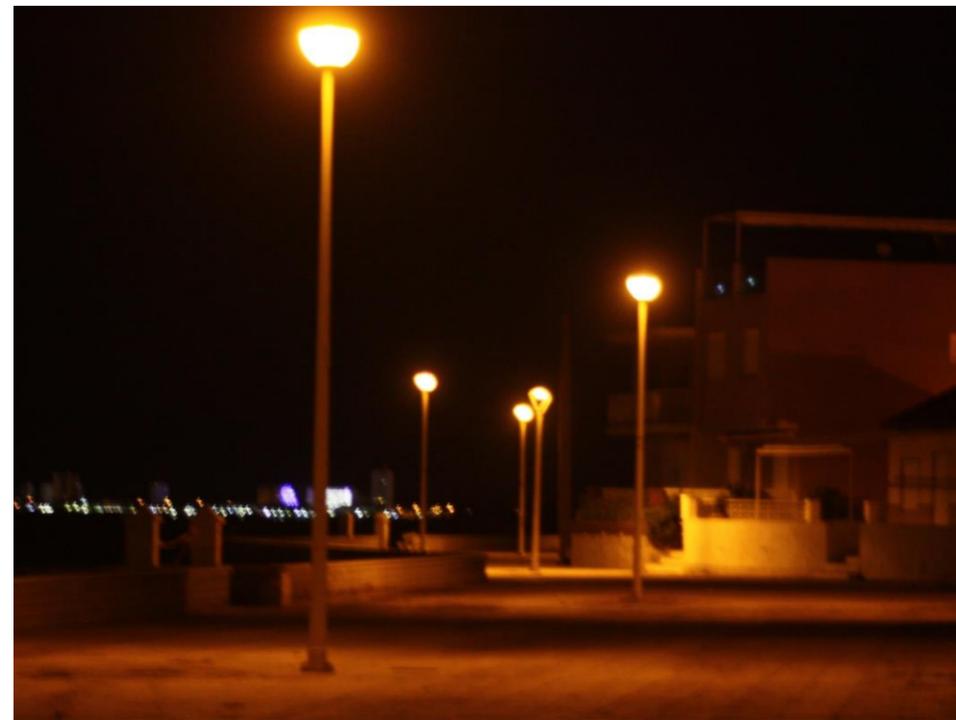
Autora:
Encarnación M. Sanes Linares

Fecha:
 Septiembre 2019

Escala:

Nº Plano:

08



TRABAJO FIN DE MÁSTER
 Máster Universitario en Energías Renovables



Proyecto:
OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA DE ALUMBRADO PÚBLICO: APLICACIÓN AL PASEO MARÍTIMO DE LOS NIETOS (MAR MENOR, MURCIA)

Plano:
Estado actual paseo marítimo Los Nietos

Autora:
Encarnación M. Sanes Linares

Fecha:
 Septiembre 2019

Escala:

Nº Plano:

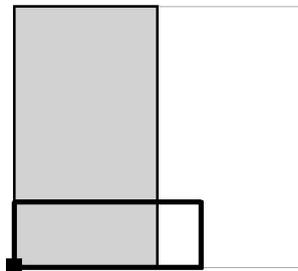
09



<p>TRABAJO FIN DE MÁSTER Máster Universitario en Energías Renovables</p>  <p>Universidad Politécnica de Cartagena</p>  <p>industriales etsii UPCT</p>	<p>Proyecto: OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA DE ALUMBRADO PÚBLICO: APLICACIÓN AL PASEO MARÍTIMO DE LOS NIETOS (MAR MENOR, MURCIA)</p>	<p>Plano: Detalle delimitación Lengua de la Vaca</p>	<p>Fecha: Septiembre 2019</p>	<p>Nº Plano: 10</p>
		<p>Autora: Encarnación M. Sanes Linares</p>	<p>Escala:</p>	

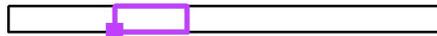
Proyecto elaborado por
Teléfono
Fax
e-Mail

Escena exterior 2 / Trama de cálculo 1 / Tabla (E, perpendicular)



■ sección actual
□ otras secciones

Situación de la superficie en la escena exterior:
Punto marcado: (29.500 m, 19.750 m, 0.000 m)



6.300	14	13	11	10	9.36	8.46	8.17	8.46	9.36	10
4.900	17	15	13	11	9.07	8.02	7.68	8.02	9.07	11
3.500	<u>19</u>	17	13	11	8.77	7.75	7.38	7.75	8.77	11
2.100	18	16	12	9.52	7.54	6.39	6.02	6.39	7.54	9.52
0.700	10	9.16	6.94	5.04	3.84	3.16	<u>3.02</u>	3.16	3.84	5.04
m	0.769	2.308	3.846	5.385	6.923	8.462	10.000	11.538	13.077	14.615

Atención: Las coordenadas se refieren al diagrama ya mencionado. Valores en Lux.

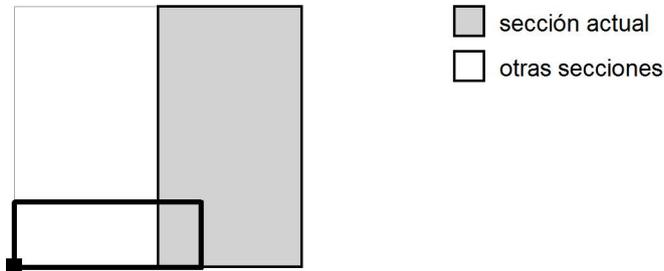
Trama: 13 x 5 Puntos

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
10	3.02	19	0.29	0.16

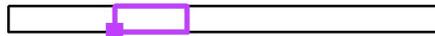


Proyecto elaborado por
Teléfono
Fax
e-Mail

Escena exterior 2 / Trama de cálculo 1 / Tabla (E, perpendicular)



Situación de la superficie en la escena exterior:
Punto marcado: (29.500 m, 19.750 m, 0.000 m)



6.300	11	13	14
4.900	13	15	17
3.500	13	17	<u>19</u>
2.100	12	16	18
0.700	6.94	9.16	10
m	16.154	17.692	19.231

Atención: Las coordenadas se refieren al diagrama ya mencionado. Valores en Lux.

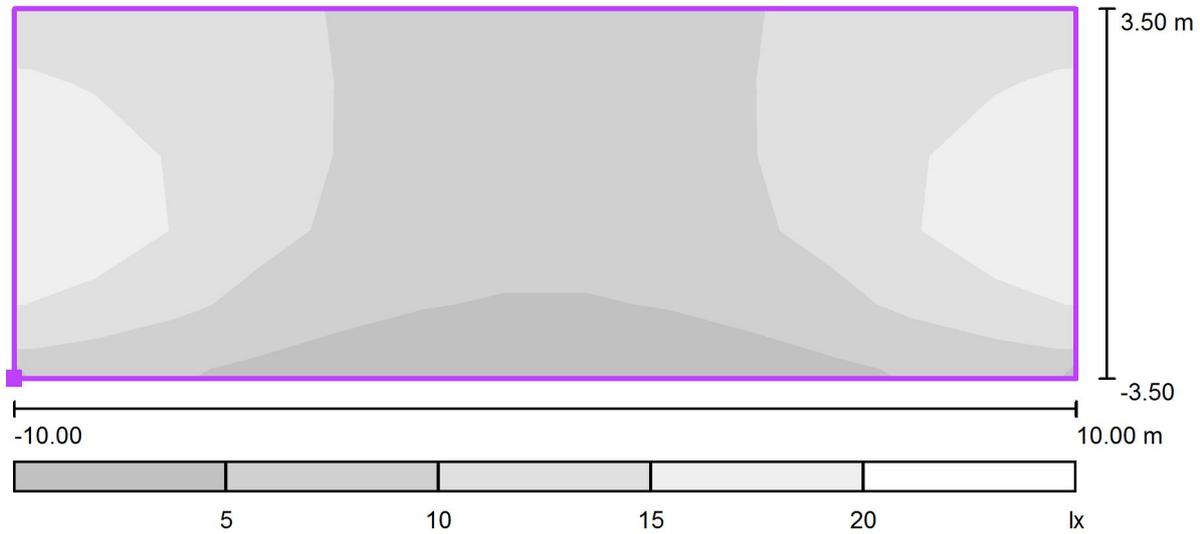
Trama: 13 x 5 Puntos

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
10	3.02	19	0.29	0.16



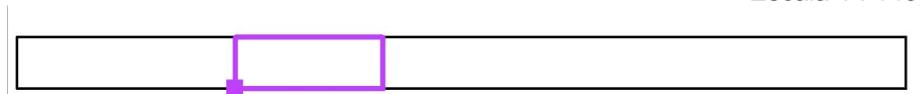
Proyecto elaborado por
Teléfono
Fax
e-Mail

Escena exterior 2 / Trama de cálculo 1 / Gama de grises (E, perpendicular)



Escala 1 : 143

Situación de la superficie en la
escena exterior:
Punto marcado: (29.500 m,
19.750 m, 0.000 m)



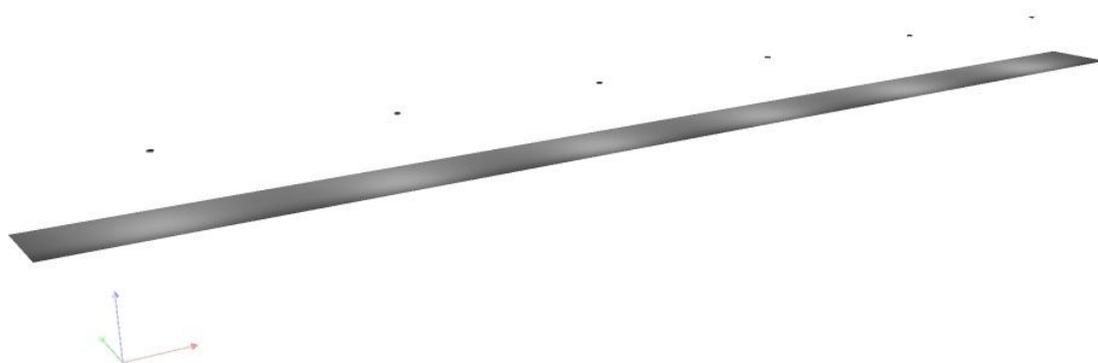
Trama: 13 x 5 Puntos

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
10	3.02	19	0.29	0.16



Proyecto elaborado por
Teléfono
Fax
e-Mail

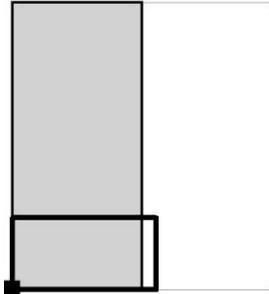
Escena exterior 2 / Rendering (procesado) en 3D





Proyecto elaborado por
Teléfono
Fax e-Mail

Escena exterior 2 / Trama de cálculo 1 / Tabla (E, perpendicular)



- sección actual
- otras secciones

Situación de la superficie en la escena exterior:

Punto marcado: (27.500 m, 19.750 m, 0.000 m)



8.100	13	11	7.91	5.91	4.81	<u>4.53</u>	4.99	6.22	8.31	11	
6.300	19	15	11	7.73	5.90	5.38	6.03	7.97	11	16	
4.500	<u>22</u>	18	13	8.61	6.38	5.73	6.46	8.81	13	18	
2.700	20	16	12	8.12	6.13	5.53	6.20	8.28	12	17	
0.900	14	12	8.77	6.50	5.22	4.82	5.28	6.66	9.08	12 m	0.818
	2.455	4.091	5.727	7.364	9.000	10.636	12.273	13.909	15.546		

Atención: Las coordenadas se refieren al diagrama ya mencionado. Valores en Lux.

Trama: 11 x 5 Puntos

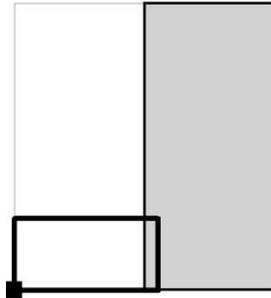
E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
10	4.53	22	0.43	0.20





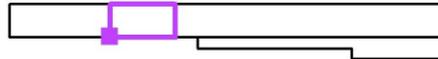
Proyecto elaborado por
Teléfono
Fax e-Mail

Escena exterior 2 / Trama de cálculo 1 / Tabla (E, perpendicular)



- sección actual
- otras secciones

Situación de la superficie en la escena exterior:
Punto marcado: (27.500 m, 19.750 m, 0.000 m)



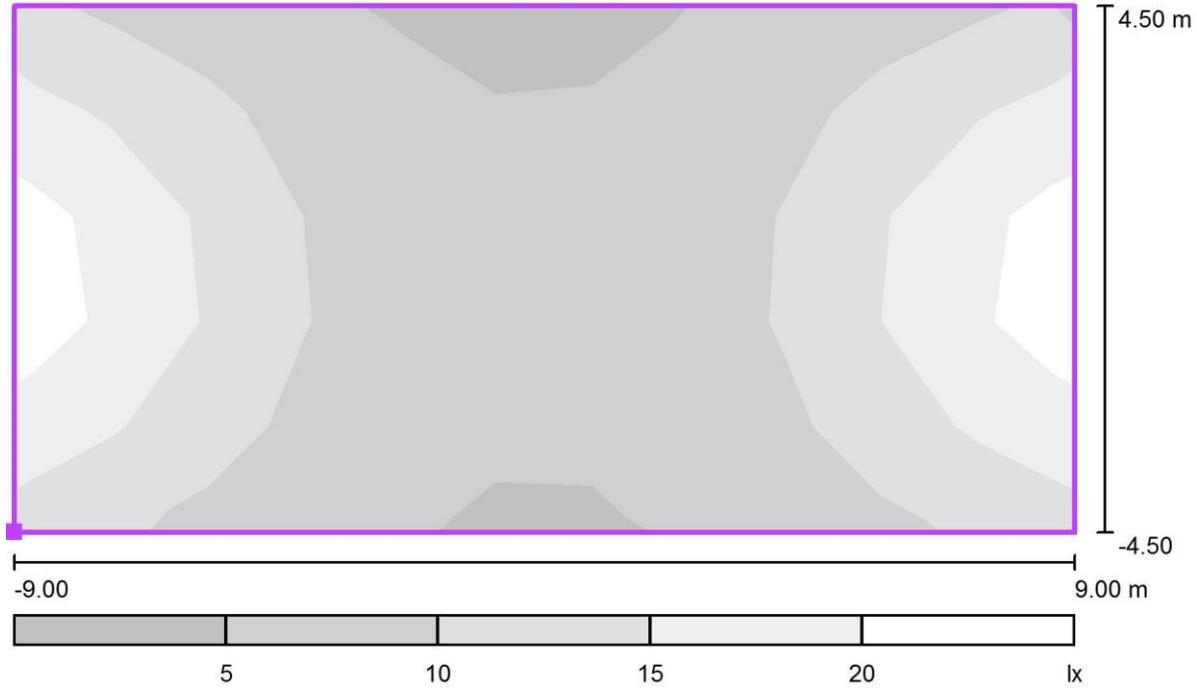
- 8.100** 13
- 6.300** 19
- 4.500** 22
- 2.700** 20
- 0.900** 14 m
- 17.182**

Atención: Las coordenadas se refieren al diagrama ya mencionado. Valores en Lux. Trama: 11 x 5 Puntos

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
10	4.53	22	0.43	0.20

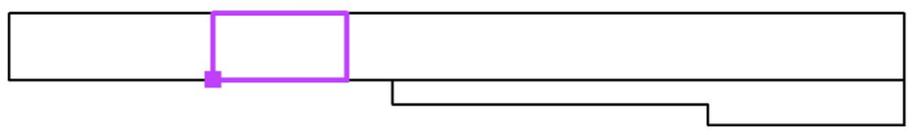
Proyecto elaborado por
Teléfono
Fax e-Mail

Escena exterior 2 / Trama de cálculo 1 / Gama de grises (E, perpendicular)



Escala 1 : 129

Situación de la superficie en la
escena exterior:
Punto marcado: (27.500 m,
19.750 m, 0.000 m)



Trama: 11 x 5 Puntos

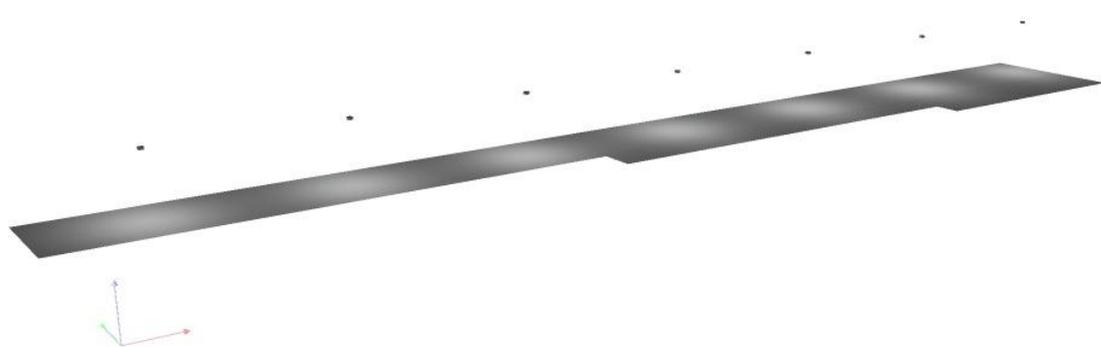
E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
10	4.53	22	0.43	0.20





Proyecto elaborado por
Teléfono
Fax
e-Mail

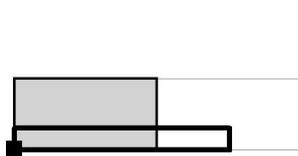
Escena exterior 2 / Rendering (procesado) en 3D





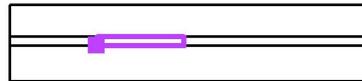
Proyecto elaborado por
Teléfono
Fax
e-Mail

Escena exterior 3 / Trama de cálculo 1 / Tabla (E, perpendicular)



■ sección actual
□ otras secciones

Situación de la superficie en la escena exterior:
Punto marcado: (19.947 m, 23.432 m, 0.000 m)



1.833	12	8.96	5.30	3.27	2.06	1.42	1.19	<u>1.15</u>	1.21	1.44
1.500	14	9.94	5.81	3.50	2.17	1.47	1.22	1.17	1.23	1.49
1.167	15	11	6.28	3.71	2.26	1.51	1.24	1.19	1.25	1.53
0.833	17	12	6.69	3.89	2.33	1.54	1.26	1.20	1.27	1.55
0.500	<u>18</u>	12	7.02	4.03	2.38	1.56	1.28	1.22	1.28	1.57
0.167	<u>18</u>	13	7.21	4.11	2.41	1.58	1.29	1.23	1.29	1.59
m	0.668	2.005	3.342	4.679	6.016	7.353	8.690	10.027	11.364	12.701

Atención: Las coordenadas se refieren al diagrama ya mencionado. Valores en Lux.

Trama: 15 x 6 Puntos

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
5.68	1.15	18	0.20	0.06

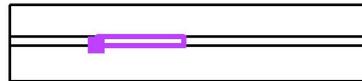


Proyecto elaborado por
Teléfono
Fax
e-Mail

Escena exterior 3 / Trama de cálculo 1 / Tabla (E, perpendicular)



Situación de la superficie en la
escena exterior:
Punto marcado: (19.947 m,
23.432 m, 0.000 m)



1.833	2.08	3.34	5.30	8.81	12
1.500	2.19	3.56	5.81	9.82	14
1.167	2.28	3.78	6.29	11	15
0.833	2.35	3.97	6.71	12	17
0.500	2.39	4.09	7.03	12	<u>18</u>
0.167	2.41	4.16	7.21	13	<u>18</u>
m	14.037	15.374	16.711	18.048	19.385

Atención: Las coordenadas se refieren al diagrama ya mencionado. Valores en Lux.

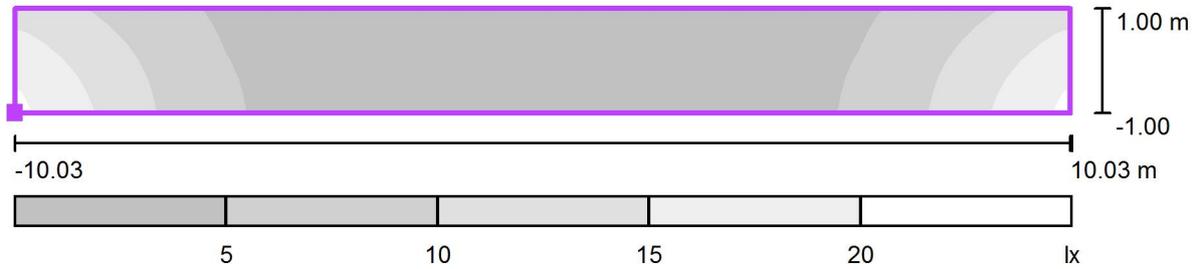
Trama: 15 x 6 Puntos

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
5.68	1.15	18	0.20	0.06



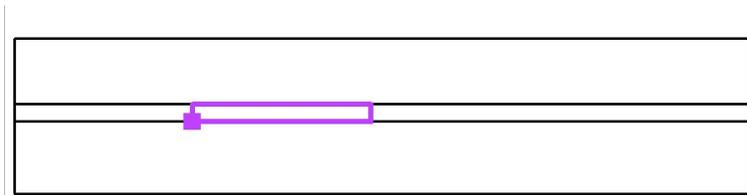
Proyecto elaborado por
Teléfono
Fax
e-Mail

Escena exterior 3 / Trama de cálculo 1 / Gama de grises (E, perpendicular)



Escala 1 : 144

Situación de la superficie en la escena exterior:
Punto marcado: (19.947 m, 23.432 m, 0.000 m)



Trama: 15 x 6 Puntos

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
5.68	1.15	18	0.20	0.06



Proyecto elaborado por
Teléfono
Fax
e-Mail

Escena exterior 3 / Rendering (procesado) en 3D

