

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
Iluminación centrada en la persona de la torre de control del aeropuerto de Málaga
en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2019/20 es de mi autoría, original e inédito y
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.
El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido
tomada de otros documentos está debidamente referenciada.

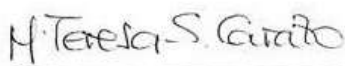


Fdo.: Guillermo Lázaro Martínez

Fecha: 31/ 08/2020

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO



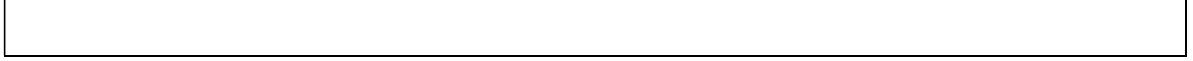
Fdo.: María Teresa Sánchez Carazo

Fecha: 31/ 08/2020



Fdo.: Gaspar López López

Fecha: 31/ 08/ 2020



AUTORIZACIÓN PARA LA DIGITALIZACIÓN, DEPÓSITO Y DIVULGACIÓN EN RED DE PROYECTOS FIN DE GRADO, FIN DE MÁSTER, TESIS O MEMORIAS DE BACHILLERATO

1º. Declaración de la autoría y acreditación de la misma.

El autor D. Guillermo Lázaro Martínez

DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra: **Iluminación centrada en la persona de la torre del aeropuerto de Málaga**, que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual.

2º. Objeto y fines de la cesión.

Con el fin de dar la máxima difusión a la obra citada a través del Repositorio institucional de la Universidad, el autor **CEDE** a la Universidad Pontificia Comillas, de forma gratuita y no exclusiva, por el máximo plazo legal y con ámbito universal, los derechos de digitalización, de archivo, de reproducción, de distribución y de comunicación pública, incluido el derecho de puesta a disposición electrónica, tal y como se describen en la Ley de Propiedad Intelectual. El derecho de transformación se cede a los únicos efectos de lo dispuesto en la letra a) del apartado siguiente.

3º. Condiciones de la cesión y acceso

Sin perjuicio de la titularidad de la obra, que sigue correspondiendo a su autor, la cesión de derechos contemplada en esta licencia habilita para:

- a) Transformarla con el fin de adaptarla a cualquier tecnología que permita incorporarla a internet y hacerla accesible; incorporar metadatos para realizar el registro de la obra e incorporar “marcas de agua” o cualquier otro sistema de seguridad o de protección.
- b) Reproducir la en un soporte digital para su incorporación a una base de datos electrónica, incluyendo el derecho de reproducir y almacenar la obra en servidores, a los efectos de garantizar su seguridad, conservación y preservar el formato.
- c) Comunicarla, por defecto, a través de un archivo institucional abierto, accesible de modo libre y gratuito a través de internet.
- d) Cualquier otra forma de acceso (restringido, embargado, cerrado) deberá solicitarse expresamente y obedecer a causas justificadas.
- e) Asignar por defecto a estos trabajos una licencia Creative Commons.
- f) Asignar por defecto a estos trabajos un HANDLE (URL *persistente*).

4º. Derechos del autor.

El autor, en tanto que titular de una obra tiene derecho a:

- a) Que la Universidad identifique claramente su nombre como autor de la misma
- b) Comunicar y dar publicidad a la obra en la versión que ceda y en otras posteriores a través de cualquier medio.
- c) Solicitar la retirada de la obra del repositorio por causa justificada.
- d) Recibir notificación fehaciente de cualquier reclamación que puedan formular terceras personas en relación con la obra y, en particular, de reclamaciones relativas a los derechos de propiedad intelectual sobre ella.

5º. Deberes del autor.

El autor se compromete a:

- a) Garantizar que el compromiso que adquiere mediante el presente escrito no infringe ningún derecho de terceros, ya sean de propiedad industrial, intelectual o cualquier otro.
- b) Garantizar que el contenido de las obras no atenta contra los derechos al honor, a la intimidad y a la imagen de terceros.
- c) Asumir toda reclamación o responsabilidad, incluyendo las indemnizaciones por daños, que pudieran ejercitarse contra la Universidad por terceros que vieran infringidos sus derechos e intereses a causa de la cesión.
- d) Asumir la responsabilidad en el caso de que las instituciones fueran condenadas por infracción

de derechos derivada de las obras objeto de la cesión.

6º. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional.

La obra se pondrá a disposición de los usuarios para que hagan de ella un uso justo y respetuoso con los derechos del autor, según lo permitido por la legislación aplicable, y con fines de estudio, investigación, o cualquier otro fin lícito. Con dicha finalidad, la Universidad asume los siguientes deberes y se reserva las siguientes facultades:

- La Universidad informará a los usuarios del archivo sobre los usos permitidos, y no garantiza ni asume responsabilidad alguna por otras formas en que los usuarios hagan un uso posterior de las obras no conforme con la legislación vigente. El uso posterior, más allá de la copia privada, requerirá que se cite la fuente y se reconozca la autoría, que no se obtenga beneficio comercial, y que no se realicen obras derivadas.
- La Universidad no revisará el contenido de las obras, que en todo caso permanecerá bajo la responsabilidad exclusiva del autor y no estará obligada a ejercitar acciones legales en nombre del autor en el supuesto de infracciones a derechos de propiedad intelectual derivados del depósito y archivo de las obras. El autor renuncia a cualquier reclamación frente a la Universidad por las formas no ajustadas a la legislación vigente en que los usuarios hagan uso de las obras.
- La Universidad adoptará las medidas necesarias para la preservación de la obra en un futuro.
- La Universidad se reserva la facultad de retirar la obra, previa notificación al autor, en supuestos suficientemente justificados, o en caso de reclamaciones de terceros.

Madrid, a 26 de agosto de 2020

ACEPTA

Fdo Guillermo Lázaro Martínez



Motivos para solicitar el acceso restringido, cerrado o embargado del trabajo en el Repositorio Institucional:



MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

ILUMINACIÓN CENTRADA EN LA PERSONA DE LA TORRE DE CONTROL DEL AEROPUERTO DE MÁLAGA

Autor: Guillermo Lázaro Martínez

Director: Teresa Sánchez Carazo

Gaspar López López

Madrid, a 31 de agosto de 2020

Agradecimientos

A mí familia, que siempre me ha apoyado por este arduo camino.

ILUMINACIÓN CENTRADA EN LA PERSONA DE LA TORRE DE CONTROL DEL AEROPUERTO DE MÁLAGA

Autor: Lázaro Martínez, Guillermo.

Director: Sánchez Carazo, María Teresa.

López López, Gaspar

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

El objetivo del TFM será desarrollar una luminaria para alumbrado interior, que permita al ser humano regular de forma natural el funcionamiento de sus ciclos vitales como lo haría si la iluminación que recibiese fuese del sol o de la luna. Para esto, se utilizarán sistemas existentes en el mercado que, trabajando conjuntamente, aunque provengan de diferentes fabricantes, generen el efecto deseado.

Palabras clave: Luminaria, HCL, Ledmotive

1. Introducción

Actualmente, debido al estilo de vida del ser humano medio, éste tiende a pasar la mayor parte del día en interiores. Debido a eso, la exposición de la luz artificial durante largos periodos de tiempo le influye muy seriamente afectando sus ciclos circadianos (ciclo día-noche) en aspectos como sus emociones, su sistema inmune o incluso el apetito. Pero en el aspecto que más influye es el sueño, factor muy importante en este proyecto, ya que se está diseñando el sistema de iluminación de una sala de control cuyo modo de trabajo es por turnos.

Por eso, con este proyecto de fin de máster, se pretende diseñar un sistema de iluminación centrada en la persona (HCL) en la torre de control del aeropuerto de Málaga. Dicho sistema simulará la iluminación que se expondrían los trabajadores en el caso de que recibiesen luz natural.

Las características con las que este sistema debe contar son las siguientes:

- En las primeras horas del día, la luz que simula el amanecer ayudaría al trabajador a tener menos somnolencia, para mejorar su bienestar.
- En el transcurso del día, el sistema iluminará con luz fría (azul) para mejorar el estado de alerta, rendimiento y ánimo del trabajador.
- Esa luz diurna puede favorecer al trabajado durante el sueño nocturno.

- También, esa luz azul también puede ser perjudicial durante las últimas horas del día. Por eso, durante el ocaso, se utilizará una luz de baja intensidad de iluminación cálida (roja).
- Por último, para el diseño del sistema, se pretende buscar el contraste entre las luces frías y las luces cálidas para mantener el óptimo rendimiento del trabajador sin perjudicar sus ciclos circadianos.

El cerebro humano percibe un espectro de luz desde los 400 nm hasta los 750 nm. Una longitud de onda menor supondría una luz infrarroja y si es superior, sería ultravioleta. La rama del cerebro que reacciona a la calidad de la luz, se llama núcleo supraquiasmático (SCN). De esta forma, el SCN puede procesar la información de la luz y enviar diferentes órdenes del sistema endocrino. Por eso, se ha detectado una franja en la longitud de onda, de 450 nm a 480 nm, que suprime la secreción de melatonina. La melatonina es una hormona que se suele segregar cuando disminuye la exposición a la luz blanca y por lo tanto suele persistir cuando el ser humano esté dormido.

Además de controlar el color de la luz, también hay que controlar la intensidad de la luz. Lo importante en este aspecto es utilizar mayor intensidad a primera hora del turno y menor intensidad a última hora de este. Adicionalmente, se usará una iluminación de aún mayor intensidad para las situaciones de emergencia, y que los trabajadores puedan estar alerta. Para asegurar un correcto uso del sistema de iluminación centrada en la persona, se asegurará que las variaciones de luminosidad no sean demasiado bruscas. Una persona que ha estado recibiendo una iluminación tenue durante un largo periodo de tiempo muestra una reacción mayor en su estado si recibe una iluminación más intensa de forma brusca.

1.1. Estado de la cuestión

Como se ha explicado anteriormente, la radiación del espectro visible para los seres humanos tiene una longitud de onda que abarca desde los 400 a los 750 nm. A parte de permitir al ser humano ver todo lo que le rodea, la luz se sincroniza con el sistema circadiano, provocando los efectos descritos en la introducción. Hasta hace casi un siglo, sólo se conocía la existencia de dos fotorreceptores: los conos (relacionados con la visión del color) y los bastones (los cuales perciben la intensidad del color).

Esta radiación es necesaria para poder ver todo aquello que nos rodea. Así, la luz incide sobre los objetos, reflejándose una parte de ella, que es la que percibimos mediante nuestros ojos. Sin embargo, como se ha mencionado en la introducción de este número, la luz, más allá de su función visual, tiene una función de sincronización del sistema circadiano. Como hemos visto, el reloj circadiano funcionaría como un reloj de cuerda al que habría que poner en hora cada día, siendo el ciclo de luz-oscuridad el principal encargado de ello. En 1923 se

descubrió que existe un tercer tipo de fotorreceptor que respondía a una longitud de onda que no se corresponde a la luz visible pero que también afecta al estado de ánimo del ser humano. Estos fotorreceptores se denominarán “células ganglionares fotosensibles”.

La luz natural, usada en interiores, tiene 4 limitaciones principales que son:

- a) La duración del día, que depende de la latitud y estación del año.
- b) La iluminancia exterior que depende también de la latitud, la estación del año, y las horas del día.
- c) La orientación de la fachada, como la geometría de la zona de trabajo.
- d) Los obstáculos externos.

La luz natural tiene 3 elementos: la luz proveniente del sol, la difusión de la luz que varía del tipo de cielo y su estado (despejado, nublado...) y las reflexiones de elementos externos. Además, como ya se comentó antes, la iluminación también dependerá del color, así como la reacción del ser humano ante el mismo.

En la siguiente tabla se pueden ver los niveles de luz habituales:

Condición	Iluminancia (lux)
Luz de sol	107,527
Plena luz del día	10,752
Día nublado	1,075
Día oscuro	107
Crepúsculo	10.8
Crepúsculo profundo	1.08
Luna llena	.108
Luna creciente	.0108
Luz de las estrellas	.0011
Noche nublada	.0001

Tabla 1 - Niveles de iluminación. Fuente: (Niveles de iluminación recomendados, 2016)

A continuación, se verá una gráfica donde se analiza la temperatura del color en diferentes ejemplos (se utilizaría las que están relacionadas con el día y la noche para el diseño).

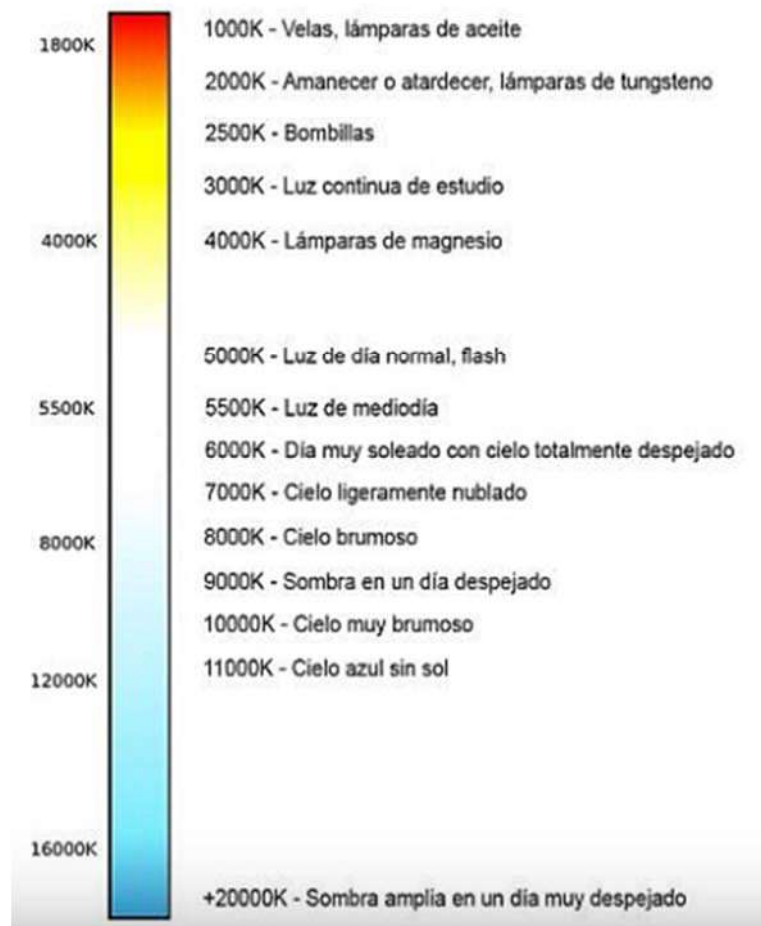


Ilustración 1 - Temperaturas de la luz. Fuente: (León, 2018)

2. Definición del proyecto

La visión de este proyecto es la mejora de los sistemas habituales de iluminación para que de esta manera mejore la reacción del sistema interno de las personas y así mejorar tanto su rendimiento como su estado de ánimo. Así, se conseguiría que los trabajadores estén más motivados. También, se pretende que se mejore la estabilización de estos ciclos circadianos protegiendo al trabajador de unos estímulos de luz inadecuados.

La luz que recibe el ser humano se compone tanto de la luz de las luminarias, la luz natural, y la luz indirecta que recibe, es decir, la que se refleja en las superficies. Además, la geometría de la habitación podría cambiar la percepción de la luz. Por eso, con este proyecto también se pretende mejorar la eficiencia de los sistemas de iluminación aprovechando la luz natural y la propia geometría de la zona de trabajo.

Estos dos aspectos harían que los sistemas de iluminación mejoren tanto en confort humano, como en eficiencia energética, disminuyendo la potencia utilizada.

El objetivo del TFM será desarrollar una luminaria para alumbrado interior, que permita al ser humano regular de forma natural el funcionamiento de sus ciclos vitales como lo haría si la iluminación que recibiese fuese del sol o de la luna.

Para esto, se utilizarán sistemas existentes en el mercado que, trabajando conjuntamente, aunque provengan de diferentes fabricantes, generen el efecto deseado. En este caso, el tipo de sistema que se abordará será para aplicaciones industriales (oficinas) o domésticas (definiendo la estancia). Para este caso, el sistema en su conjunto cumplirá con la normativa, para lo que se identificarán los requisitos que le sean aplicables, se demostrará que el sistema diseñado los cumple y se detallarán los ensayos a los que debería ser sometido para poder comercializarse en la Unión Europea.

3. Descripción del sistema

A continuación, se verá una imagen que represente el esquema del proyecto con la idea original. Como se ve en la imagen, este proyecto se podría dividir en 4 áreas básicas:

1. Recopilar información para poder conocer cómo ve un objeto el ser humano y como afecta esto a sus ciclos vitales. Dentro de este apartado, se identificarán los riesgos fotobiológicos de la luz para tenerlos en cuenta en el futuro diseño del sistema.
2. Recopilar información acerca de la normativa, tanto europea como nacional, que debe cumplirse para en ámbito de iluminación elegido. En este apartado se definirá un local de referencia sobre el que se llevarán a cabo los cálculos lumínicos que sean requeridos.
3. Definir el diagrama de bloques en base al cual se diseñará el sistema e identificar, entre los productos ofrecidos por los diferentes fabricantes de los diferentes componentes, los que utilizaremos para nuestra aplicación. Sobre el local definido en el apartado anterior, se llevarán a cabo cálculos lumínicos que justifiquen que la solución base seleccionada cumple con la normativa.

4. Trabajando ya sobre el sistema completo que integre todos los componentes seleccionados, formular el trabajo del conjunto para optimizar su funcionamiento orientado a la persona. En este apartado puede ser requerido algún tipo de componente adicional que se integre en el sistema, así como la programación de algún componente para garantizar la adaptabilidad de este a lo requerido por la persona. También puede ser necesario revisar el cálculo lumínico para justificar el funcionamiento del conjunto en condiciones fuera de los parámetros iniciales. Este apartado terminará con la enumeración de los ensayos que deberían realizarse al sistema que demuestren su cumplimiento con la normativa y le permitan ser vendido dentro de la Unión Europea.



Ilustración 2 – Esquema del trabajo del proyecto

4. Resultados

En este apartado se explicará los resultados obtenidos durante el proyecto. También se contará la relevancia de estos.

Durante este proceso, se ha optado por elegir los materiales para mejorar la calidad de la luminaria. Esto es necesario para asegurar una óptima calidad de iluminación. Con esto se refiere a una iluminación que aporte los niveles necesarios y además poder evitar un deslumbramiento que afecte a la seguridad y salud de los trabajadores. Además, se ha decidido utilizar una iluminación centrada en la persona, por lo que de esa forma se aprovechará mejor la iluminación solar utilizando un método de iluminación dinámica. De esta forma, se realizará la iluminación necesaria en cada momento disminuyendo el gasto de

energía. Los elementos necesarios para el diseño de la luminaria fueron el **chip**, el **driver**, el sistema de **gestión del calor**, la **placa** soporte y la **óptica** de la luminaria

Una vez diseñada la iluminaria, queda decidir cómo realizar la instalación. En este proyecto, además de las luminarias, se necesita instalar el sistema eléctrico y electrónico.

5. Conclusiones

Durante este proyecto se han cumplido los siguientes apartados:

1. Se ha investigado sobre cómo afecta la luz al ser humano, tanto física como psicológicamente. Además, se ha analizado la diferencia entre la iluminación de luz natural y la artificial y de esta forma se ha podido justificar la necesidad de que la iluminación esté centrada en el ser humano.
2. El diseño de la luminaria: Se ha obtenido una luminaria en el cual se ha optimizado su iluminación minimizando las pérdidas. Además, todo eso se ha realizado utilizando el módulo Ledmotive para que la iluminación sea centrada en las personas.
3. Se ha diseñado como se va a instalar la luminaria ya diseñada en el recinto. Se ha comprobado que este sistema cumple la normativa (con respecto a los niveles de luz como al deslumbramiento) y además se ha utilizado un sistema electrónico para mejorar tanto la comodidad del ser humano como la eficiencia del sistema.
4. Se ha diseñado los subsistemas necesarios para que sea posible el funcionamiento del sistema de iluminación. Dichos subsistemas consisten en un sistema electrónico (para conseguir una iluminación dinámica, en el que se pueda variar los niveles de iluminación y la temperatura del color de forma automatizada) y un sistema eléctrico (para obtener la potencia necesaria para que funcione todo el sistema).

6. Referencias

- [1] Bonmatí, M., & Argüelles, R. (2015). La luz en el sistema circadiano. *Revista Eubacteria. Especial de Cronobiología*. N° 33, 9, 10.
- [2] León, N. (16 de Junio de 2018). *Temperatura de Color: Qué Es y Cómo Sacarle Jugo en tus Fotos*. Obtenido de <https://www.dzoom.org.es/la-temperatura-del-color/>
- [3] *Niveles de iluminación recomendados*. (22 de Agosto de 2016). Obtenido de https://www.noao.edu/education/QLTkit/es/Safety_Activity_Poster/LightLevels_outdoor+indoor_es.pdf

- [4] Weninger, J. (2019). Iluminación centrada en el ser humano: quo vadis.
Luminotecnica 145, 21-25.

HUMAN CENTRIC LIGHTING OF THE MÁLAGA AIRPORT CONTROL TOWER

Author: Lázaro Martínez, Guillermo.

Supervisor: Sánchez Carazo, María Teresa.

López López, Gaspar

Collaborating Entity: ICAI – Pontifical University Comillas

ABSTRACT

The objective of the TFM will be to develop a luminaire for interior lighting, which allows the human being to regulate in a natural way the operation of their life cycles as they would if the lighting they received was from the sun or the moon. For this, existing systems on the market will be used that, working together, even if they come from different manufacturers, generate the desired effect.

Keywords: Luminaire, HCL, Ledmotive

1. Introduction

Currently, due to the lifestyle of the average human being, he tends to spend most of the day indoors. Due to that, the exposure of artificial light for long periods of time influences you very seriously, affecting your circadian cycles (day-night cycle) in aspects such as your emotions, your immune system or even your appetite. But the aspect that most influences is sleep, a very important factor in this project, since the lighting system of a control room is being designed whose work mode is in shifts.

For this reason, with this master's degree project, the aim is to design a human-centered lighting system (HCL) in the control tower at Malaga airport.. This system will simulate the lighting that the workers would be exposed to if they received natural light.

The characteristics that this system must have are the following:

- In the early hours of the day, the light that simulates the sunrise would help the worker to have less drowsiness, to improve their well-being.
- During the day, the system will illuminate with cold light (blue) to improve the alertness, performance and mood of the worker.
- This daylight can favor the worker during nighttime sleep.
- Also, that blue light can also be harmful during the last hours of the day. For this reason, during sunset, a low intensity light with warm lighting (red) will be used.
- Lastly, for the design of the system, the aim is to find the contrast between cold lights and warm lights to maintain the optimum performance of the worker without damaging his circadian cycles.

The human brain perceives a spectrum of light from 400 nm to 750 nm. A shorter wavelength would be infrared light and if it is higher, it would be ultraviolet. The branch of the brain that reacts to the quality of light is called the suprachiasmatic nucleus (SCN). In this way, the SCN can process the information from the light and send different orders from the endocrine system. Thus, a wavelength band, 450 to 480 nm, has been detected that suppresses melatonin secretion. Melatonin is a hormone that is usually secreted when exposure to white light decreases and therefore usually persists when humans are asleep.

In addition to controlling the color of the light, you also must control the intensity of the light. The important thing in this regard is to use higher intensity early in the shift and lower intensity late in the shift. Additionally, even higher intensity lighting will be used for emergency situations, and workers can be alert. To ensure correct use of the person-centered lighting system, it will be ensured that the brightness variations are not too abrupt. A person who has been receiving dim lighting for a long period of time shows a greater reaction in his condition if he receives more intense lighting abruptly.

1.1. State of the question

As explained above, radiation in the spectrum visible to humans has a wavelength ranging from 400 to 750 nm. Apart from allowing the human being to see everything around him, the light is synchronized with the circadian system, causing the effects described in the introduction. Until almost a century ago, only two photoreceptors were known to exist: cones (related to color vision) and rods (which perceive color intensity).

This radiation is necessary to be able to see everything around us. Thus, light falls on objects, reflecting a part of it, which is what we perceive through our eyes. However, as mentioned in the introduction to this number, light, beyond its visual function, has a function of synchronizing the circadian system. As we have seen, the circadian clock would function as a winding clock that would have to be set every day, the light-dark cycle being the main one in charge of it. In 1923 it was discovered that there is a third type of photoreceptor that responds to a wavelength that does not correspond to visible light but that also affects the state of mind of the human being. These photoreceptors will be called "photosensitive ganglion cells."

Natural light, used indoors, has 4 main limitations, which are:

- a) The duration of the day, which depends on the latitude and season of the year.
- b) The external illuminance that also depends on the latitude, the season of the year, and the hours of the day.
- c) The orientation of the facade, such as the geometry of the work area.
- d) External obstacles.

Natural light has 3 elements: the light from the sun, the diffusion of light that varies from the type of sky and its state (clear, cloudy ...) and the reflections of external elements. In

addition, as already mentioned before, lighting will also depend on color, as well as the human reaction to it.

The following table shows the usual light levels:

Condición	Iluminancia (lux)
Luz de sol	107,527
Plena luz del día	10,752
Día nublado	1,075
Día oscuro	107
Crepúsculo	10.8
Crepúsculo profundo	1.08
Luna llena	.108
Luna creciente	.0108
Luz de las estrellas	.0011
Noche nublada	.0001

Table 1 -. Lighting levels. Source: (Niveles de iluminación recomendados, 2016)

Next, you will see a graph where the color temperature is analyzed in different examples (those related to day and night would be used for the design).

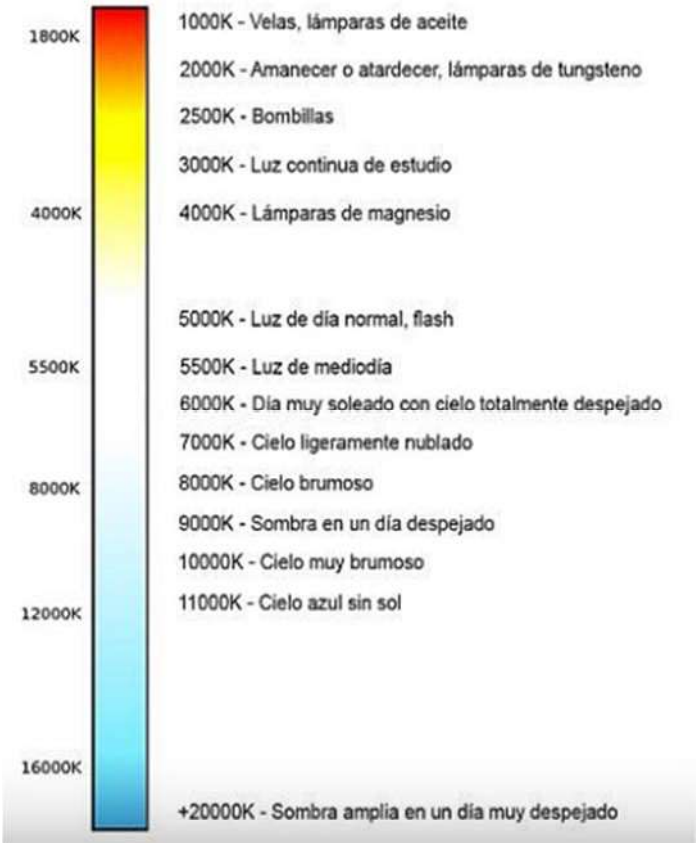


Illustration 1 - Light temperatures. Source: (León, 2018)

2. Project definition

The vision of this project is to improve the usual lighting systems so that in this way it improves the reaction of the internal system of people and thus improve both their performance and their mood. Thus, it would make workers more motivated. Also, it is intended that the stabilization of these circadian cycles be improved by protecting the worker from inadequate light stimuli.

The light that the human being receives is made up of both the light from the luminaires, the natural light, and the indirect light that it receives, that is, the light that is reflected on the surfaces. Also, the geometry of the room could change the perception of light. For this reason, this project also aims to improve the efficiency of lighting systems, taking advantage of natural light and the geometry of the work area itself.

These two aspects would make lighting systems improve both in human comfort and in energy efficiency, reducing the power used.

The objective of the TFM will be to develop a luminaire for interior lighting, which allows the human being to regulate in a natural way the operation of their life cycles as they would if the lighting they received was from the sun or the moon.

The development of the TFM will be divided into four basic areas:

3. Description of the system

Next, you will see an image that represents the project outline with the original idea. As seen in the image, this project could be divided into 4 basic areas:

1. Collect information to know how an object sees the human being and how this affects their life cycles. Within this section, the photobiological risks of light will be identified to take them into account in the future design of the system.
2. Collect information about the regulations, both European and national, that must be complied with for the chosen lighting field. In this section a reference room will be defined on which the required light calculations will be carried out.
3. Define the block diagram based on which the system will be designed and identify, among the products offered by the different manufacturers of the different components, those that we will use for our application. On the premises defined in the previous section, light calculations will be carried out to justify that the selected base solution complies with the regulations.
4. Already working on the complete system that integrates all the selected components, formulate the work of the set to optimize its person-oriented operation. In this section, some type of additional component that is integrated into the system may be required, as well as the programming of some component to guarantee its adaptability to what is required by the person. It may also be necessary to review the light calculation to justify the operation of the set-in conditions outside the initial parameters. This section will end with the enumeration of the tests that should be carried out on the system that demonstrate its compliance with the regulations and allow it to be sold within the European Union.



Illustration 2 - Project work outline

4. Results

In this section the results obtained during the project will be explained. The relevance of these will also be counted.

During this process, it has been chosen to choose the materials to improve the quality of the luminaire. This is necessary to ensure optimal lighting quality. This refers to lighting that provides the necessary levels and also to avoid glare that affects the health and safety of workers. In addition, it has been decided to use person-centered lighting, so that in this way the solar lighting will be better utilized using a dynamic lighting method. In this way, the necessary lighting will be made at all times, reducing energy expenditure. The elements necessary for the design of the luminaire were the **chip**, the **driver**, the **heat management** system, the support **plate** and the **optics** of the luminaire.

Once the lighting is designed, it remains to decide how to install it. In this project, in addition to the lights, it is necessary to install the electrical and electronic system.

5. Conclusions

During this project the following sections have been fulfilled:

1. There has been research on how light affects humans, both physically and psychologically. In addition, the difference between natural and artificial lighting has been analyzed and, in this way, it has been possible to justify the need for lighting to be centered on the human being.
2. The design of the luminaire: A luminaire has been obtained in which its illumination has been optimized, minimizing losses. In addition, all this has been done using the Ledmotive module so that the lighting is people centered.

3. It has been designed how the already designed luminaire will be installed in the room. This system has been found to be compliant (with regard to light levels and glare) and an electronic system has been used to improve both human comfort and system efficiency.
4. The necessary subsystems have been designed so that the operation of the lighting system is possible. These subsystems consist of an electronic system (to achieve dynamic lighting, in which the lighting levels and color temperature can be varied in an automated way) and an electrical system (to obtain the necessary power to operate the entire system).

6. References

1. [1] Bonmatí, M., & Argüelles, R. (2015). La luz en el sistema circadiano. Revista Eubacteria. Especial de Cronobiología. N° 33, 9, 10.
2. [2] Niveles de iluminación recomendados. (22 de Agosto de 2016). Obtenido de https://www.noao.edu/education/QLTkit/es/Safety_Activity_Poster/LightLevels_outdoor+indoor_es.pdf
3. [3] Weninger, J. (2019). Iluminación centrada en el ser humano: quo vadis. Luminotecnia 145, 21-25.

Índice de la memoria

1. Introducción	9
1.1 El efecto de la luz en el cerebro	9
1.2 Propuesta del proyecto	11
2. Descripción de las Tecnologías.....	13
2.1 Dialux.....	13
2.2 Cypelec.....	14
3. Estado de la cuestión.....	15
3.1 Sistemas de control actuales.....	15
3.2 Proyectos actuales	16
3.2.1 Diodo orgánico de emisión de luz (OLED o superOLED).....	16
3.2.2 Luz láser en el espectro visible.....	17
3.2.3 Tecnología LI-FI (Light Fidelity).....	17
3.2.4 Tecnología FIPEL	18
4. Definición del Trabajo	19
4.1 Justificación.....	19
4.2 Motivación	20
4.3 Objetivos	20
4.4 Metodología	21
4.5 Planificación y Estimación Económica.....	22
5. Sistema por desarrollar	26
5.1 Introducción	26
5.2 Iluminación del sistema.....	26
5.3 Planteamiento del problema	29
5.4 Diseño del sistema de iluminación	30
6. Diseño de la luminaria	32
6.1 Especificaciones del módulo Ledmotive.....	32
6.2 El led	34
6.3 El driver.....	34

6.4	El sistema de regulación.....	47
6.5	El marco exterior.....	49
6.6	El sistema de gestión del calor	50
6.7	La óptica.....	52
6.8	Geometría.....	56
6.9	Cálculos obtenidos de la luminaria	58
6.10	Eficiencia de la luminaria.....	67
7.	<i>Estimación del número de luminarias.....</i>	69
7.1	Cálculos.....	69
8.	<i>Cálculo de la sala de trabajo utilizando Dialux</i>	75
8.1	Primera prueba (utilizando los cálculos teóricos)	78
8.1.1	Altura de toda la zona de trabajo.....	78
8.1.2	Primera zona de trabajo (Mesa exterior).....	79
8.1.3	Segunda zona de trabajo (Mesa interior).....	80
8.1.4	Conclusiones.....	81
8.2	Diseño final	82
8.2.1	Altura de toda la zona de trabajo.....	83
8.2.2	Primera zona de trabajo (mesa exterior)	85
8.2.3	Segunda zona de trabajo (mesa interior)	87
8.2.4	Conclusiones.....	88
9.	<i>Subsistemas del sistema de iluminación.....</i>	89
9.1	Sistema electrónico.....	89
9.1.1	Elementos necesarios para el sistema de regulación DALI.....	90
9.1.2	Hardware del sistema DALI.....	97
9.1.3	Lógica del sistema.	99
9.2	Sistema eléctrico.....	105
10.	<i>Análisis de Resultados.....</i>	107
10.1	Diseño de la luminaria.....	107
10.2	Distribución de todos los elementos.....	108
11.	<i>Conclusiones y Trabajos Futuros.....</i>	109
11.1	Objetivos cumplidos.....	109

11.2 Ventajas de la iluminación centrada en las personas.....	110
11.3 Trabajos futuros.....	110
12. Bibliografía.....	112
 ANEXO I	 115
 ANEXO II	 118
 ANEXO II	 134
 ANEXO III	 154
 ANEXO V	 162

Índice de figuras

Figura 1. Distribución de las células ganglionares, conos y bastones. Fuente: (Bonmatí & Argüelles, 2015)	10
Figura 2. Proyección de los axiomas al núcleo supraquiasmático provocado por las células ganglionares. Fuente: (Bonmatí & Argüelles, 2015).....	10
Figura 3. Torre de control del aeropuerto de Málaga. Fuente: (Torre de control del tráfico aéreo en el aeropuerto de Málaga (España), 2019)	30
Figura 4. Curvas fotoeléctricas del módulo de iluminación. Curvas polares.....	33
Figura 5. Curvas fotoeléctricas del módulo de iluminación. Diagrama cartesiano	33
Figura 6. Diagrama de bloques. Fuente de alimentación básica. Fuente: (Ramírez, 2018)	35
Figura 7. Diagrama de bloques. Fuente de alimentación lineal. Fuente: (Ramírez, 2018) .	35
Figura 8. Transformador. Fuente: (Ramírez, 2018)	36
Figura 9. Rectificador de media onda. Fuente: (Ramírez, 2018)	36
Figura 10. Rectificador de onda completa. Fuente: (Ramírez, 2018)	37
Figura 11. Etapa de filtrado. Fuente: (Ramírez, 2018).....	37
Figura 12. Etapa de regulación. Fuente: (Ramírez, 2018).....	38
Figura 13. Fuente de alimentación conmutada. Fuente: (Ramírez, 2018).....	38
Figura 14. Diagrama de bloques. Fuente de alimentación conmutada. Fuente: (Ramírez, 2018).....	39
Figura 15. Configuración Buck/Step-down. Fuente: (Ramírez, 2018)	39
Figura 16. Configuración Boost/Step-up. Fuente: (Ramírez, 2018).....	40
Figura 17. Configuración Buck-Boost/invertir. Fuente: (Ramírez, 2018)	40
Figura 18. Configuración Flyback. Fuente: (Ramírez, 2018)	41
Figura 19. Controlador de la fuente de alimentación conmutada. Fuente: (Ramírez, 2018)	42
Figura 20. Controlador de la fuente de alimentación conmutada. Amplificador de error. Fuente: (Ramírez, 2018).....	43

Figura 21. Controlador de la fuente de alimentación conmutada. Lógica de control. Fuente: (Ramirez, 2018).....	43
Figura 22. Controlador de la fuente de alimentación conmutada. Elemento de control. Fuente: (Ramirez, 2018).....	44
Figura 23. Spectra Tune Lab. Fuente: (Ledmotive, 2020)	45
Figura 24. Espectro visible del ojo humano. Fuente: (Vasos comunicantes, 2019).....	45
Figura 25. Comunicación del sistema Dali. Fuente: (Ledbox, 2017).....	47
Figura 26. Instalación y cableado al sistema Dali. Fuente: (Ledbox, 2017)	48
Figura 27. Marco exterior luminaria. Fuente: (Iluminación Ibérica, 2019)	49
Figura 28. Disipador de calor. Fuente: (Ledbox, 2015)	51
Figura 29. Temperatura máxima del módulo de iluminación. Fuente: (Ledmotive, 2020)	51
Figura 30. Orificios de montaje módulos de iluminación	52
Figura 31. Cristal inteligente. Fuente: (Cristalfilm, 2017)	55
Figura 32. Geometría módulo de iluminación. Fuente: (Ledmotive, 2020).....	56
Figura 33. Geometría de la luminaria.....	57
Figura 34. Pruebas de iluminación. 2D. Recinto 2.8x2.8x5 m. Altura 0 m	59
Figura 35. Pruebas de iluminación. 3D. Recinto 2.8x2.8x5 m. Altura 0 m	59
Figura 36. Pruebas de iluminación. 2D. Recinto 2.8x2.8x5 m. Altura 0.75 m	60
Figura 37. Pruebas de iluminación. 3D. Recinto 2.8x2.8x5 m. Altura 0.75 m	60
Figura 38. Pruebas de iluminación. 2D. Recinto 2.8x2.8x5 m. Altura 1 m	61
Figura 39. Pruebas de iluminación. 3D. Recinto 2.8x2.8x5 m. Altura 1 m	61
Figura 40. Pruebas de iluminación. 2D. Recinto 2.8x2.8x5 m. Altura 2 m	62
Figura 41. Pruebas de iluminación. 3D. Recinto 2.8x2.8x5 m. Altura 2 m	62
Figura 42. Pruebas de iluminación. 2D. Recinto 2.8x2.8x5 m. Altura 2.5 m	63
Figura 43. Pruebas de iluminación. 3D. Recinto 2.8x2.8x5 m. Altura 2.5 m	63
Figura 44. Pruebas de iluminación. 2D. Recinto 2.8x2.8x5 m. Altura 3 m	64
Figura 45. Pruebas de iluminación. 3D. Recinto 2.8x2.8x5 m. Altura 3 m	64
Figura 46. Pruebas de iluminación. 2D. Recinto 2.8x2.8x5 m. Altura 4 m	65
Figura 47. Pruebas de iluminación. 3D. Recinto 2.8x2.8x5 m. Altura 4 m	65
Figura 48. Nivel de iluminación por alturas.....	66

Figura 49. Colocación de las luminarias en el recinto. Diseño inicial	75
Figura 50. Representación en 3D del recinto de trabajo con Dialux. Diseño inicial.....	77
Figura 51. Representación en 2D de la iluminación general de la zona de trabajo. Diseño inicial	78
Figura 52. Representación en 3D de la iluminación general de la zona de trabajo. Diseño inicial	79
Figura 53. Representación en 2D de la iluminación en la primera zona de trabajo. Diseño inicial	80
Figura 54. Representación en 2D de la iluminación en la segunda zona de trabajo. Diseño inicial	81
Figura 55. Representación en 3D del recinto de trabajo con Dialux. Diseño final	82
Figura 56. Colocación de las luminarias en el recinto. Diseño final	83
Figura 57. Representación en 2D de la iluminación general de la zona de trabajo. Diseño final.....	84
Figura 58. Representación en 3D de la iluminación general de la zona de trabajo. Diseño final.....	85
Figura 59. Representación en 2D de la iluminación en la primera zona de trabajo. Diseño final.....	86
Figura 60. Representación en 2D de la iluminación en la segunda zona de trabajo. Diseño final.....	87
Figura 61. Diagrama de bloques del subsistema electrónico.....	90
Figura 62. PLC CX5020 de Beckhoff	91
Figura 63. Analizador de energía	92
Figura 64. Control de Ledmotive LIGHT HUB. Fuente: (Ledmotive, 2020).....	93
Figura 65. Diseño del software. Máquina de estados. Gestión de modo.....	100
Figura 66. Diseño del software. Máquina de estados. Gestión de los diferentes niveles de iluminación	103
Figura 67. Rango del espectro visible. Fuente: (Vasos comunicantes, 2019).....	104

Índice de tablas

Tabla 1. Niveles de iluminación recomendados (1). Fuente: (Niveles recomendados de iluminación por zonas, 2017)	27
Tabla 2. Niveles de iluminación recomendados (2). Fuente: (Niveles recomendados de iluminación por zonas, 2017)	28
Tabla 3. Niveles de iluminación recomendados (3). Fuente: (Niveles recomendados de iluminación por zonas, 2017)	28
Tabla 4. Especificaciones del módulo de iluminación (1).....	32
Tabla 5. Especificaciones del módulo de iluminación (2).....	32
Tabla 6. Canales del módulo de iluminación de LEDMOTIVE. Fuente: (Ledmotive, 2020)	34
Tabla 7. Drivers Spectra Tune Lab. Capacidad de leds por driver Fuente: (Ledmotive, 2020)	46
Tabla 8. Drivers Spectra Tune Lab. Tabla A. Fuente: (Ledmotive, 2020).....	46
Tabla 9. Drivers Spectra Tune Lab. Tabla B. Fuente: (Ledmotive, 2020).....	46
Tabla 10. Ángulos de apertura iluminarias. Fuente: (Torres Aguilar, 2011)	53
Tabla 11. Factores de utilización de Philips	67
Tabla 12. Niveles de iluminación habituales. Fuente: (Niveles de iluminación recomendados, 2016).....	70
Tabla 13. Valores límites de eficiencia energética. Fuente: (García Placín, 2006).....	70
Tabla 14. Niveles de deslumbramiento. Fuente: (efectoLED, 2017)	77
Tabla 15. Niveles de iluminación general de la zona de trabajo. Diseño inicial.....	78
Tabla 16. Cálculos de iluminación en la primera zona de trabajo. Diseño inicial	79
Tabla 17. Cálculos de iluminación en la segunda zona de trabajo. Diseño inicial.....	80
Tabla 18. Niveles de iluminación general de la zona de trabajo. Diseño final	83
Tabla 19. Tabla 20. Cálculos de iluminación en la primera zona de trabajo. Diseño final.	85
Tabla 21. Cálculos de iluminación en la segunda zona de trabajo. Diseño final	87

Tabla 22. Características eléctricas del controlador Ledmotive. Fuente: (Ledmotive, 2020)

..... 94

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, debido al estilo de vida del ser humano medio, éste tiende a pasar la mayor parte del día en interiores. Debido a eso, la exposición de la luz artificial durante largos periodos de tiempo le influye muy seriamente afectando sus ciclos circadianos (ciclo día-noche) en aspectos como sus emociones, su sistema inmune o incluso el apetito.

1.1 EL EFECTO DE LA LUZ EN EL CEREBRO

La radiación del espectro visible para los seres humanos tiene una longitud de onda que abarca desde los 400 a los 750 nm. A parte de permitir al ser humano ver todo lo que le rodea, la luz se sincroniza con el sistema circadiano, provocando los efectos descritos en la introducción. Hasta hace casi un siglo, sólo se conocía la existencia de dos fotorreceptores: los conos (relacionados con la visión del color) y los bastones (los cuales perciben la intensidad del color).

Esta radiación es necesaria para poder ver todo aquello que nos rodea. Así, la luz incide sobre los objetos, reflejándose una parte de ella, que es la que percibimos mediante nuestros ojos. Sin embargo, como se ha mencionado en la introducción de este número, la luz, más allá de su función visual, tiene una función de sincronización del sistema circadiano. Como hemos visto, el reloj circadiano funcionaría como un reloj de cuerda al que habría que poner en hora cada día, siendo el ciclo de luz-oscuridad el principal encargado de ello. En 1923 se descubrió que existe un tercer tipo de fotorreceptor que respondía a una longitud de onda que no se corresponde a la luz visible pero que también afecta al estado de ánimo del ser humano. Estos fotorreceptores se denominarán “células ganglionares fotosensibles”.

Por otro lado, durante una investigación llevada a cabo por Provencio y sus colaboradores, estos descubrieron un fotopigmento en la zona epitelial de la rana. Este nuevo fotopigmento

1.2 PROPUESTA DEL PROYECTO

Por eso, con este proyecto de fin de máster, se pretende diseñar un sistema de iluminación centrada en la persona (HCL) en una oficina de trabajos por turnos. Dicho sistema simulará la iluminación que se expondrían los trabajadores en el caso de que recibiesen luz natural.

Las características con las que este sistema debe contar son las siguientes:

- En las primeras horas del día, la luz que simula el amanecer ayudaría al trabajador a tener menos somnolencia, para mejorar su bienestar.
- En el transcurso del día, el sistema iluminará con luz fría (azul) para mejorar el estado de alerta, rendimiento y ánimo del trabajador.
- Esa luz diurna puede favorecer al trabajado durante el sueño nocturno.
- También, esa luz azul también puede ser perjudicial durante las últimas horas del día. Por eso, durante el ocaso, se utilizará una luz de baja intensidad de iluminación cálida (roja).
- Por último, para el diseño del sistema, se pretende buscar el contraste entre las luces frías y las luces cálidas para mantener el óptimo rendimiento del trabajador sin perjudicar sus ciclos circadianos.

Como ya se ha explicado, el cerebro humano percibe un espectro de luz desde los 400 nm hasta los 750 nm. Una longitud de onda menor supondría una luz infrarroja y si es superior, sería ultravioleta. La rama del cerebro que reacciona a la calidad de la luz, se llama núcleo supraquiasmático (SCN). De esta forma, el SCN puede procesar la información de la luz y enviar diferentes órdenes del sistema endocrino. Por eso, se ha detectado una franja en la longitud de onda, de 450 nm a 480 nm, que suprime la secreción de melatonina. La melatonina es una hormona que se suele segregar cuando disminuye la exposición a la luz blanca y por lo tanto suele persistir cuando el ser humano esté dormido.

Además de controlar el color de la luz, también hay que controlar la intensidad de la luz. Lo importante en este aspecto es utilizar mayor intensidad a primera hora del turno y menor intensidad a última hora de este. Adicionalmente, se usará una iluminación de aún mayor intensidad para las situaciones de emergencia, y que los trabajadores puedan estar alerta. Para asegurar un correcto uso del sistema de iluminación centrada en la persona, se asegurará que las variaciones de luminosidad no sean demasiado bruscas. Una persona que ha estado

recibiendo una iluminación tenue durante un largo periodo de tiempo muestra una reacción mayor en su estado si recibe una iluminación más intensa de forma brusca.

2. DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS

En este apartado se van a describir las herramientas que se van a utilizar en este proyecto:

2.1 DIALUX

Dialux es un software gratuito que permite realizar profesionalmente proyectos de iluminación. Dicho programa respeta los estándares nacionales e internacionales. Dicho programa es muy útil para trabajar en proyectos de iluminación que no permite realizar cálculos manuales y también permite comprobar aquellos cálculos realizados para asegurar que el sistema de iluminación cumple con la normativa.

Estos son los pasos que se suelen seguir a la hora de realizar un proyecto con Dialux:

1. Se dibuja o se importa el recinto a estudiar.
2. Se importa el diagrama isométrico de la luminaria o el punto de luz que se desea utilizar.
3. Se sitúan las luminarias o puntos de luz importados tal y como se planeó la instalación.
4. Se realizan los cálculos y se comprueba su resultado.
5. En el caso de que no se obtengan los resultados deseados, se vuelve a empezar.

2.2 CYPELEC

Cypelec consiste en un software de cálculo de la instalación de una red de baja tensión. Este programa cumple todas las normativas del reglamento europeo RBT de cualquier tipo de instalación eléctrica. Además de realizar los cálculos necesarios también puede generar la memoria, el pliego de condiciones e, incluso, puede dibujar los esquemas usados y exportarlos en Autocad o PDF.

Para la realización de este proyecto, este programa será necesario para diseñar los unifilares necesarios para suministrar la energía de las luminarias y todos los elementos. De esta forma, facilitará el desarrollo del sistema eléctrico del programa.

3. ESTADO DE LA CUESTIÓN

El constante aumento del coste de la electricidad y la necesidad de aprovechar los espacios de un edificio hace que aumente la necesidad de regular el flujo luminoso para ahorrar el uso de la energía eléctrica. De ahí surge el concepto de **estrategia de control**. La estrategia de control trata de definir el área a iluminar y en qué momentos del tiempo necesitan estar iluminadas o no. El ahorro se hace a través de:

- Una evaluación de las necesidades de la zona de trabajo.
- Una buena elección de las luminarias. En este proyecto interesa que todas las luminarias sean regulables.
- Un sistema de control que cubra todas nuestras necesidades de la forma más sencilla.

3.1 *SISTEMAS DE CONTROL ACTUALES*

Los sistemas de control pueden ser:

- Bidireccionales: Se envían los comandos de control y se recibe la información para monitorizarla. De esta forma se puede saber cómo está funcionando el sistema en cada momento.
- Unidireccionales: Sólo se pueden enviar los comandos de control. Aunque este sistema sea más económico, no se puede saber cómo está funcionando en cada momento por lo que el sistema en su conjunto podría ser más costoso.

Los protocolos que se usan actualmente se pueden separar de las siguientes maneras:

- Analógicos (unidireccionales) o digitales (bidireccionales).

- Comandos continuos o discretos.
- Front–end (se ejecuta la orden directa del usuario) o back-end (se ejecuta la orden anterior).
- Abiertos (se pueden modificar en cada momento) o cerrados (no se pueden modificar porque llevan una cláusula de confidencialidad por parte de la empresa).

Uno de los estándares más usados en el marco europeo es el sistema DALI, que consiste en un sistema abierto e interoperable. Las características de este sistema son:

- Línea con 5 cables en las cuales dos de ellos son el circuito de control (sin polaridad).
- Sistema versátil: Cada equipo de conexión electrónico (ECE) del sistema DALI puede direccionarse en formato digital.
- Se pueden definir grupos y cada ECE puede asignarse a más de un grupo al mismo tiempo.
- Pueden almacenar distintos estados y niveles de iluminación.
- Puede realimentarse el sistema con distintos mensajes para cada ECE.
- Es muy rápido y sencillo de programar.
- Se pueden integrar los protocolos LON y KNX

3.2 PROYECTOS ACTUALES

3.2.1 DIODO ORGÁNICO DE EMISIÓN DE LUZ (OLED O SUPEROLED)

Consiste en una capa de paneles orgánicos que puede emitir luz propia. Se caracterizan porque no necesitan una segunda óptica y además previenen deslumbramientos.

Estas son las ventajas que presentan el OLED frente a los LEDs habituales:

1. Son más flexibles y delgados, por lo tanto, pesan menos.
2. Tienen mayor ángulo de visión.
3. Consumen menos.

3.2.2 LUZ LÁSER EN EL ESPECTRO VISIBLE

Genera un haz de luz producido por un diodo láser que es transmitido a través de una fibra óptica. Se diferencia con los LEDs en lo siguiente:

1. Transportan la luz en vez de transportar electricidad.
2. Son más compactos.
3. Producen más luz.
4. Consumen menos electricidad.

3.2.3 TECNOLOGÍA LI-FI (LIGHT FIDELITY)

Es una tecnología que utiliza la luz como una forma de transportar la información. Utiliza dispositivos leds para producir luz. Los datos que se producen son transmitidos por como esté modulada la luz en cuestión de nanosegundos.

3.2.4 TECNOLOGÍA FIPEL

Se utilizan nano capas de polímero que transmiten luz blanca. Esta tecnología no tiene ningún material que contamine y además no se produce luz azul y además resulta una gran ventaja ya que tienen mayor eficiencia que los leds.

4. DEFINICIÓN DEL TRABAJO

4.1 JUSTIFICACIÓN

En este proyecto, interesa simular una iluminación lo más parecida al espectro de luz natural. De esta forma, este sistema favorece el estado físico y psicológico de los clientes. En este caso, se pretende instalar el sistema en una zona de oficinas donde se necesite trabajar por turnos. Este es el funcionamiento del espectro de luz natural en un ciclo circadiano (diario) y como afecta al estado de salud del ser humano.

1. En las primeras horas del día, la luz del amanecer hace que el ser humano madrugue con menor somnolencia y beneficie el rendimiento y la motivación del trabajador.
2. Durante las primeras horas del día, la intensidad de iluminación azul permite que el trabajador tenga un estado activo y pueda reaccionar con anticipación a los problemas que surgen del día a día.
3. Además, dicho patrón de luz durante el día también favorece que el cliente tenga menores dificultades para dormir.
4. Este sistema de iluminación podría facilitar el día a día de personas con depresión.
5. Si se recibe una luz de gran intensidad, como la que recibe durante el día, durante la noche, esto podría ser perjudicial para conciliar el sueño. Lo ideal sería una iluminación más cálida para las últimas horas de la tarde.

6. Si durante la noche el cliente sigue expuesto a la luz, se segregará menos de la hormona asociada al sueño, melatonina. De esta forma lo ideal sería utilizar longitudes de onda más largas, como el rojo, y disminuir la intensidad de la luz.
7. Si se consigue un contraste adecuado entre los niveles de luz durante el día y durante la noche, eso ayudaría a poder estabilizar los ritmos circadianos y, de esa manera, aumentar el confort y la eficiencia del cliente.

4.2 MOTIVACIÓN

La visión de este proyecto es la mejora de los sistemas habituales de iluminación para que de esta manera mejore la reacción del sistema interno de las personas y así mejorar tanto su rendimiento como su estado de ánimo. Así, se conseguiría que los trabajadores estén más motivados. También, se pretende que se mejore la estabilización de estos ciclos circadianos protegiendo al trabajador de unos estímulos de luz inadecuados.

La luz que recibe el ser humano se compone tanto de la luz de las luminarias, la luz natural, y la luz indirecta que recibe, es decir, la que se refleja en las superficies. Además, la geometría de la habitación podría cambiar la percepción de la luz. Por eso, con este proyecto también se pretende mejorar la eficiencia de los sistemas de iluminación aprovechando la luz natural y la propia geometría de la zona de trabajo.

4.3 OBJETIVOS

El objetivo del TFM será desarrollar una luminaria para alumbrado interior, que permita al ser humano regular de forma natural el funcionamiento de sus ciclos vitales como lo haría si la iluminación que recibiese fuese del sol o de la luna.

Para esto, se utilizarán sistemas existentes en el mercado que, trabajando conjuntamente, aunque provengan de diferentes fabricantes, generen el efecto deseado. Durante el planteamiento del proyecto, el tipo de sistema que se podría abordar sería para aplicaciones

industriales (oficinas) o domésticas (definiendo la estancia). Finalmente, se decidió trabajar en una zona de oficinas en donde el trabajo sea por turnos (es decir, que esté las 24 horas de funcionamiento y que haya 3 turnos de 8 horas). Para este caso, el sistema en su conjunto cumplirá con la normativa, para lo que se identificarán los requisitos que le sean aplicables, se demostrará que el sistema diseñado los cumple y se detallarán los ensayos a los que debería ser sometido para poder comercializarse en la Unión Europea.

4.4 METODOLOGÍA

En cuanto a la metodología empleada para cumplir estos objetivos, este proyecto se podría dividir en 4 áreas básicas:

1. Recopilar información para poder conocer cómo ve un objeto el ser humano y como afecta esto a sus ciclos vitales. Dentro de este apartado, se identificarán los riesgos fotobiológicos de la luz para tenerlos en cuenta en el futuro diseño del sistema.
2. Recopilar información acerca de la normativa, tanto europea como nacional, que debe cumplirse para en ámbito de iluminación elegido. En este apartado se definirá un local de referencia sobre el que se llevarán a cabo los cálculos lumínicos que sean requeridos.
3. Definir el diagrama de bloques en base al cual se diseñará el sistema e identificar, entre los productos ofrecidos por los diferentes fabricantes de los diferentes componentes, los que utilizaremos para nuestra aplicación. Sobre el local definido en el apartado anterior, se llevarán a cabo cálculos lumínicos que justifiquen que la solución base seleccionada cumple con la normativa.
4. Trabajando ya sobre el sistema completo que integre todos los componentes seleccionados, formular el trabajo del conjunto para optimizar su funcionamiento

orientado a la persona. En este apartado puede ser requerido algún tipo de componente adicional que se integre en el sistema, así como la programación de algún componente para garantizar la adaptabilidad de este a lo requerido por la persona. También puede ser necesario revisar el cálculo lumínico para justificar el funcionamiento del conjunto en condiciones fuera de los parámetros iniciales. Este apartado terminará con la enumeración de los ensayos que deberían realizarse al sistema que demuestren su cumplimiento con la normativa y le permitan ser vendido dentro de la Unión Europea.

4.5 PLANIFICACIÓN Y ESTIMACIÓN ECONÓMICA

A continuación, se realizará una estimación económica de los materiales que se van a realizar.

Es necesario conocer los materiales que se van a utilizar para calcular cuánto costaría al proyecto. A continuación, se realizará un listado del material que se va a necesitar y cuánto va a costar.

- Leds: El módulo de iluminación LEDMOTIVE VEGA 07. Se estima que cada uno costaría en torno a los 10 euros. Como se utilizarán 120 leds, el precio de los módulos leds que se van a usar es:

$$P_{leds} = 120 \cdot 10 = \mathbf{1200 \text{ euros}}$$

- Spectra Tune Lab: Sirve para utilizarlo como driver y además es un sistema de luz independiente. En total se van a necesitar 3 dispositivos que se estima un precio de 250 euros cada uno. Por lo tanto, el precio total estimado para este dispositivo será:

$$P_{SpectraTuneLabs} = 3 \cdot 250 = \mathbf{750 \text{ euros}}$$

- El sistema de regulación DALI: Este sistema se compondrá por muchas partes, por lo tanto, se explicará el precio de cada uno de estos materiales. Dichos materiales serán:

-PLC: Se estima que el precio será:

$$P_{PLC} = 1000 \text{ euros}$$

-Analizador de redes: Se comprarán 3 dispositivos (por cada Spectra Tune Lab) para realizar el proyecto. El precio que se estima de cada uno es 200 euros, por lo tanto:

$$P_{AnalizadorRedes} = 3 \cdot 200 = 600 \text{ euros}$$

-Light Hub: Es el controlador de Ledmotive. Se estimará que el precio será:

$$P_{LightHub} = 250 \text{ euros}$$

Este será el precio final del sistema de regulación DALI:

$$P_{DALI} = 1000 + 600 + 250 = \mathbf{1850 \text{ euros}}$$

- El marco exterior: Donde se sostendrán todos los elementos de la luminaria. Se estima que cada uno costará 15 euros. Como se usarán 30 luminarias, el precio que se estima será:

$$P_{Marco} = 30 \cdot 15 = \mathbf{450 \text{ euros}}$$

- Disipador de calor: Hará el control de temperatura de las luminarias. Se estima que cada uno costará 10 euros. Como se usarán 30 luminarias, el precio que se estima será:

$$P_{Disipador} = 30 \cdot 10 = \mathbf{300 \text{ euros}}$$

- Cristal inteligente: Controlará la óptica de la luminaria. De esta forma se controla el ángulo de apertura de esta y además gracias a su sistema inteligente, puede controlar si traspasa o no la iluminación. Se estima que cada uno costará 30 euros. Como se usarán 30 luminarias, el precio que se estima será:

$$P_{CristalInteligente} = 30 \cdot 30 = \mathbf{900 \text{ euros}}$$

- Sistema electrónico: Son todos los elementos que componen la parte electrónica del sistema. En este caso, a parte de los que componen el sistema de regulación Dali. Los componentes de este sistema electrónico son:

-Interruptor de 3 posiciones: El que se utiliza para poder gestionar los modos. Se estima que cada uno costará 7 euros. En el sistema de iluminación se estima que se van a emplear 7 de ellos. Por lo tanto:

$$P_{3posiciones} = 7 \cdot 7 = 49 \text{ euros}$$

-Interruptor push Switch: Es el encargado de encender y apagar el sistema. Se estima que costará 4 euros cada uno. En el sistema de iluminación se estima que se van a emplear 7 de ellos. Por lo tanto:

$$P_{push} = 7 \cdot 4 = 28 \text{ euros}$$

-Interruptor de pared táctil. Se encarga de cambiar el estado del cristal inteligente. Se estima que costará 17 euros cada uno. En el sistema de iluminación se estima que se van a emplear 7 de ellos. Por lo tanto:

$$P_{táctil} = 7 \cdot 17 = 119 \text{ euros}$$

-Regulador giratorio: Sirve para regular el nivel de iluminación y los colores de la luminaria. Se estima que cada uno costará 50 euros. En el sistema de iluminación se estima que se van a emplear 14 de ellos. Por lo tanto:

$$P_{regulador} = 700 \text{ euros}$$

-Detector de presencia. Sirve para detectar cuánta gente se encuentra en el recinto. Se estima que cada uno costará 30 euros aproximadamente. En el sistema de iluminación se estima que se van a emplear 7 de ellos. Por lo tanto:

$$P_{presencia} = 7 \cdot 30 = 210 \text{ euros}$$

-Control de iluminación: Sirve para controlar el nivel de iluminación dentro de la sala. Se estima que cada uno costará unos 90 euros aproximadamente. En el sistema de iluminación se estima que se van a emplear 7 de ellos. Por lo tanto:

$$P_{iluminación} = 7 \cdot 90 = 630 \text{ euros}$$

-Seta de emergencia: Se utiliza para poder cambiar al estado de emergencia. Se estima que cada uno costará unos 8 euros aproximadamente. En el sistema de iluminación se estima que se van a emplear 5 de ellos. Por lo tanto:

$$P_{seta} = 5 \cdot 8 = 40 \text{ euros}$$

Por lo tanto, el coste total del sistema electrónico será:

$$P_{electrónica} = 49 + 28 + 119 + 700 + 210 + 630 + 40 = \mathbf{1776 \text{ euros}}$$

- Sistema eléctrico: Son todos los elementos que componen la parte eléctrica del sistema, para proporcionar potencia. Estos elementos serán los cables que se usarán y sus interruptores. Los componentes de este sistema eléctrico son:

-Cables eléctricos: Para poder conectar los circuitos de potencia. Son 5 cables de polietileno reticulado (XLPE) de 25 mm² y cada uno se estima de la longitud del perímetro de la zona: $8.37 \cdot 4 = 33.48 \text{ m}$. Cada metro se estima que cuesta 8 euros. Por lo tanto:

$$P_{cables} = 33.48 \cdot 5 \cdot 8 = 1339.2 \text{ euros}$$

-Interruptor diferencial: Sirve para proteger el equipo y a las personas de los contactos directos. Se estima que cada uno cuesta 20 euros y se van a utilizar 6. Por lo tanto:

$$P_{diferencial} = 6 \cdot 20 = 120 \text{ euros}$$

-Interruptor magnetotérmico: Sirve para proteger los equipos y las personas. Cada uno se estima que costará 25 euros y se utilizarán 6 en todo el sistema. Por lo tanto:

$$P_{magnetotérmico} = 6 \cdot 25 = 150 \text{ euros}$$

El coste total del sistema eléctrico será:

$$P_{eléctrico} = 1339.2 + 120 + 150 = \mathbf{1609.2 \text{ euros}}$$

A continuación, se hará el cálculo total de todo el material que se va a necesitar:

$$\begin{aligned} P_{material} &= \mathbf{1200 + 750 + 1850 + 450 + 300 + 900 + 1776 + 1609.2} \\ &= \mathbf{8835.2 \text{ euros}} \end{aligned}$$

5. SISTEMA POR DESARROLLAR

5.1 INTRODUCCIÓN

El objetivo de este proyecto consiste en el diseño de un sistema de iluminación centrada en la persona de un cuarto de control de un aeropuerto. Para ello se utilizarán diferentes sensores (tanto de iluminación como de posición) y tecnologías led Ledmotive cuya aplicación se explicará más adelante y su hoja de características se adjuntará con el proyecto. Además del sistema automático que se instalará, se podrá optar por la opción de controlar la iluminación de forma manual con un aparato cuya hoja de características se incluirá adjunta en el proyecto también. Debido a que en las salas de control de los aeropuertos se realizan trabajos por turno, se pretenderá que la iluminación deseada simule un día despejado mañanero (luz azul o fría) a primera hora del turno y al finalizar el turno se vea como una tarde a las 5 de la tarde con el sol poniéndose (luz roja o cálida). Por lo tanto, se utilizarán diferentes rangos de iluminación en un día de funcionamiento normal.

5.2 ILUMINACIÓN DEL SISTEMA

Básicamente, la iluminación del principio de turno tendría una iluminación fría (en torno a unos 6000 K. de color azul claro), ya que es la iluminación que se encontraría a las 9 de la mañana. Al acabar el turno la iluminación resultante será cálida (aproximadamente 3000 K, de un color anaranjado), ya que es el color que se detecta a última hora de la tarde, de esa forma el trabajador tendrá el mismo estado que al terminar un turno normal.

En cuanto al nivel de iluminación, el nivel mínimo obligatorio en una oficina sería de 450 luxes, el óptimo de 500 luxes y el máximo aconsejado de 700 luxes como se encuentra en las siguientes figuras:

Áreas y clases de local	Mínimo (LUX)	Óptimo (LUX)	Máximo (LUX)
Viviendas			
Dormitorios	100	150	200
Cuartos de aseo	100	150	200
Cuartos de estar	200	300	500
Cocinas	100	150	200
Cuartos de trabajo o estudio	300	500	750
Zonas generales de edificios			
Zonas de circulación y pasillos	50	100	150
Escaleras, roperos, lavabos, almacenes y archivos	100	150	200

Tabla 1. Niveles de iluminación recomendados (1). Fuente: (Niveles recomendados de iluminación por zonas, 2017)

Centros docentes			
Aulas y laboratorios	300	400	500
Bibliotecas y salas de estudio	300	500	750
Oficinas			
Oficinas, mecanografiado, salas de proceso, conferencia	450	500	750
Grandes oficinas, CAD, CAM, CAE	500	750	1000
Comercios			
Comercio tradicional	300	500	750
Grandes superficies, supermercados, muestras	500	750	1000

Tabla 2. Niveles de iluminación recomendados (2). Fuente: (Niveles recomendados de iluminación por zonas, 2017)

Industria			
Trabajos con requerimientos visuales limitados	200	300	500
Trabajos con requerimientos visuales normales	500	750	1000
Trabajos con requerimientos visuales especiales	1000	1500	2000

Tabla 3. Niveles de iluminación recomendados (3). Fuente: (Niveles recomendados de iluminación por zonas, 2017)

Respetando los colores de la luz mencionados anteriormente y teniendo en cuenta el reglamento, se procede a decidir los niveles de iluminación. Cuando no hay demasiado

movimiento en la torre de control, el nivel se mantiene al mínimo (450 luxes), cuando haya mucho movimiento y mucha gente trabajando, el nivel de iluminación será el óptimo (500 luxes) ya que los trabajadores requieren de mayor concentración. Por último, cuando surge una situación de emergencia, el nivel de iluminación subirá un 10 % y por lo tanto un nivel de iluminación de 550 luxes. En ese caso, el color de la luminaria volverá a ser de un color azul claro. Este sistema será descrito en mayor amplitud en el capítulo 9.

5.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Como se ha descrito anteriormente, el objetivo de este problema consiste en diseñar el sistema de iluminación centrado en la persona de la torre de control del aeropuerto de Málaga. El diseño se realizará en la sala de control. Dentro de esa sala es donde se realiza el control del tráfico aéreo. Por eso, una buena iluminación es necesaria, ya que de ello depende la correcta visualización de los aviones y el control de su tráfico. Además, como se ha mencionado antes, conviene asegurar un buen estado de comodidad a los trabajadores.

Dicha sala de control tiene una superficie de 70 m² y una altura de 4 m. Se realizará todos los cálculos y comprobaciones utilizando esos datos.

A continuación, se puede ver una imagen de dicha torre de control, en donde se puede observar que es necesario asegurar una iluminación que permita la correcta visualización, evitando los deslumbramientos.



Figura 3. Torre de control del aeropuerto de Málaga. Fuente: (Torre de control del tráfico aéreo en el aeropuerto de Málaga (España), 2019)

Los planos correspondientes de la sala de control de dicha torre dedicada al tráfico aéreo se pueden encontrar en el Anexo V.

5.4 DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN

El diseño del sistema de iluminación se va a dividir en los siguientes apartados:

1. El diseño de la luminaria. A partir de los puntos de iluminación, se realizará el diseño de los elementos de la luminaria. Dichos elementos se dividen principalmente en el chip o el led que se va a utilizar; el driver, o sistema de alimentación; el soporte externo donde se necesita situar todos los elementos de la luminaria; el sistema de gestión del calor; y la óptica de la misma.

2. Diseño en el recinto de trabajo. Una vez diseñada la luminaria, se decidirá como se van a situar para obtener una iluminación óptima con un mínimo deslumbramiento. En este apartado se hará todos los cálculos correspondientes y se asegurará que los niveles de iluminación cumplen con el reglamento.
3. Diseño de los subsistemas de la luminaria. Una vez decidido que luminaria se va a utilizar y como se va a utilizar, se necesita diseñar los subsistemas. Dichos subsistemas serán un subsistema electrónico, para poder gestionar el sistema de control; y el subsistema eléctrico, de esa forma se podrá gestionar la potencia con la cual se alimentará todo el sistema.

Estos diseños están más ampliados en los siguientes apartados.

6. DISEÑO DE LA LUMINARIA

6.1 ESPECIFICACIONES DEL MÓDULO LEDMOTIVE

El módulo que se va a utilizar para la realización de este proyecto es el módulo LEDMOTIVE, el cual simulará una iluminación de luz natural. Como no existe ningún archivo .ldt para poder utilizarlo en algún programa, se ha editado un archivo con las curvas fotométricas similares al módulo que se quiere utilizar. Todo ello a partir de otro archivo existente, utilizando el LDT Editor. Las características de dicho módulo son las siguientes:

Length of luminaire	80.0	mm
Width of luminaire	80.0	mm
Height of luminaire	17.0	mm
Length of luminous area	50.0	mm
Width of luminous area	50.0	mm
Height of luminous area C0-plane	0.0	mm
Height of luminous area C90-plane	0.0	mm
Height of luminous area C180-plane	0.0	mm
Height of luminous area C270-plane	0.0	mm
Downward flux fraction	99.97	%
Conversion factor for luminous intensities	1.00	

Tabla 4. Especificaciones del módulo de iluminación (1)

Number of light sources	1	
Type of light sources	LED	
Total luminous flux of luminaire	930	lm
Color temperature of luminaire	3000	
Color rendering index of luminaire	82	
Total connected power	17	W
Luminaire efficacy	55.7500479570305	lm / W

Tabla 5. Especificaciones del módulo de iluminación (2)

Estas son las curvas fotoeléctricas resultantes:

Curvas polares:

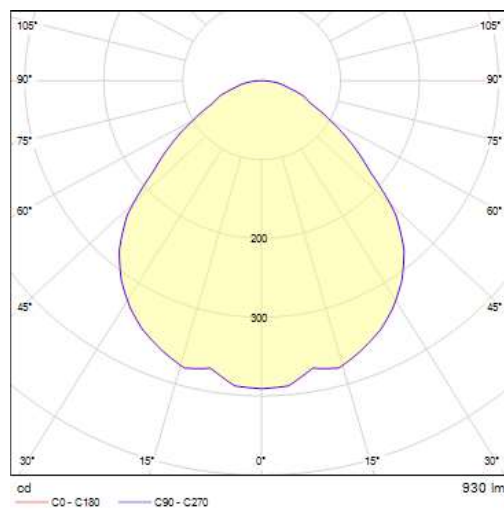


Figura 4. Curvas fotoeléctricas del módulo de iluminación. Curvas polares

Diagrama cartesiano:

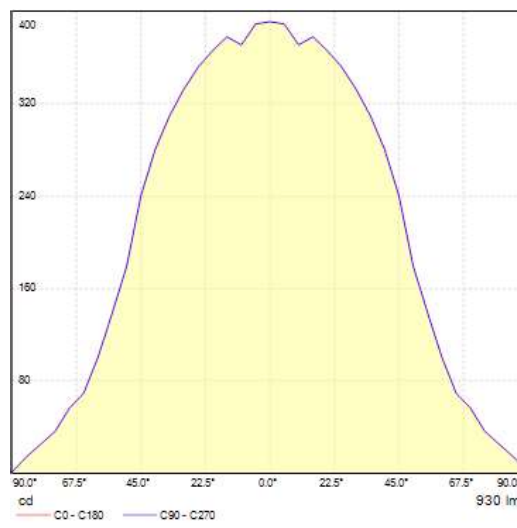


Figura 5. Curvas fotoeléctricas del módulo de iluminación. Diagrama cartesiano

6.2 EL LED

El módulo de LEDMOTIVE dispone de 7 leds, los cuales tienen sus propias temperaturas del color. El objetivo de estos leds es poder emular el espectro de la luz natural, lo cuál es el objetivo de este proyecto. Estos son los canales de ledmotive que se pueden utilizar con el dispositivo:

Channel	Color	Peak Emission (nm)	Radiometric value (W)	Photometric value(lm)	FWHM (nm)
CH 1	Royal Blue	455	1.6	61	20
CH 2	Blue	470	17	154	29
CH 3	Cyan	495	2.2	526	29
CH 4	Green	520	1.2	599	33
CH 5	Lime	545	4.1	1904	110
CH 6	PC Amber	595	2.5	920	78
CH 7	Red	635	1.5	296	19

Tabla 6. Canales del módulo de iluminación de LEDMOTIVE. Fuente: (Ledmotive, 2020)

Para poder manejar estos canales utilizando el espectro de luz deseado, se usará un controlador llamado Light Hub. La hoja de características de este controlador se podrá ver en los anexos de este proyecto. El Light Hub es un dispositivo que es capaz de administrar y controlar las comunicaciones de distintos módulos de led, en este caso los módulos de LEDMOTIVE. Además, se puede utilizar para programar diferentes escenarios de iluminación.

6.3 EL DRIVER

El driver es el elemento que adapta y transforma la corriente y el voltaje que entra en la luminaria y lo adapta y condiciona a la corriente y tensión de accionamiento que necesita el led.

Una fuente de alimentación básica está compuesta por los siguientes bloques:

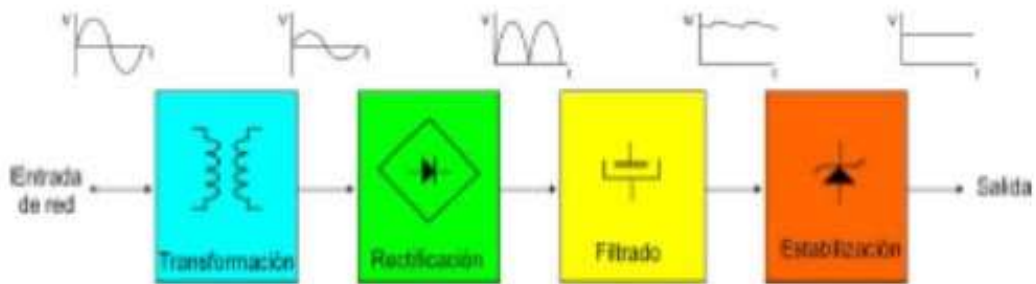


Figura 6. Diagrama de bloques. Fuente de alimentación básica. Fuente: (Ramirez, 2018)

Hay dos tipos de fuentes de alimentación: Fuente de alimentación lineal y fuente de alimentación conmutada.

Fuente de alimentación lineal

Estas fuentes son las más sencillas y de fácil reparación. El diagrama de bloques sería de esta forma:

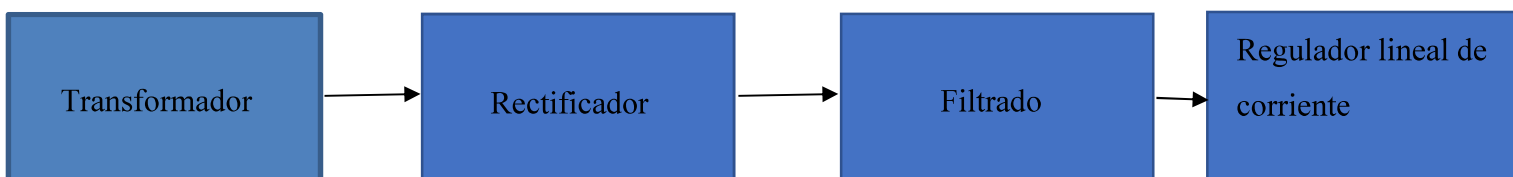


Figura 7. Diagrama de bloques. Fuente de alimentación lineal. Fuente: (Ramirez, 2018)

Durante la etapa de transformación, se utiliza un transformador, el cual está formado por un bobinado primario y uno o varios secundarios. Su función principal consiste en convertir la energía eléctrica de la red a energía alterna de otro nivel de voltaje mediante la acción de un campo magnético. Además, se provee aislamiento galvánico, tanto en la entrada como en la salida.

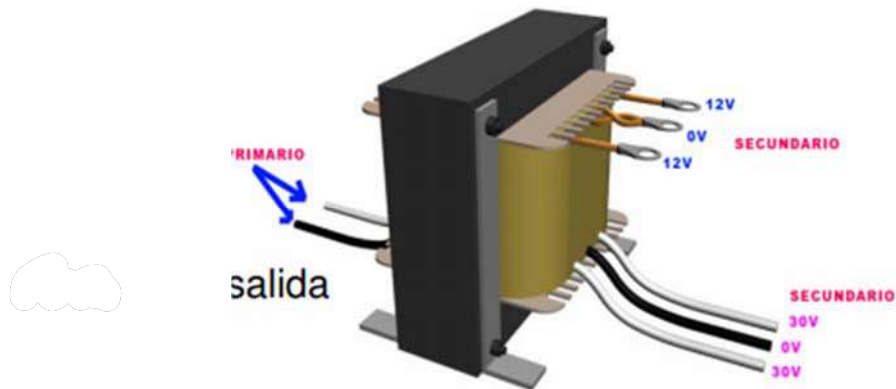


Figura 8. Transformador. Fuente: (Ramirez, 2018)

Durante la etapa de rectificación, se utilizan diodos rectificadores cuya función consiste en rectificar la señal proveniente del bobinado secundario del transformador. Existen 2 tipos de rectificadores: de media onda y de onda completa.

Media onda:

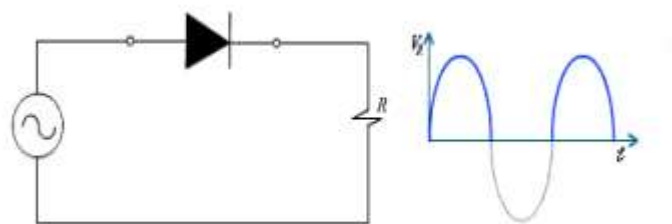


Figura 9. Rectificador de media onda. Fuente: (Ramirez, 2018)

Onda completa:

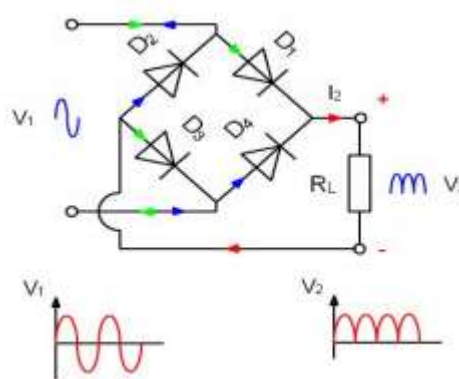


Figura 10. Rectificador de onda completa. Fuente: (Ramirez, 2018)

En la etapa de filtrado, se utiliza uno o varios capacitores para eliminar la componente alterna que proviene de la salida del rectificador. El valor se carga cuando aparece el pulso máximo, pero se descarga lentamente cuando el valor de ese pulso disminuye.

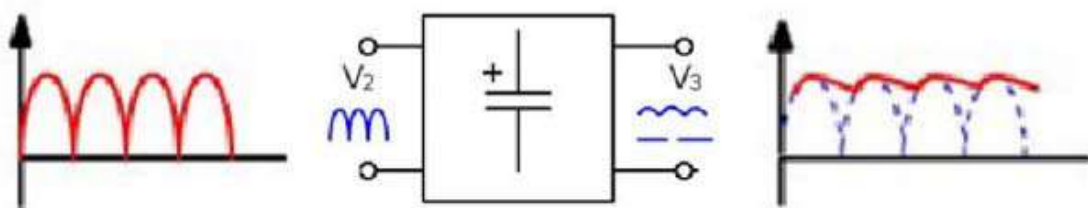


Figura 11. Etapa de filtrado. Fuente: (Ramirez, 2018)

En la etapa de regulación, se compone de uno o varios circuitos cuya función consiste en mantener el estado de la salida independientemente de la entrada. Los reguladores lineales son dispositivos electrónicos, los cuales pueden ajustar la caída de tensión en un transistor de potencia conectado en serie entre la entrada y la salida. Es decir, el nivel de tensión de la salida será inferior al de la entrada.

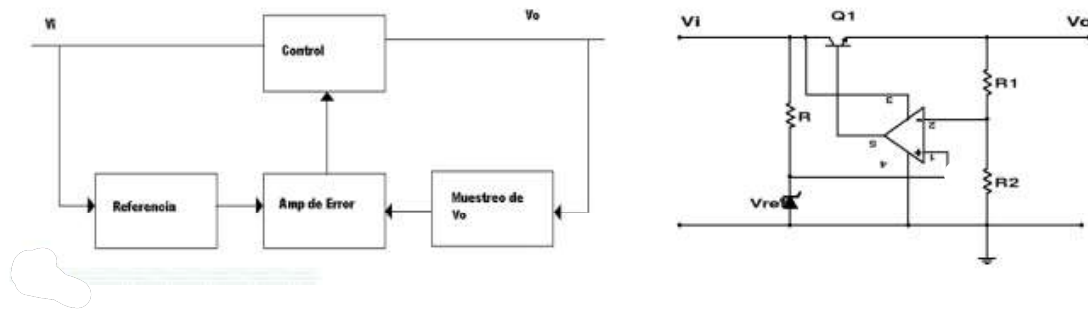


Figura 12. Etapa de regulación. Fuente: (Ramirez, 2018)

Fuente de alimentación conmutada

La principal ventaja de las fuentes conmutadas respecto a las lineales es su eficacia. La fuente de alimentación conmutada se utiliza prácticamente los mismos elementos, pero lo que cambia es la regulación por una conmutada, en vez de lineal. Lo que se hace es utilizar un transistor en la zona de corte y saturación, de esta forma habrá periodos en el que la corriente y la tensión son nulos.

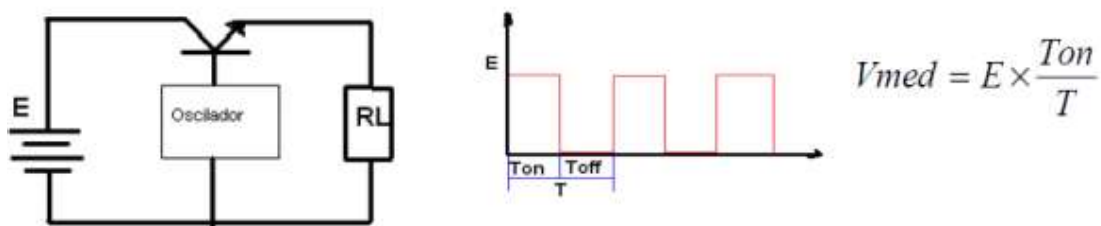


Figura 13. Fuente de alimentación conmutada. Fuente: (Ramirez, 2018)

El diagrama de bloques sería el siguiente:

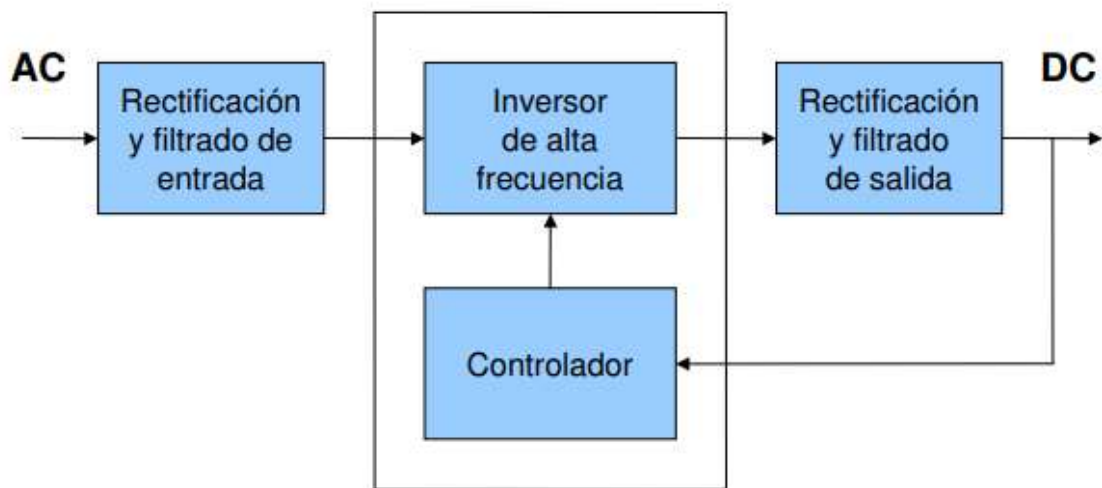


Figura 14. Diagrama de bloques. Fuente de alimentación conmutada. Fuente: (Ramirez, 2018)

Estas son las configuraciones disponibles de fuente de alimentación conmutada:

Configuración Buck/Step-down:

Reduce el valor de la tensión respecto al valor de la entrada del regulador. Posee un filtro LC después del transistor de conmutación.

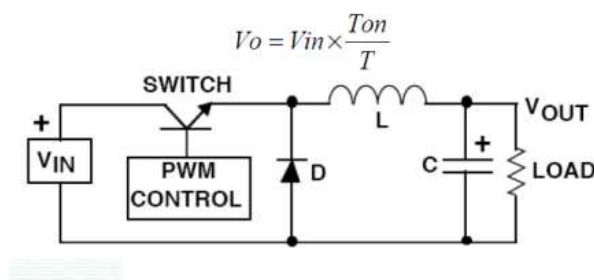


Figura 15. Configuración Buck/Step-down. Fuente: (Ramirez, 2018)

Configuración Boost/Step-up:

Esta configuración aumenta el valor de la tensión respecto a la tensión de entrada. Se utilizan las mismas componentes de la configuración anterior, pero ordenadas de la siguiente manera.

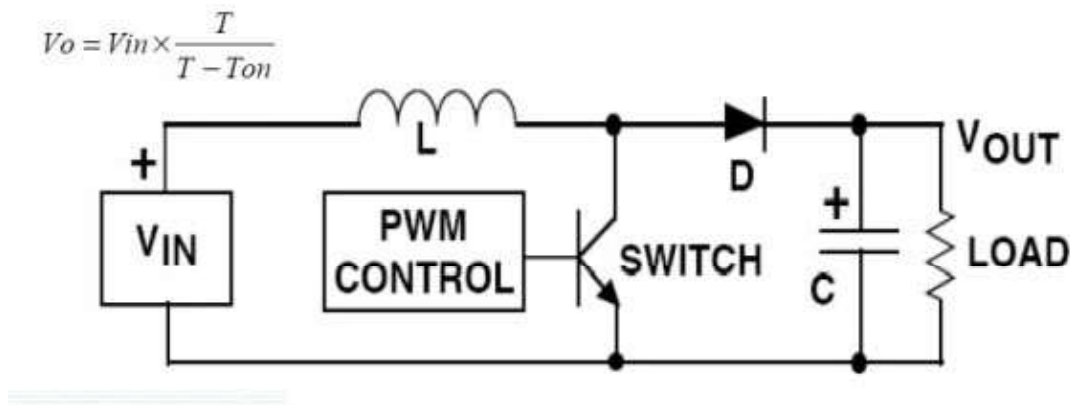


Figura 16. Configuración Boost/Step-up. Fuente: (Ramirez, 2018)

Configuración Buck-Boost/inverter:

Esta configuración toma la tensión de entrada e invierte su polaridad. El valor de la tensión de salida puede ser mayor o menor que la tensión de entrada.

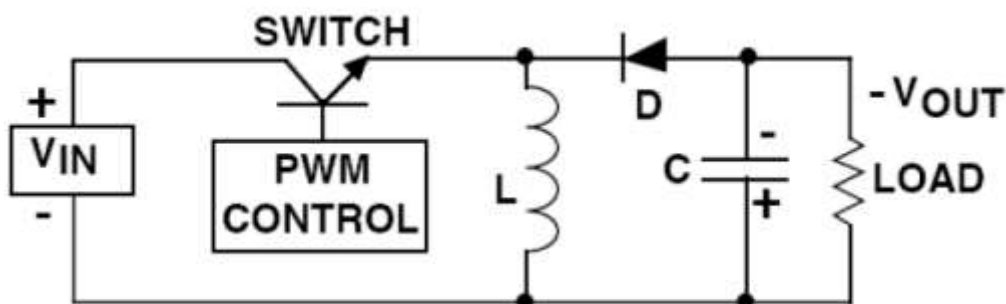


Figura 17. Configuración Buck-Boost/invertir. Fuente: (Ramirez, 2018)

Configuración Flyback:

Esta configuración es la más versátil, la cual permite varias tensiones de salida e incluso tensiones negativas.

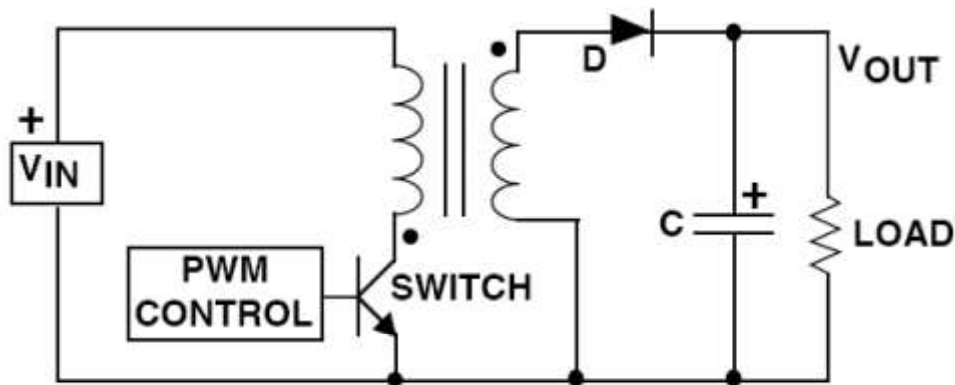


Figura 18. Configuración Flyback. Fuente: (Ramirez, 2018)

Otro elemento que se diferencia con la fuente de alimentación lineal se trata del controlador. Su misión principal consiste en mantener el valor constante mediante un amplio rango de corrientes de entrada. Para ello se realiza realimentación negativa.

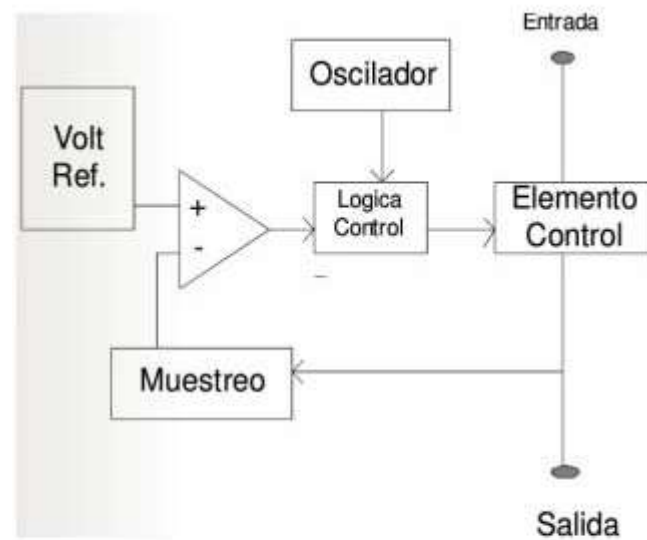


Figura 19. Controlador de la fuente de alimentación conmutada. Fuente: (Ramirez, 2018)

Sus partes son:

-Amplificador de error: Se toma una muestra de una tensión de salida y se le introduce en un amplificador operacional mediante la entrada inversora. En la entrada no inversora se introduce una tensión de referencia.

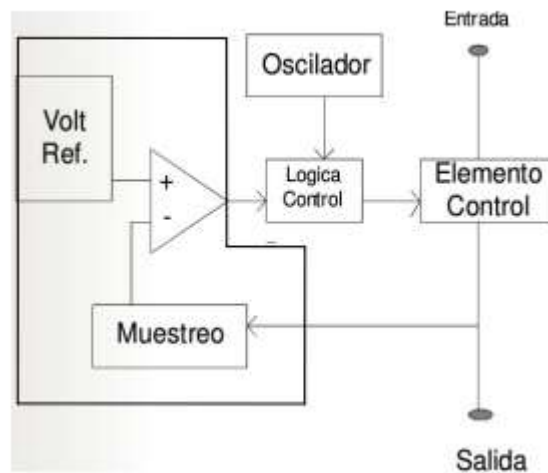


Figura 20. Controlador de la fuente de alimentación conmutada. Amplificador de error. Fuente: (Ramirez, 2018)

-Lógica de control: Se trata de un oscilador de frecuencia fija, una tensión de referencia y un modulador de ancho de pulso (PWM). El modulador recibe el pulso del oscilador y varía la frecuencia de referencia.

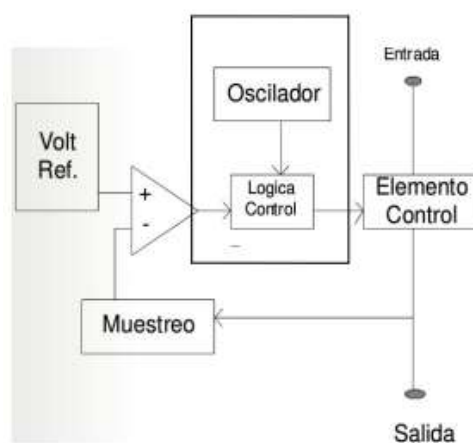


Figura 21. Controlador de la fuente de alimentación conmutada. Lógica de control. Fuente: (Ramirez, 2018)

-Elemento de control: Permite generar una tensión cuadrada a la salida y que se pueda tolerar los valores de corrientes previstos:

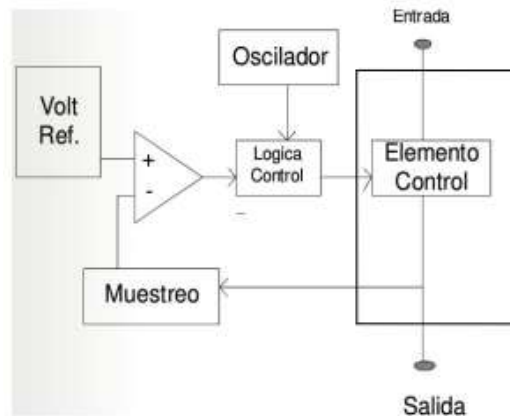


Figura 22. Controlador de la fuente de alimentación conmutada. Elemento de control. Fuente: (Ramirez, 2018)

En este proyecto se utilizará un sistema de drivers de la casa LEDMOTIVE. Dicho driver se llama Spectra Tune Lab. Este sistema de alimentación es uno conmutado Step-down, el cual baja la tensión de entrada hasta 24 V. A continuación, se verá una imagen de dicho producto:



Figura 23. Spectra Tune Lab. Fuente: (Ledmotive, 2020)

Este producto puede utilizar 12 drivers con esta disposición de módulos que pueden utilizar. En total puede utilizar 48 módulos. Como cada luminaria tendrá 4 módulos, al final se podría usar 12 luminarias por dispositivo. El rango de longitud de onda de cada módulo debería ser entre 440 nm y 750 nm. Según este dibujo, se podrá usar este rango [450 nm (azul claro) a 750 nm (rojo oscuro)]

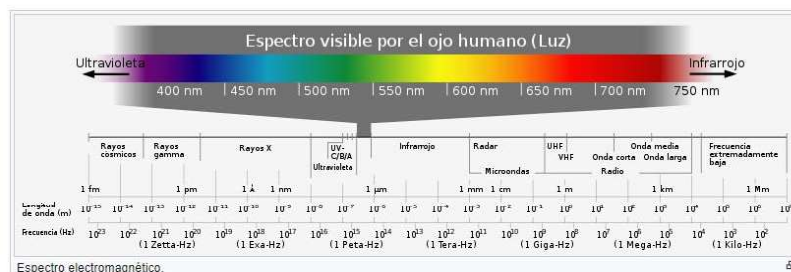


Figura 24. Espectro visible del ojo humano. Fuente: (Vasos comunicantes, 2019)

Y esta es una tabla donde se pueden ver los módulos que se pueden controlar con cada driver:

Physical Driver	Nº of LEDs	LED type
Dr 1	2	See Table A
Dr 2	2	See Table B
Dr 3	3	
Dr 4	3	
Dr 5	5	
Dr 6	5	
Dr 7	5	
Dr 8	5	
Dr 9	6	
Dr 10	6	
Dr 11	2	
Dr 12	4	

Tabla 7. Drivers Spectra Tune Lab. Capacidad de leds por driver Fuente: (Ledmotive, 2020)

Table A	peak wavelength range
UV-VIS	from 380 nm to 425 nm
VIS	from 440 nm to 670 nm
NIR	850 nm, 940 nm

Tabla 8. Drivers Spectra Tune Lab. Tabla A. Fuente: (Ledmotive, 2020)

Table B	peak wavelength range
VIS	from 440 nm to 750 nm

Tabla 9. Drivers Spectra Tune Lab. Tabla B. Fuente: (Ledmotive, 2020)

6.4 EL SISTEMA DE REGULACIÓN

Necesitamos un sistema de regulación para poder comunicar el driver con cada uno de los leds. El sistema de regulación escogido es el DALI, el cual permite tener una interfaz común para todos los elementos de la instalación, aunque sean de diferentes fabricantes.

Este sistema de iluminación tiene un control bidireccional “maestro-esclavo” entre el controlador y las luminarias. Estos sistemas pueden comunicarse mediante una línea de control de dos hilos.

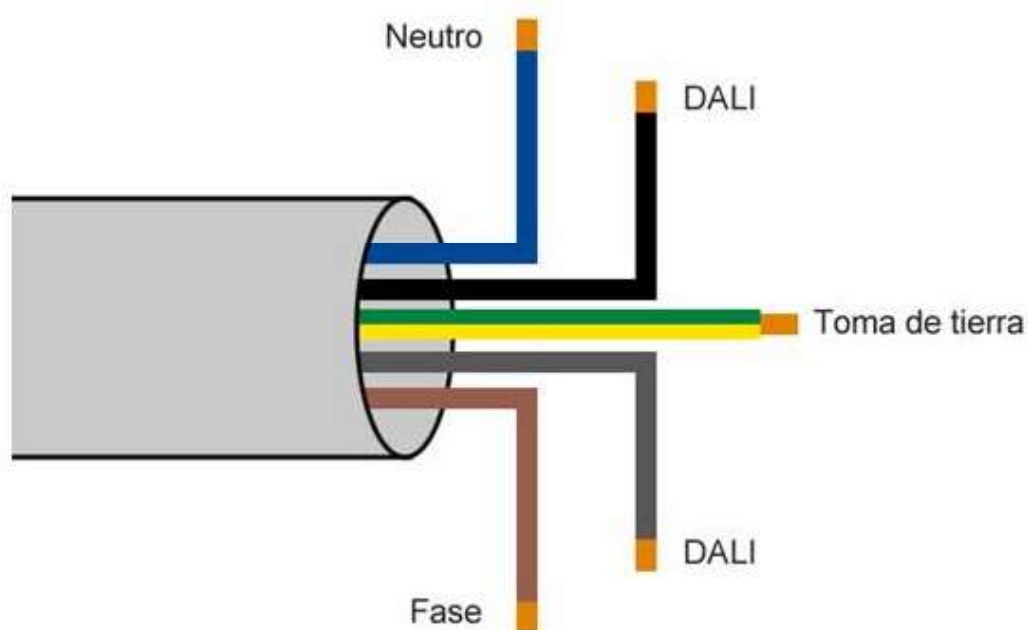


Figura 25. Comunicación del sistema Dali. Fuente: (Ledbox, 2017)

Este interfaz permite un cableado sencillo y una instalación flexible. Una de las ventajas de este sistema es que permite que todos los equipos se conecten en paralelo además de que no es necesario el uso de relés mecánicos.

Al cablearse, la máxima caída de tensión en la instalación no puede ser superior a 2 V con la corriente máxima del cable de 250 mA. La máxima distancia del cableado no puede ser superior a 300 m.

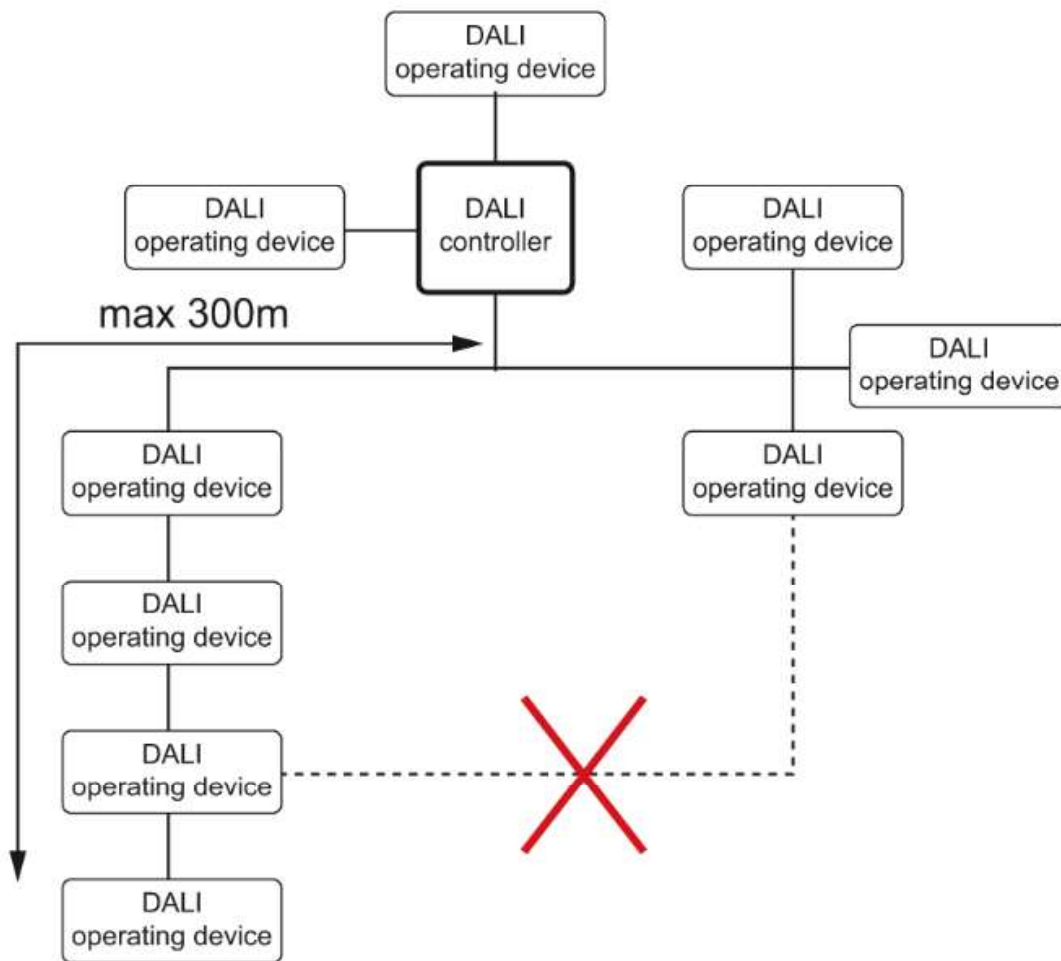


Figura 26. Instalación y cableado al sistema Dali. Fuente: (Ledbox, 2017)

Una vez se realice el cableado, se tendría que hacer la configuración de software. Gracias al sistema DALI, se pueden configurar 16 escenas diferentes y redireccionar 64 equipos o 16 grupos a la vez utilizando un comando llamado “broadcast”. Además, se puede cambiar la configuración sin necesidad de recablear.

El sistema DALI también tiene una curva de regulación logarítmica que se ajusta a la sensibilidad del ojo humano, que se define en la norma IEC 62386. El rango de regulación disponible se establecerá entre 0.1 % y 100 % determinado su valor el fabricante del equipo. Hay dos términos que hay que tener en cuenta:

-fade time: tiempo necesario para cambiar el nivel lumínico.

-fade rate: la velocidad del cambio de luz.

6.5 EL MARCO EXTERIOR

El marco exterior es el encargado de soportar las conexiones de todos los componentes de la luminaria. Dependiendo de cómo esté gestionada la temperatura, la placa base puede estar compuesta de diferentes materiales conductores (aluminio o acero) o diferentes capas.

Como se explicará posteriormente, la luminaria con la que se trabajará será un led downlight cuadrado empotrable. Por lo tanto, se ha decidido utilizar un soporte empotrable cuadrado de 60 x 60 cm.



Figura 27. Marco exterior luminaria. Fuente: (Iluminación Ibérica, 2019)

6.6 EL SISTEMA DE GESTIÓN DEL CALOR

Las luminarias led generan calor, aunque en menor cantidad que otros sistemas de iluminación. De todos modos, hay que tener muy en cuenta la gestión del calor, debido a los otros dispositivos comentados antes (sobre todo los chips y el driver). El responsable de esa generación de calor se llama efecto Joule. Los leds deben funcionar con corriente alterna y debido a ello, como se ha explicado antes, necesitan un driver para transformar la corriente. En este proceso, la corriente pasa por la parte trasera del chip de la luminaria, conocida también como unión en T. La gestión térmica es determinante para la duración y eficiencia del led. De esa forma, se podrá evitar:

- La reducción de la durabilidad de la lámpara.
- Que disminuya el rango de temperatura ambiental a la que puede funcionar la lámpara.
- Que disminuya la intensidad de la luz (o que se alteren los colores del led).

Así es como se disipa el calor de la luminaria:

- I. El flujo eléctrico genera calor, el cual se acumula en el punto de unión del chip.
- II. Desde ahí, el calor se traslada a la placa base.
- III. Desde la placa se pasa al disipador de calor.
- IV. Desde el disipador de calor, se extrae el calor y se envía al ambiente.

El disipador de calor es una estructura metálica con forma de aleta como se muestra en la siguiente imagen:



Figura 28. Disipador de calor. Fuente: (Ledbox, 2015)

Se va a necesitar un componente de enfriamiento para poder disipar el calor de la base del módulo VEGA 07. Se puede utilizar un disipador de calor pasivo o un enfriamiento activo con un ventilador, dependiendo de la restricción de tamaño del accesorio.

La temperatura máxima del punto de control se indica en la siguiente figura y no debe superar los 80 °C.

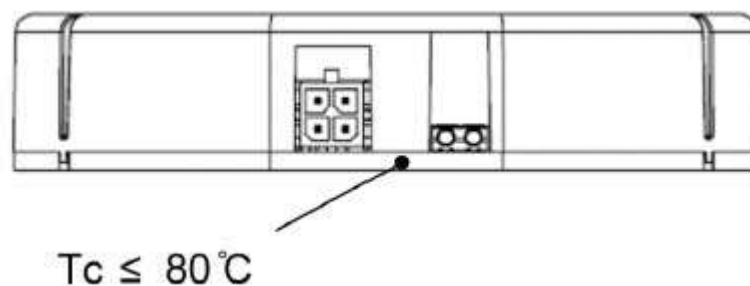


Figura 29. Temperatura máxima del módulo de iluminación. Fuente: (Ledmotive, 2020)

Los orificios de montaje del disipador de calor están normalizados con el estándar Zhaga con dos agujeros de 35 mm de separación, como se muestra en la figura. Basándose en la experiencia, los fabricantes de LEDMOTIVE recomiendan el uso de disipadores de calor con resistencia térmica menor a 0.5 °C/W.

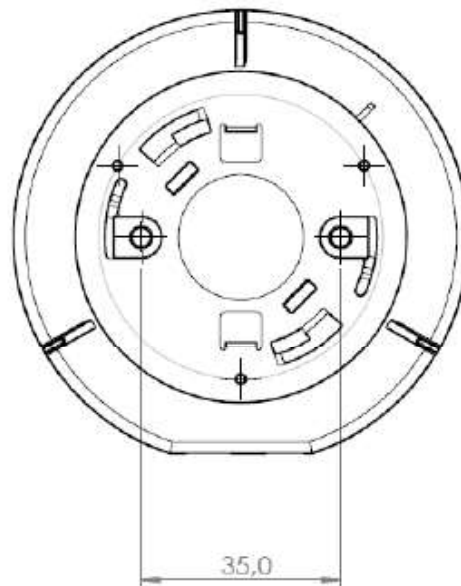


Figura 30. Orificios de montaje módulos de iluminación

El módulo VEGA 07 incorpora un algoritmo de control de temperatura para su protección. Este control de protección está habilitado de fábrica de forma determinada. En un caso improbable de sobrecalentamiento (fallo del ventilador, mala disipación debido a un dimensionamiento incorrecto...), el módulo de led reducirá automáticamente su flujo luminoso y, por tanto, la energía eléctrica consumida para mantener la temperatura dentro del rango seguro y así poder proteger sus componentes. De esta forma, las condiciones de trabajo óptimas que garantizan la vida útil del motor LED y sus componentes siempre se conservan.

6.7 LA ÓPTICA

La óptica en el diseño de las luminarias de led se realiza con el diseño de lentes, espejos y elementos que controlan la dirección de la luz. Esto define la eficiencia de la luminaria ya que las ópticas sirven para definir la dirección de la luz, que aumente la intensidad y pueden proteger al usuario de deslumbramientos.

Hay dos tipos de óptica para la iluminación led:

- Primaria: Protege a cada uno de los chips.
- Secundaria: Moldea la intensidad y la forma de la luz según convenga en el diseño.

Como se trata de un proyecto de iluminación de interiores, el diseño óptimo de la iluminación del led se realizará de forma de que sea un diagrama simétrico, como se ha explicado anteriormente. La mayoría de los elementos ópticos de una luminaria están fabricados en policarbonato para maximizar la transmisión lumínica.

Además de los materiales, también hay otros parámetros que hay que tener en cuenta:

- FWHM (Full Width at Half Maximum) o rendimiento máximo.
- Valor del 10 %: El ángulo en el cual la intensidad de la luz disminuye un 10 %.
- cd/lm: O candelas por lúmenes. Valor que mide la eficiencia de la luminaria.

Como se trata de una iluminación de interior y, por tanto, pretendemos buscar una iluminación simétrica. Esta iluminación utiliza el Sistema NEMA, como veremos en la siguiente tabla:

Tipo NEMA	Apertura del haz luminoso	Descripción del haz luminoso	Distancia de Proyección
1	10° a 18°	muy estrecho	mayor a 80 m
2	18° a 29°	estrecho	66 a 80 m
3	29° a 46°	medianamente estrecho	58 a 66m
4	46° a 70°	medio	48 a 58 m
5	70° a 100°	medianamente amplio	35 a 48 m
6	100° a 130°	amplio	26 a 35 m
7	mayor a 130°	muy amplio	menor a 26 m

Tabla 10. Ángulos de apertura iluminarias. Fuente: (Torres Aguilar, 2011)

En este proyecto, se decide optar por NEMA 3, el cual es un sistema medio y es el óptimo para una sala de trabajo. Se buscará un ángulo de apertura de 30 ° aproximadamente y para ello se hará uso de difusores, reflectores y lentes.

Para conseguir este objetivo se ha optado por utilizar un cristal tipo Smart Film. Se utiliza un cristal inteligente PDLC, el cual puede cambiar su estado de difuso a transparente y viceversa gracias a aplicar corriente eléctrica a una lámina. Dicha lámina permanece opaca en su estado natural, pero se vuelve transparente al recibir corriente. El cliente podría controlar este efecto utilizando un mando o un pulsador de pared. De esta forma, se podría usar una luz directa, con mayor intensidad, pero más deslumbramiento, o luz difusa, menor intensidad y mayor deslumbramiento.

La lámina PDLC se puede instalar en la superficie utilizando un adhesivo, de tal forma que el coste de instalación se abarataría. Aunque también se puede instalar en la cámara interior del cristal (es decir, oculta entre dos cristales), de tal forma que se protegería mejor la lámina y aumentaría la durabilidad.

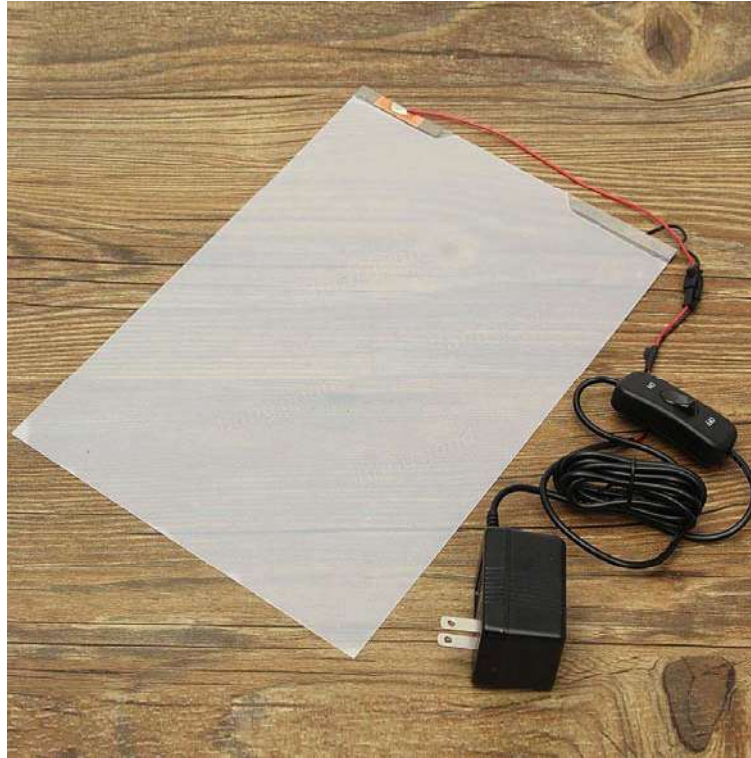


Figura 31. Cristal inteligente. Fuente: (Cristalfilm, 2017)

PDLC significa “Polymeric Dispersed Liquid Crystal” o en español “Cristal Líquido Polimérico Disperso”. Consiste en una lámina que, como se explicó anteriormente, se puede aplicar sobre los cristales y conectarse a la corriente. Esta lámina se utiliza en las ventanas, pero en este caso se va a aplicar para mejorar la óptica de la luminaria de este proyecto. Además de aplicar corriente para hacer transparente u opaco la lámina, también se puede modular la corriente para, de esa forma, controlar la opacidad de la lámina. Hay varias capas de materiales en el PDLC. La parte exterior está compuesta de PET (Tereflato de Polietileno) transparente, que suele ser utilizado para fabricar envases de alimentos. La siguiente capa se forma por ITO (óxido de indio y estaño) que tiene una alta conductividad. La última capa, en el centro, está compuesta por polímero disperso y cristal líquido.

En su estado natural, las partículas de cristal líquido se distribuyen por el polímero de forma aleatoria. Como esas partículas están diseminadas de forma aleatoria, la luz del sol que incide

rebota en el material sin poder atravesarlo. En cambio, cuando recibe corriente eléctrica, estas partículas se alinean dejando unas rendijas que permiten el paso de la luz. Así es como se consigue que el cristal pase de estar difuso a transparente y viceversa.

6.8 GEOMETRÍA

Como se utilizará el módulo Ledmotive, se calculará el diseño de una luminaria “ideal” acorde a sus necesidades y a las medidas del módulo. Dicho módulo, como se describió previamente, consiste en un módulo del fabricante LEDMOTIVE del modelo VEGA 07. Cada módulo tendrá un diámetro exterior de 80.2 mm.

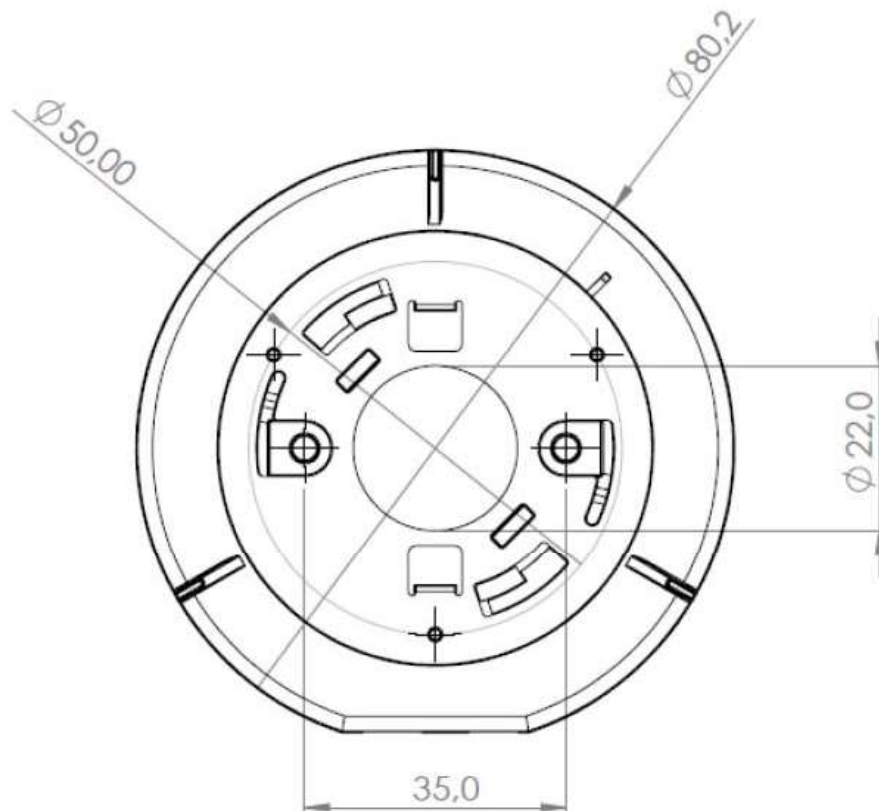


Figura 32. Geometría módulo de iluminación. Fuente: (Ledmotive, 2020)

Por lo tanto, se ha decidido diseñar una luminaria “ideal” cuadrada utilizando cuatro módulos de LED. La diagonal del cuadrado sería la resultante del tamaño de dos módulos. De esta forma, el tamaño mínimo del lado de la luminaria se calcularía así:

$$\text{lado} = 2 \cdot \text{diámetro} = 2 \cdot 80.2 = 160.4$$

Para facilitar el diseño de la luminaria, se utilizará un cuadrado con lado 600 mm, ya que es el menor tamaño encontrado para el soporte de una luminaria led empotrada y además es el tamaño estándar para el falso techo. La luminaria resultante se verá de la siguiente forma (donde el cuadrado es la luminaria “ideal” y las circunferencias son cada uno de los módulos de LEDMOTIVE):

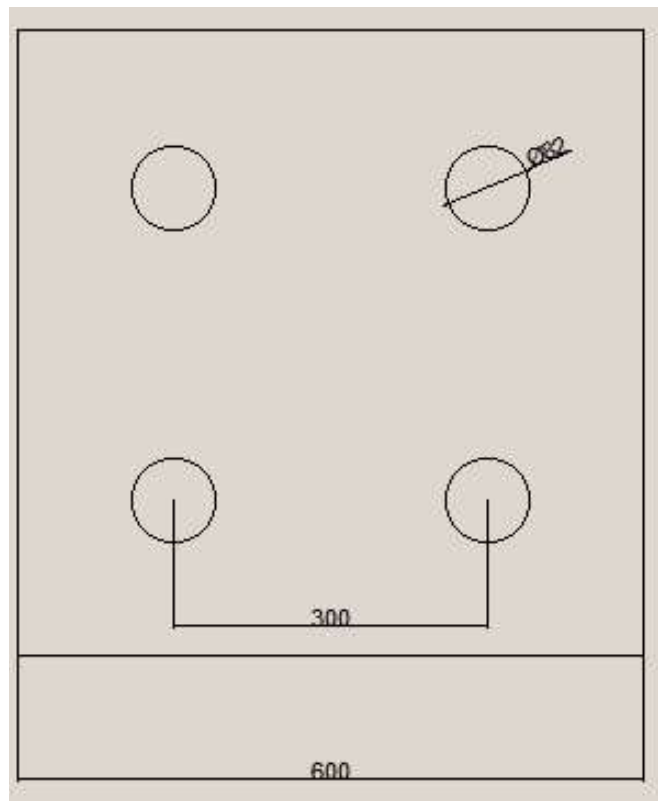


Figura 33. Geometría de la luminaria

6.9 CÁLCULOS OBTENIDOS DE LA LUMINARIA

El ángulo de apertura del led es de 60°. Lo primero que hay que hacer, es calcular el ángulo de apertura desde el límite de la luminaria. Como cada uno de los leds se encuentran a 150 mm del borde de la luminaria, para calcular el ángulo de apertura de la luminaria, teniendo en cuenta que se medirá la proyección del ángulo de apertura a una altura de 2.5 m, se haría el siguiente cálculo:

$$\alpha \text{ (ángulo de apertura)} = 30 - \tan^{-1}\left(\frac{2 \cdot 0.15}{2.5}\right) = 23.16^\circ$$

Para calcular el lado del recinto, teniendo en cuenta el ángulo de apertura, se calcula de la siguiente manera:

$$lado = 0.6 + 2 \cdot h \cdot \tan(\alpha) = 0.6 + 2 \cdot 2.5 \cdot \tan(23.16^\circ) = 2.8 \text{ m}$$

Teniendo en cuenta estos cálculos, se utilizará un recinto de 2.8 x 2.8 m y altura 5 m. A continuación, se utilizará el programa Dialux para calcular en diferentes alturas (teniendo en cuenta que 0.75m es la altura de la zona de trabajo):

-A 0 m (67.2 lx):

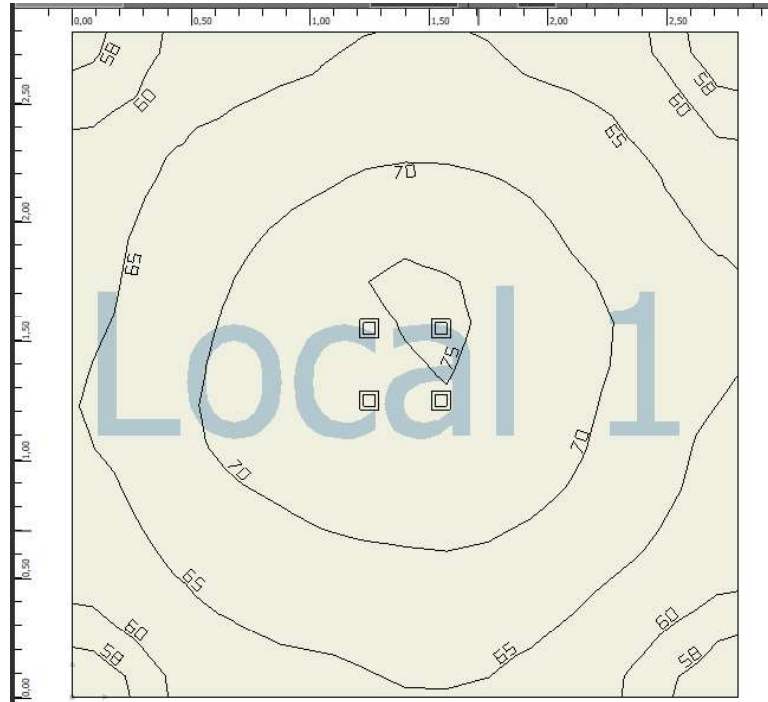


Figura 34. Pruebas de iluminación. 2D. Recinto 2.8x2.8x5 m. Altura 0 m

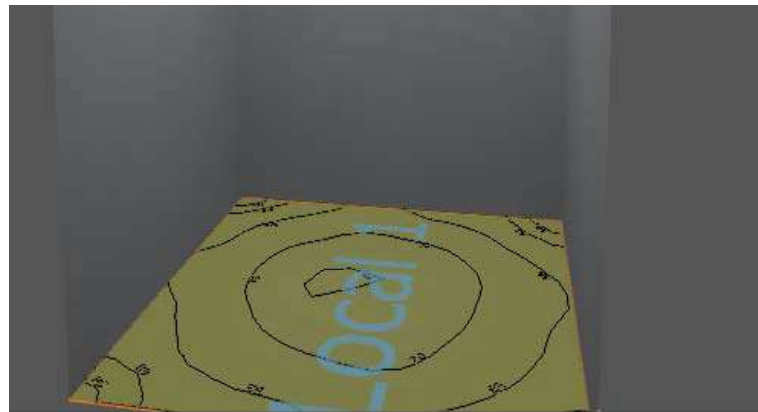


Figura 35. Pruebas de iluminación. 3D. Recinto 2.8x2.8x5 m. Altura 0 m

-A 0.75 m (altura normal de la zona de trabajo) (86.9 lx):

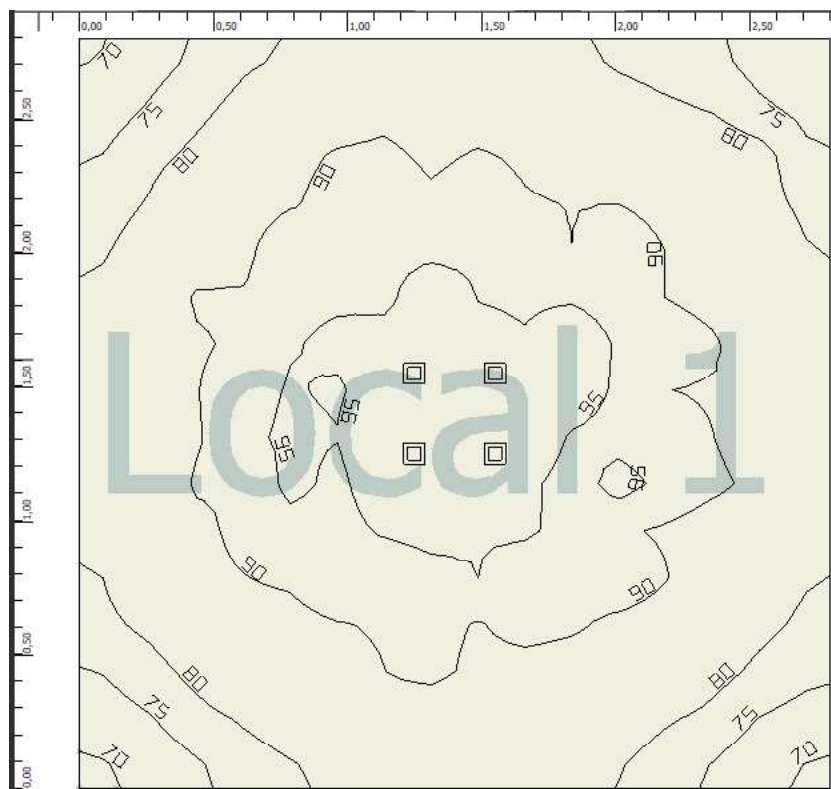


Figura 36. Pruebas de iluminación. 2D. Recinto 2.8x2.8x5 m. Altura 0.75 m

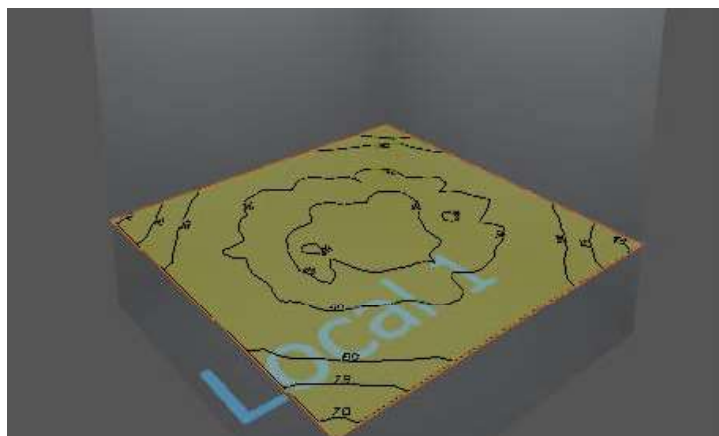


Figura 37. Pruebas de iluminación. 3D. Recinto 2.8x2.8x5 m. Altura 0.75 m

-A 1 m (94.9 lx):

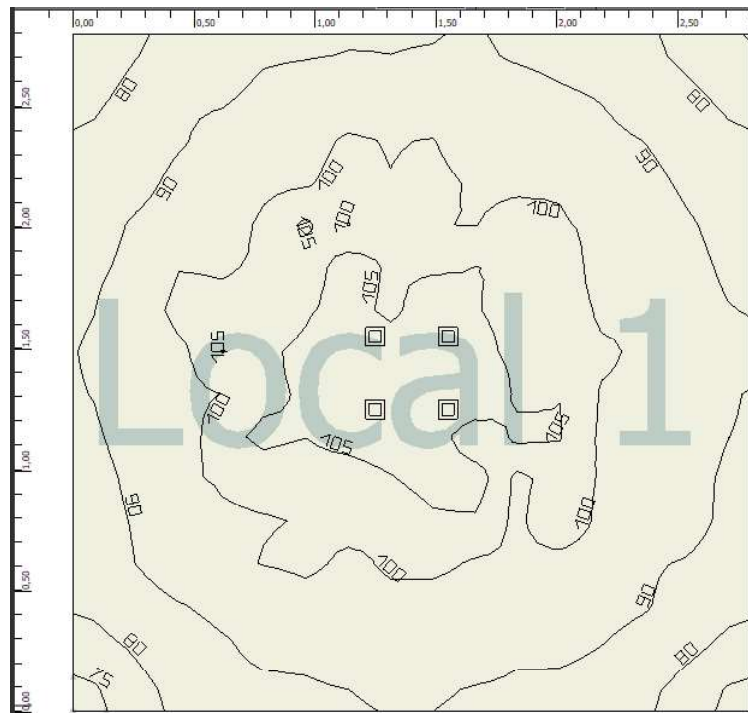


Figura 38. Pruebas de iluminación. 2D. Recinto 2.8x2.8x5 m. Altura 1 m

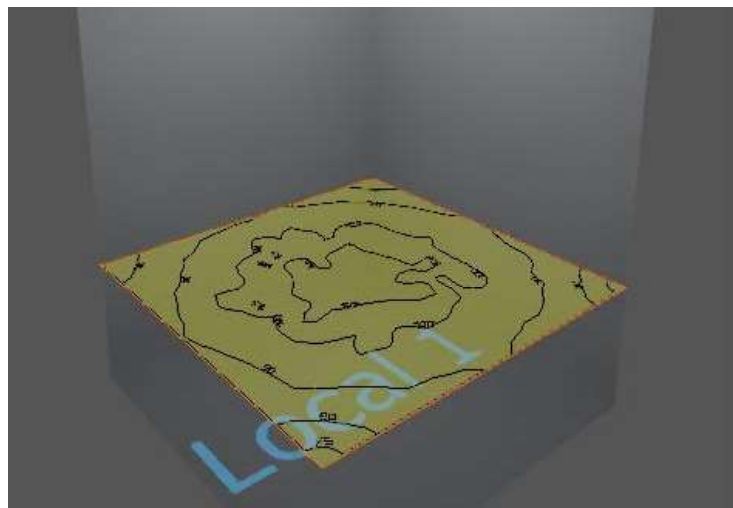


Figura 39. Pruebas de iluminación. 3D. Recinto 2.8x2.8x5 m. Altura 1 m

-A 2 m (138 lx):

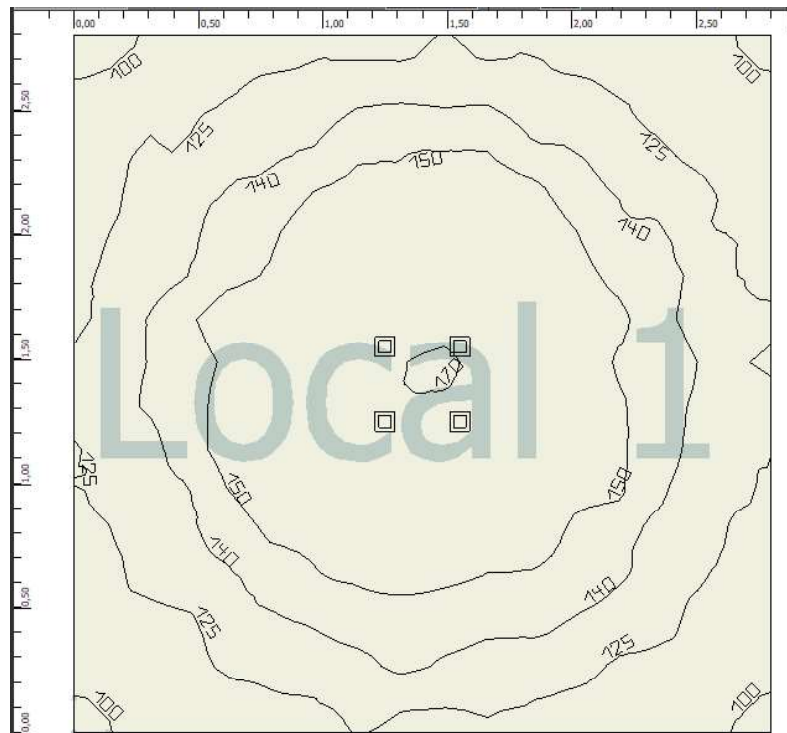


Figura 40. Pruebas de iluminación. 2D. Recinto 2.8x2.8x5 m. Altura 2 m

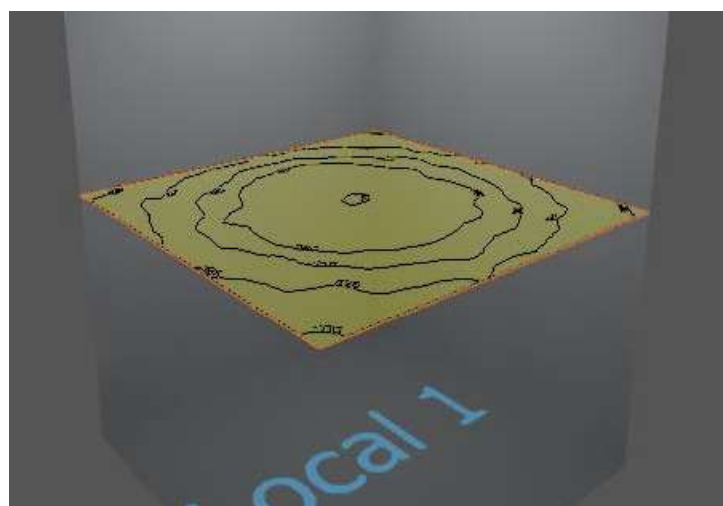


Figura 41. Pruebas de iluminación. 3D. Recinto 2.8x2.8x5 m. Altura 2 m

-A 2.5 m (altura desde la que se ha calculado el recinto) (170 lx):

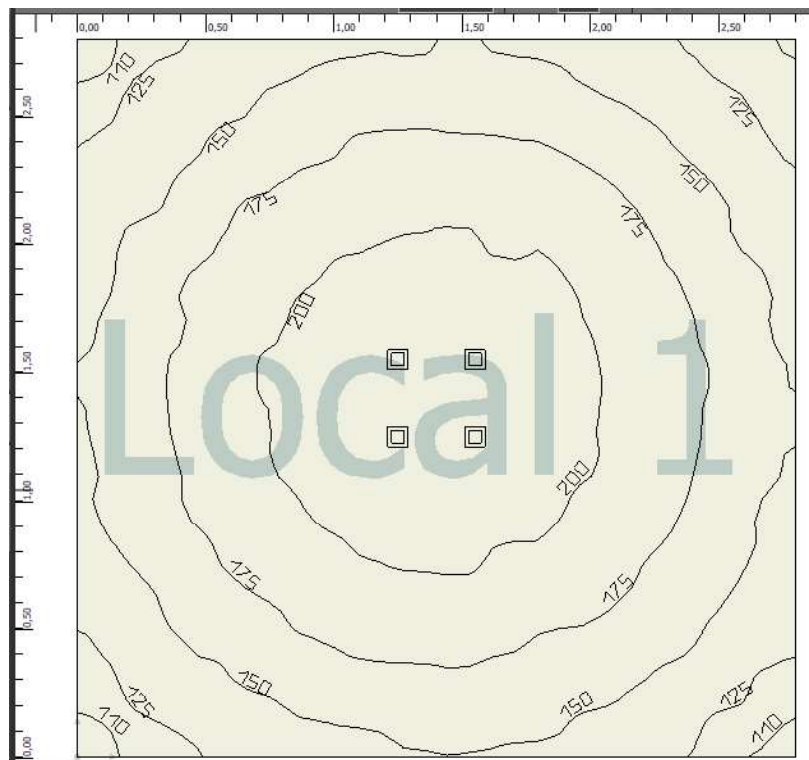


Figura 42. Pruebas de iluminación. 2D. Recinto 2.8x2.8x5 m. Altura 2.5 m

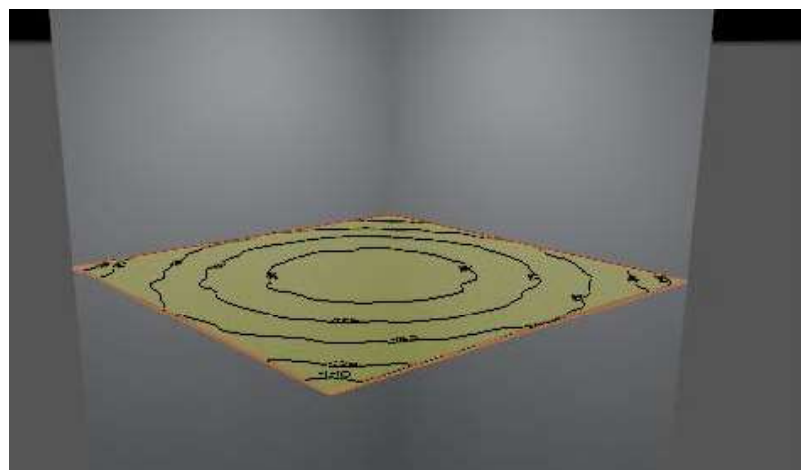


Figura 43. Pruebas de iluminación. 3D. Recinto 2.8x2.8x5 m. Altura 2.5 m

-A 3 m (211 lx):

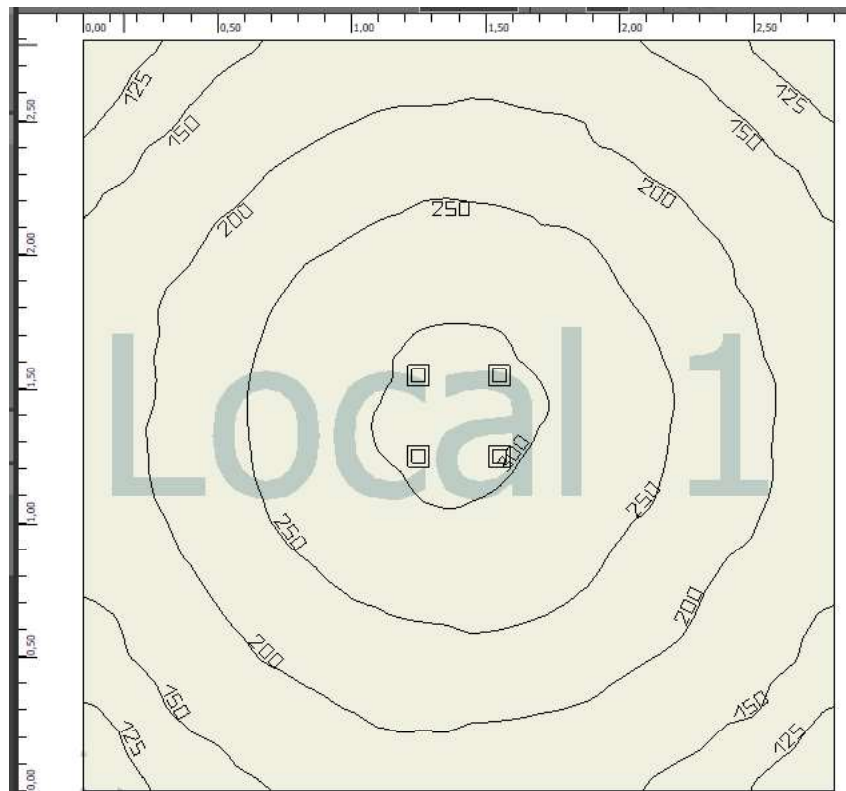


Figura 44. Pruebas de iluminación. 2D. Recinto 2.8x2.8x5 m. Altura 3 m

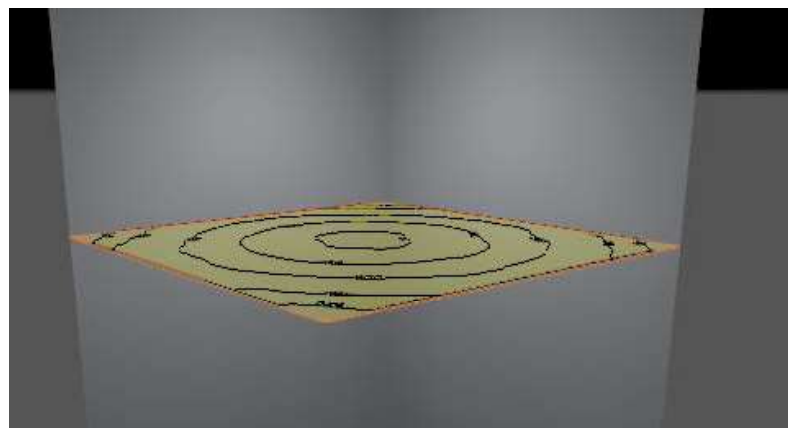


Figura 45. Pruebas de iluminación. 3D. Recinto 2.8x2.8x5 m. Altura 3 m

-A 4 m (312 lx):

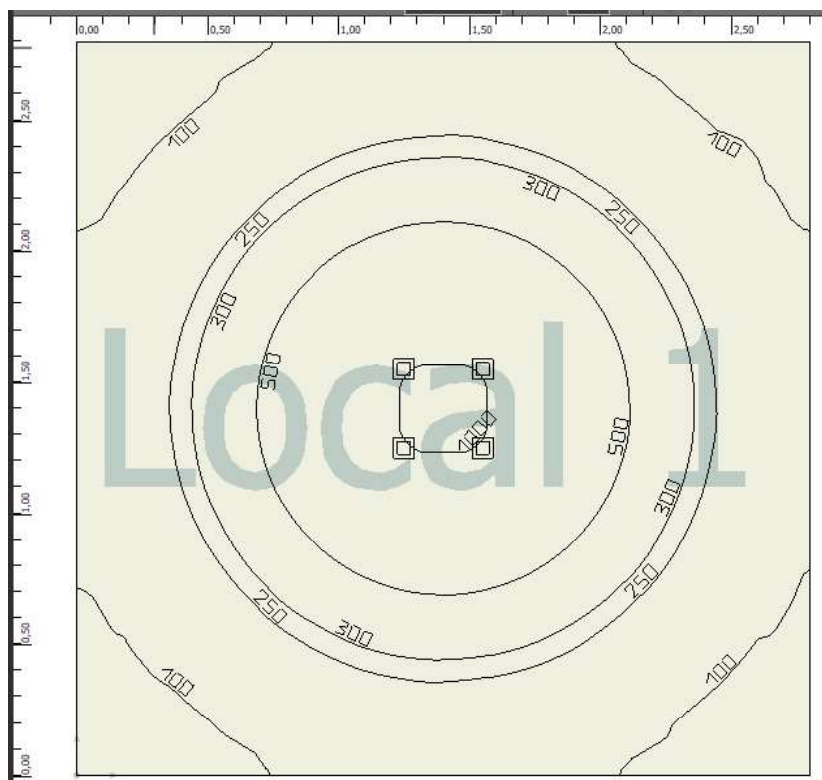


Figura 46. Pruebas de iluminación. 2D. Recinto 2.8x2.8x5 m. Altura 4 m

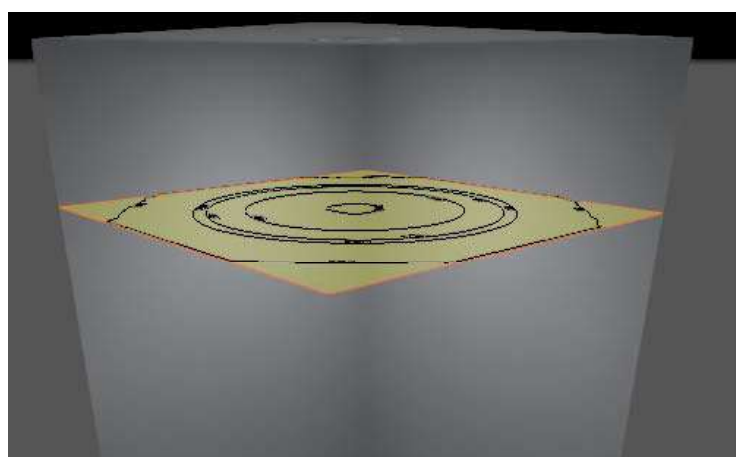


Figura 47. Pruebas de iluminación. 3D. Recinto 2.8x2.8x5 m. Altura 4 m

Como se puede observar en ambos gráficos, la luminaria presenta una iluminación simétrica como indican las isolíneas. Este tipo de iluminación es el deseado para los proyectos de iluminación de interior por lo que esta luminaria podría ser utilizada en este proyecto.

A continuación, se verá gráficamente el nivel de iluminación dependiendo de la altura del plano de trabajo. Para ello, se usará el siguiente diagrama:

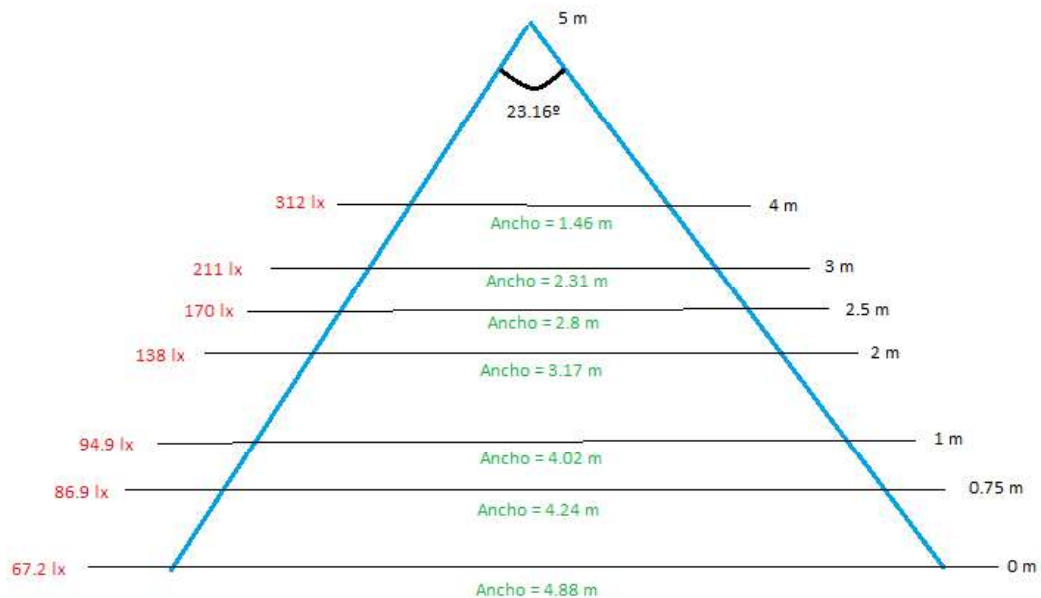


Figura 48. Nivel de iluminación por alturas

Para calcular la intensidad de iluminación de la luminaria, se utilizará el ejemplo en el que la zona de trabajo está a 2.5 m, que es donde se ha calculado el recinto. En este caso el promedio del nivel de iluminación es 33.7 lx. De esta forma, habrá que hacer los siguientes cálculos:

$$K = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)} = \frac{2.8 \cdot 2.8}{2.5 \cdot (2.8 + 2.8)} = 0.56$$

$$Cu = 0.57 - \frac{0.67 - 0.57}{0.8 - 0.6} \cdot (0.6 - 0.56) = 0.55$$

Teniendo en cuenta que las reflectancias del techo, paredes y suelo son, respectivamente: 70 %, 50 % y 30 %, se obtiene el valor del factor de utilización con la siguiente tabla:

Utilisation factor table

Room Index k	Reflectances for ceiling, walls and working plane (CIE)											
	0.80	0.80	0.70	0.70	0.70	0.70	0.50	0.50	0.30	0.30	0.00	0.00
	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.30	0.30	0.10	0.30	0.10	0.00	0.00
	0.30	0.10	0.30	0.20	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.00	0.00
0.60	0.58	0.56	0.57	0.56	0.55	0.50	0.50	0.46	0.50	0.46	0.45	0.45
0.80	0.68	0.65	0.67	0.66	0.65	0.59	0.59	0.55	0.59	0.55	0.54	0.54
1.00	0.76	0.72	0.75	0.73	0.72	0.67	0.66	0.63	0.66	0.63	0.61	0.61
1.25	0.84	0.79	0.83	0.80	0.78	0.73	0.73	0.70	0.73	0.69	0.68	0.68
1.50	0.89	0.83	0.88	0.85	0.83	0.78	0.78	0.75	0.77	0.74	0.73	0.73
2.00	0.98	0.90	0.96	0.93	0.89	0.85	0.85	0.82	0.84	0.81	0.80	0.80
2.50	1.04	0.94	1.02	0.97	0.93	0.90	0.89	0.87	0.88	0.86	0.84	0.84
3.00	1.08	0.96	1.05	1.00	0.96	0.93	0.92	0.90	0.91	0.89	0.87	0.87
4.00	1.13	0.99	1.10	1.04	0.98	0.96	0.95	0.93	0.94	0.92	0.90	0.90
5.00	1.16	1.01	1.13	1.06	1.00	0.98	0.97	0.95	0.95	0.94	0.92	0.92

Suspended mounted

Tabla 11. Factores de utilización de Philips

Con estos valores se puede obtener la intensidad de la luminaria:

$$\phi_T = \frac{E \cdot S}{Cu \cdot fm} = \frac{33.7 \cdot 2.8 \cdot 2.8}{0.56 \cdot 0.7} = 3400 \text{ lm}$$

Este es el valor de la intensidad luminosa que se utilizará a partir de ahora.

6.10 EFICIENCIA DE LA LUMINARIA

Como se puede observar, el flujo de la luminaria es menor que el flujo equivalente a 4 módulos de led. Eso puede ser debido a las pérdidas producidas por la óptica de la luminaria y por reflexiones internas; además de las que se pierde en el driver y el conexionado. Por lo tanto, la luminaria tiene una eficiencia de iluminación de:

$$\varepsilon = \frac{\phi_{luminaria}}{4 \cdot \phi_{módulo}} \cdot 100 = \frac{3400}{4 \cdot 930} \cdot 100 = 91.4 \%$$

7. ESTIMACIÓN DEL NÚMERO DE LUMINARIAS

Como se ha explicado anteriormente, en este proyecto se diseñará el sistema de iluminación de la torre de control del aeropuerto de Málaga, en concreto la cabina donde se realizará todas las actividades. Dicho sistema de iluminación debe ser centrado en la persona. El cálculo manual se realizará suponiendo que el recinto donde se quiere trabajar será cuadrado, para facilitar el cálculo.

7.1 CÁLCULOS

Para realizar el cálculo lumínico de la instalación de la torre de control del aeropuerto, hay que tener en cuenta los límites existentes. Para ello se utilizará la norma UN-EN 12464-1 para conocer los límites de luxes dependiendo de la zona y el CTE DB HE para las limitaciones de la eficiencia energética.

En las siguientes tablas, se puede observar los límites de dichas zonas, tanto los luxes mínimos como los límites de eficiencia energética (VEEI).

NIVELES DE ILUMINACIÓN MEDIOS SOBRE UNA SUPERFICIE	
PLENO SOL	100.000 LX
CIELO NUBLADO	10.000 LX
CIELO ESTRELLADO SIN LUNA	4 – 10 LX
ILUMINACION VIALES	5 – 30 LX
ILUMINACION VIVIENDA	100 – 400 LX
ILUMINACIÓN EN ZONAS COMERCIALES	300 – 2000 LX
ILUMINACIÓN EN OFICINAS Y ESCUELAS	300 – 2000 LX
ESCALERAS, ALMACENES, GARAJES, ASEOS...	100 -150 LX
AULAS, DESPACHOS, COCINAS, CONSULTAS..	400 – 500 LX
LABORATORIOS, OFICINAS,..	500 – 700 LX

Tabla 12. Niveles de iluminación habituales. Fuente: (Niveles de iluminación recomendados, 2016)

Tabla 2.1.- Valores límite de eficiencia energética de la instalación

Grupo	Zonas de actividad diferenciada	VEEI límite
1 Zonas de no representación	almacenes, archivos, salas técnicas y cocinas	5
	zonas comunes (1)	4,5
	aparcamientos	5
	administrativo en general	3,5
	aulas y laboratorios (2)	4
	habitaciones de hospital (3)	4,5
	salas de diagnóstico (4)	3,5
	espacios deportivos (5)	5
	andenede estaciones de transporte	3,5
	pabellones de exposición o ferias	3,5
	recintos interiores asimilables a Grupo 1 no descritos en la lista anterior	4,5
2 Zonas de representación	zonas comunes (1)	10
	estaciones de transporte (6)	6
	zonas comunes en edificios residenciales	7,5
	administrativo en general	6
	religioso en general	10
	salones de actos, auditorios y salas de usos múltiples y convenciones, salas de ocio y espectáculo, salas de reuniones y salas de conferencias (7)	10
	habitaciones de hoteles, hostales, etc.	12
	hostelería y restauración (8)	10
	supermercados, hipermercados y grandes almacenes	6
	centros comerciales (excluidas tiendas) (9)	8
	tiendas y pequeño comercio	10
	bibliotecas, museos y galerías de arte	6
	recintos interiores asimilables a Grupo 2 no descritos en la lista anterior	10

Tabla 13. Valores límites de eficiencia energética. Fuente: (García Placín, 2006)

Para realizar los cálculos de las luminarias empleadas, hay que seguir los pasos siguientes:

1. Datos de la geometría y del terreno en total. Se utilizarán los siguientes en cada zona:

-Geometría: Dimensiones del ancho y el largo del cuarto; y la altura de la luminaria.

-Coeficientes de reflexión: En todas las habitaciones será el mismo. Techo blanco de 0.7, paredes claras de 0.5 y suelo claro de 0.3.

-Nivel lumínico mínimo: Es el límite mínimo en luxes de la intensidad lumínica que habrá en cada habitación. Se ha obtenido de la tabla antes mencionada.

2. Calcular el índice del local (K):

$$K = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)}$$

donde:

a = Largo de la habitación en metros

b = Ancho de la habitación en metros

h = Altura de la luminaria en metros

La cabina es de 70 m² por lo que se supondrá que será un cuadrado, por lo tanto a=b=8,37 m y se supondrá una altura (altura típica de oficina) de 4m y 0,75 m de la mesa de trabajo, por lo tanto h = 3,25 m.

$$K = \frac{8,37 \cdot 8,37}{3,25 \cdot (8,37 + 8,37)} = 1,29$$

3. Se escogerá la luminaria teniendo en cuenta el tipo de alumbrado necesario. En este caso, sería el diseñado anteriormente utilizando el módulo Ledmotive.
4. Se calcula el factor de utilización (Cu): Una vez conocido el índice del local y los coeficientes de reflexión, se puede obtener el factor de utilización usando la siguiente tabla mostrada en el apartado anterior.

K es aproximadamente 1.25.

Cu (con los factores de reflexión explicados anteriormente) = 0,83

5. Se asigna el factor de mantenimiento (fm) dependiendo de la necesidad de cada luminaria de realizar un mantenimiento. Las oficinas y zonas de trabajo requieren un fm mayor ya que es necesario mantener su calidad de iluminación al máximo. En este caso, fm = 0,7
6. Se calcula el flujo luminoso total de cada uno de los niveles lumínicos:

$$\Phi_T = \frac{E \cdot S}{Cu \cdot fm}$$

donde:

E = Nivel lumínico mínimo en luxes.

S = Área de la habitación en m².

C_u = Factor de utilización.

F_m = Factor de mantenimiento

El nivel de iluminación que se usará es de 550 luxes acorde al tipo de sala que se quiere iluminar, ya que es una sala de oficinas (se le añade el 10 % porque se pretende simular la iluminación centrada en la persona y así habrá más acción de regulación).

$$\Phi_T = \frac{550 \cdot 70}{0,83 \cdot 0,7} = 66265,06 \text{ lm} \quad E = \frac{20 \cdot 3400 \cdot 0,83 \cdot 0,7}{70} = 564,4 \text{ luxes}$$

7. Se calcula el número de luminarias y se redondea por exceso para asegurar la mínima intensidad luminosa:

$$N = \frac{\Phi_T}{\Phi_L}$$

donde:

N = Número de luminarias

Φ_T = Flujo total

Φ_L = Flujo de la luminaria

El flujo de la luminaria será el flujo del caso más desfavorable de las luminarias Ledmotive. Se pueden ver en esta tabla distintos valores de flujo luminoso de ledmotive (y, como en el apartado anterior, se le quita el 10 % debido a las pérdidas).

Como se calculó anteriormente, $\Phi_L = 3400 \text{ lm}$

$$N = \frac{66265,06}{3400} = 19,49 \text{ ----} \rightarrow 20$$

8. Se calcula la eficiencia energética de este sistema de iluminación:

$$VEEI = \frac{P \cdot 100}{S \cdot E_m}$$

donde:

VEEI = Eficiencia energética en W/m²

P = Potencia instalada de luminarias en W

S = Área de la habitación en m²

E_m = Intensidad luminosa de la habitación en luxes

$$VEEI = \frac{20 \cdot 4 \cdot 16.7 \cdot 100}{70 \cdot 564.4} = 3.38$$

Según el reglamento, el límite de VEEI en una sala que no está definida en la tabla sería de 3.5. Como se puede observar, la instalación cumple con los requisitos del reglamento.

8. CÁLCULO DE LA SALA DE TRABAJO UTILIZANDO DIALUX

Utilizamos el programa Dialux para utilizar el número de luminarias que se habían calculado anteriormente para comprobar el resultado. Se ha decidido colocar las luminarias (las resultantes debido a los cuatro módulos led) lo más céntricas posibles de la sala. De esta forma, la iluminación será simétrica, lo que se busca en un diseño de iluminación de interior. La sala tiene un área de 70 m² por lo que el recinto que se usará para los cálculos será un cuadrado de 6.37 x 6.37 m, tal como se muestra en el dibujo. Como la eficiencia calculada anteriormente es del 91 %. Se ha decidido especificar el siguiente factor de mantenimiento:

$$F_m = 0.91 * 0.7 = 0.637$$

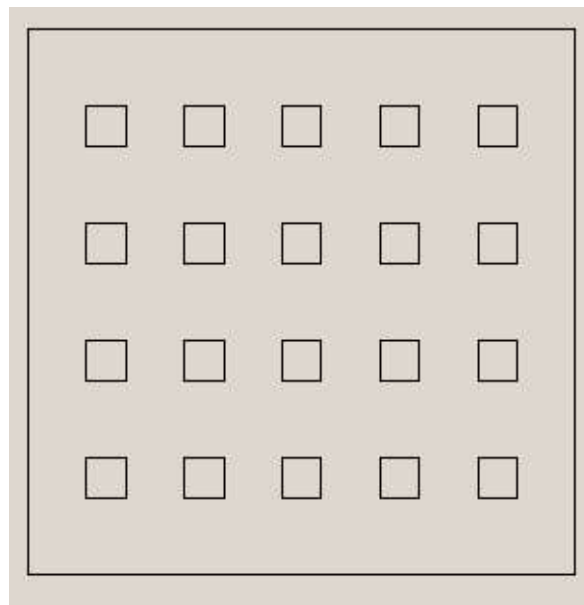


Figura 49. Colocación de las luminarias en el recinto. Diseño inicial

Y estos son los cálculos obtenidos en Dialux. Se ha decidido mostrar una representación en 2D y 3D de la iluminación en la sala.

Como el proyecto trata la iluminación de la torre de control del aeropuerto de Málaga, se ha diseñado la zona de trabajo. Esta zona se compone de dos partes: La primera consiste en una mesa apostada en el exterior de la sala de control para que puedan trabajar 8 trabajadores y poder controlar los vuelos del aeropuerto. La segunda consiste en una mesa en el centro de la sala de control para que los trabajadores puedan organizar ahí sus reuniones y puedan tomar las decisiones de esa forma.

Por eso, se realizarán 3 cálculos: El primero consiste en el cálculo de la iluminación a la altura de la zona de trabajo para comprobar que la iluminación esté al nivel adecuado (por lo menos de 550 luxes). Los otros dos cálculos serán en cada una de las zonas de trabajo mencionadas previamente. En esa zona se estudiará principalmente la homogeneidad y el deslumbramiento.

Así se ve la representación en 3D:

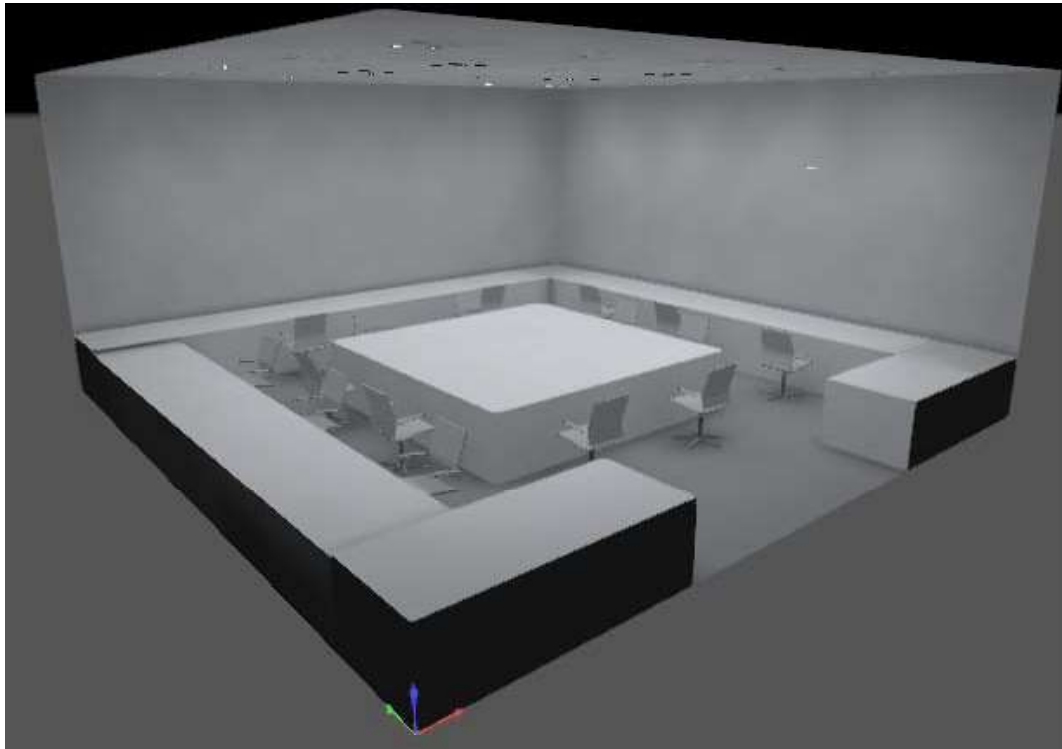


Figura 50. Representación en 3D del recinto de trabajo con Dialux. Diseño inicial

Además de los niveles de iluminación, también hay que tener en cuenta que no se superen los niveles de deslumbramiento (UGR). La siguiente tabla muestra los niveles de deslumbramiento permitido dependiendo de la actividad.

UGR	Actividades/Espacios
16	Dibujo técnico, relojería
19	Mecanografía, CAD, Salas de reuniones
22	Recepciones, tiendas
25	Zonas de paso, archivos

Tabla 14. Niveles de deslumbramiento. Fuente: (efectoLED, 2017)

8.1 PRIMERA PRUEBA (UTILIZANDO LOS CÁLCULOS TEÓRICOS)

8.1.1 ALTURA DE TODA LA ZONA DE TRABAJO

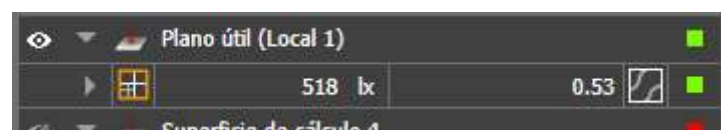


Tabla 15. Niveles de iluminación general de la zona de trabajo. Diseño inicial

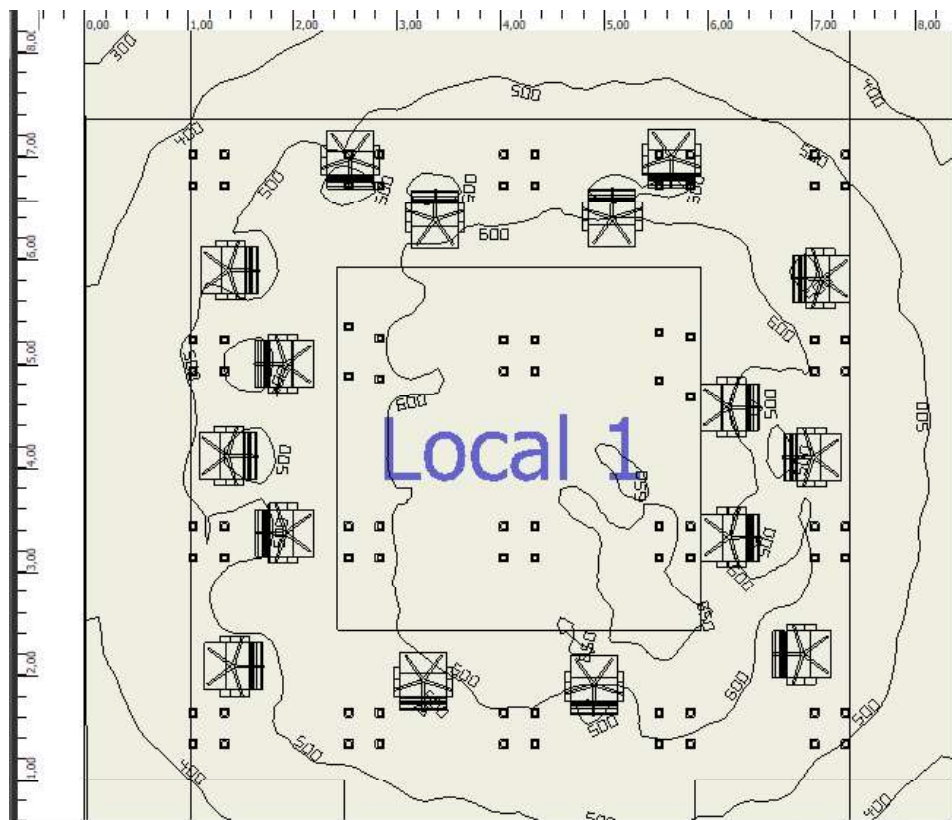


Figura 51. Representación en 2D de la iluminación general de la zona de trabajo. Diseño inicial



Figura 52. Representación en 3D de la iluminación general de la zona de trabajo. Diseño inicial

Como se puede observar, no se han podido alcanzar los niveles deseados de iluminación, por lo tanto, en principio, este diseño no sería válido.

8.1.2 PRIMERA ZONA DE TRABAJO (MESA EXTERIOR)

Superficie de cálculo 5				
	433 lx	0.73		
	25.7	< 10		

Tabla 16. Cálculos de iluminación en la primera zona de trabajo. Diseño inicial

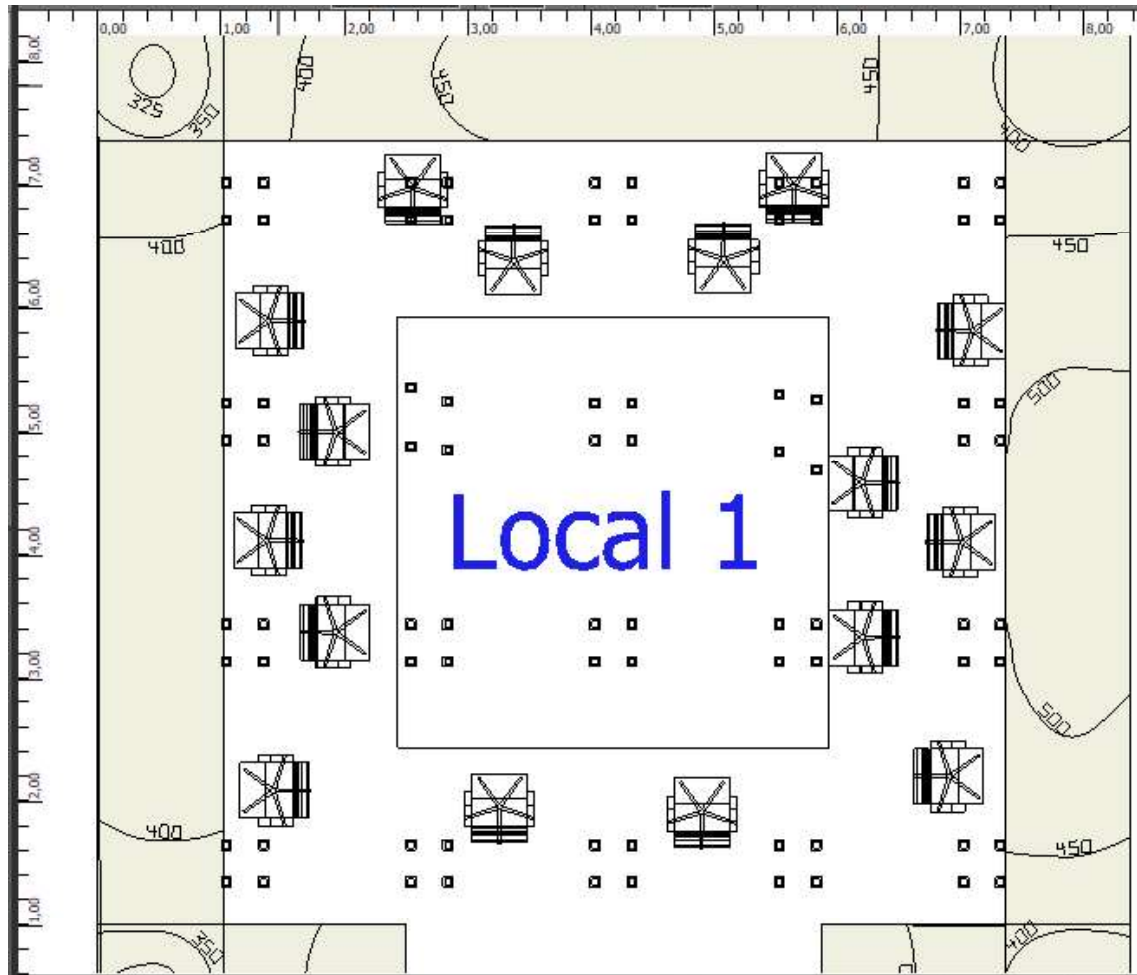


Figura 53. Representación en 2D de la iluminación en la primera zona de trabajo. Diseño inicial

En este caso, no se alcanza el nivel de luminosidad deseado (550 luxes) y supera el deslumbramiento máximo (19).

8.1.3 SEGUNDA ZONA DE TRABAJO (MESA INTERIOR)

Superficie de cálculo 4			
	626 lx	0.94	
	23.3	< 10	

Tabla 17. Cálculos de iluminación en la segunda zona de trabajo. Diseño inicial

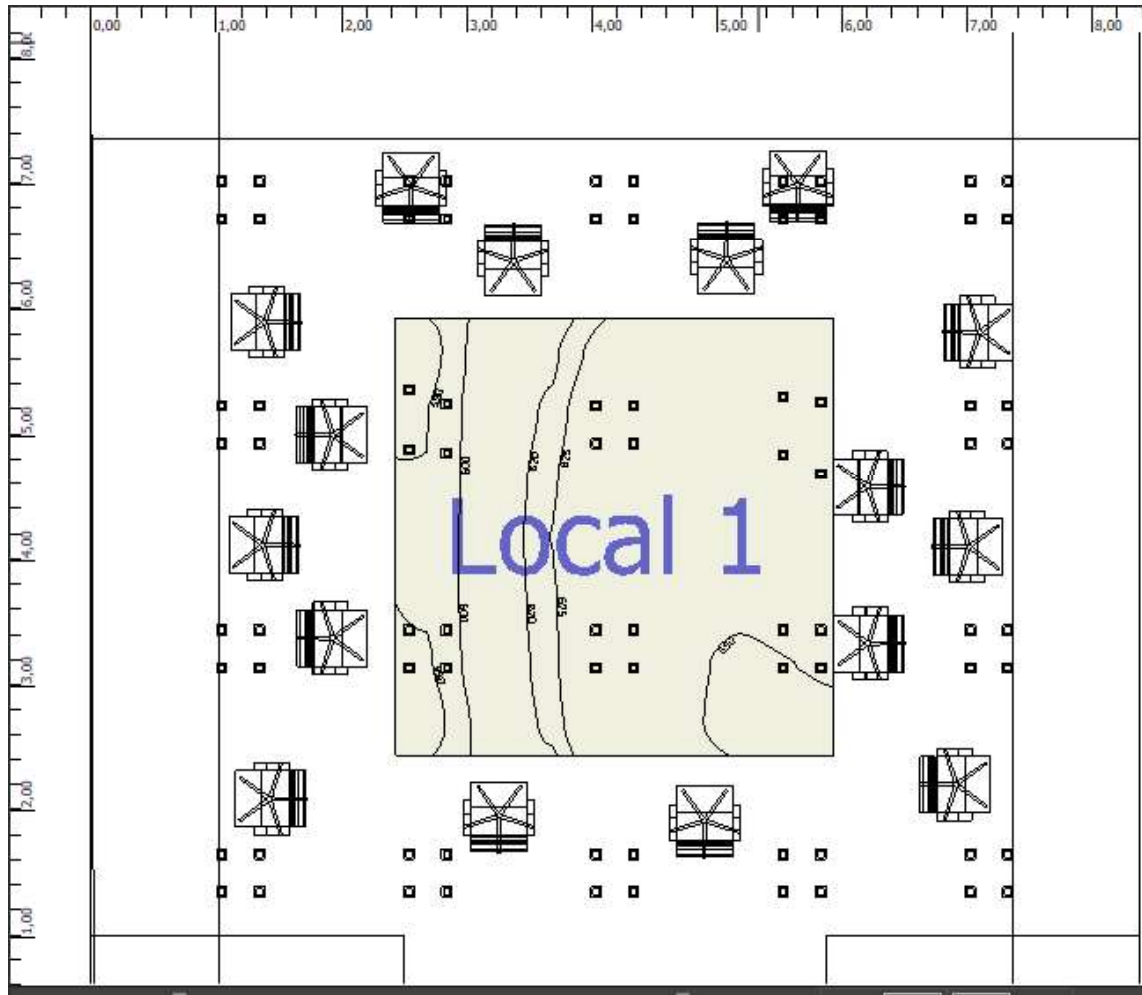


Figura 54. Representación en 2D de la iluminación en la segunda zona de trabajo. Diseño inicial

En este caso se consigue el nivel mínimo de nivel de iluminación (550 luxes) pero supera el nivel máximo de deslumbramiento (19)

8.1.4 CONCLUSIONES

Como se puede observar, en este primer intento no se alcanza el nivel de luminosidad deseado (550 luxes) y el nivel de deslumbramiento es demasiado alto en todos los casos (no debe superar el valor de 19). Aunque, por otro lado, el reglamento permite un nivel de

homogeneidad superior del 50 %, aunque no es suficiente como para que el resultado sea aceptable, por lo que habrá que cambiar el diseño del sistema de iluminación.

8.2 DISEÑO FINAL

Para mejorar la iluminación e impedir posibles deslumbramientos se ha decidido bajar la altura de la luminaria utilizando falsos techos. Además, también se ha optado por poner escalones en el techo para evitar el deslumbramiento directo. El diseño en 3D final de la sala será:



Figura 55. Representación en 3D del recinto de trabajo con Dialux. Diseño final

También se van a colocar un mayor número de luminarias (en vez de las 20 que se pensaban utilizar, al final se usarán 30 luminarias) para alcanzar el nivel mínimo de iluminación. La disposición final de luminarias se puede ver en la siguiente imagen:

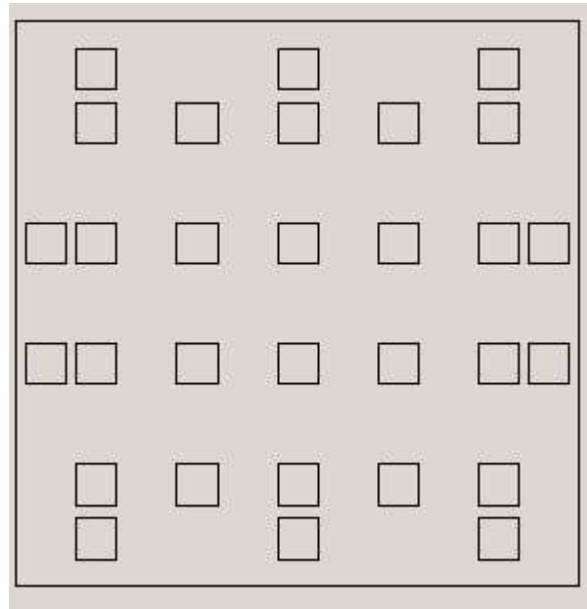


Figura 56. Colocación de las luminarias en el recinto. Diseño final

8.2.1 ALTURA DE TODA LA ZONA DE TRABAJO

		Plano útil (Local 1)	
		675 lx	0.64 

Tabla 18. Niveles de iluminación general de la zona de trabajo. Diseño final

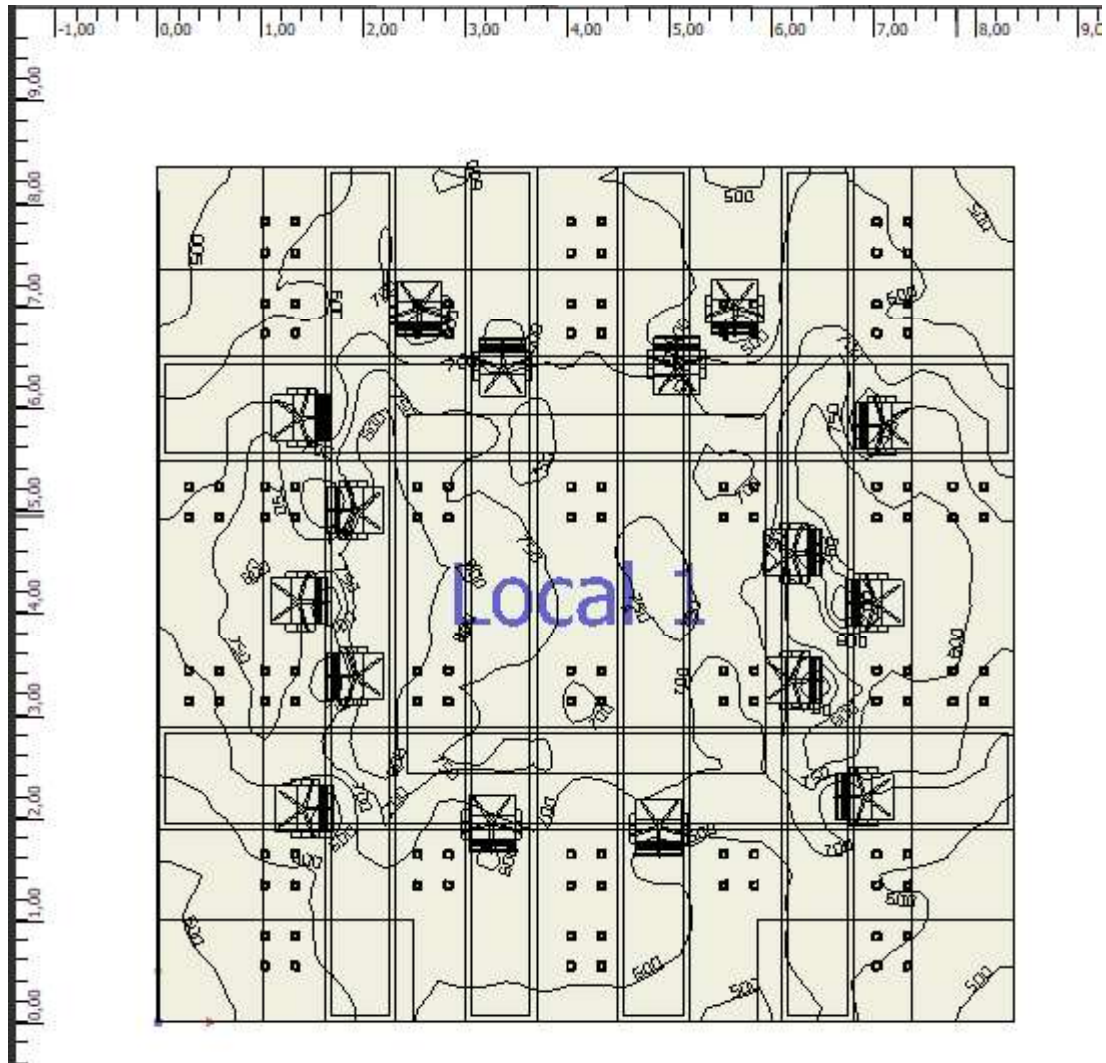


Figura 57. Representación en 2D de la iluminación general de la zona de trabajo. Diseño final



Figura 58. Representación en 3D de la iluminación general de la zona de trabajo. Diseño final

Como se puede observar, se han podido superar los niveles deseados de iluminación, por lo tanto, este diseño podría valer.

8.2.2 PRIMERA ZONA DE TRABAJO (MESA EXTERIOR)

Superficie de cálculo 5			
	613 lx	0.79	
	17.9	< 10	

Tabla 19. Tabla 20. Cálculos de iluminación en la primera zona de trabajo. Diseño final

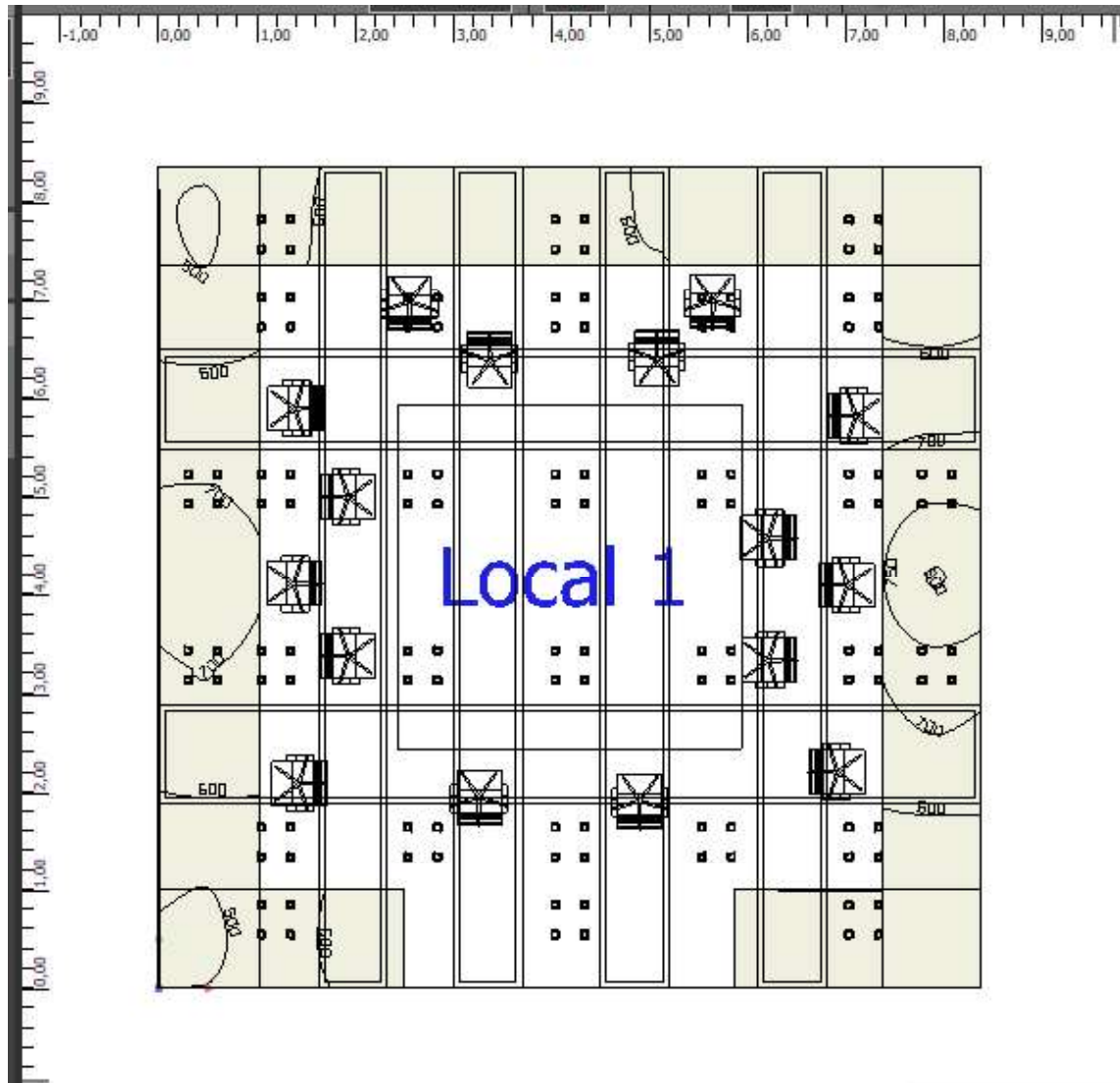


Figura 59. Representación en 2D de la iluminación en la primera zona de trabajo. Diseño final

En este caso, se supera el nivel de luminosidad deseado (550 luxes) y no supera el deslumbramiento máximo (19). Por lo tanto, el diseño en relación con la primera zona de trabajo sí sería válido.

8.2.3 SEGUNDA ZONA DE TRABAJO (MESA INTERIOR)

Superficie de cálculo 4			
	740 lx	0.91	
	16.7	< 10	

Tabla 21. Cálculos de iluminación en la segunda zona de trabajo. Diseño final

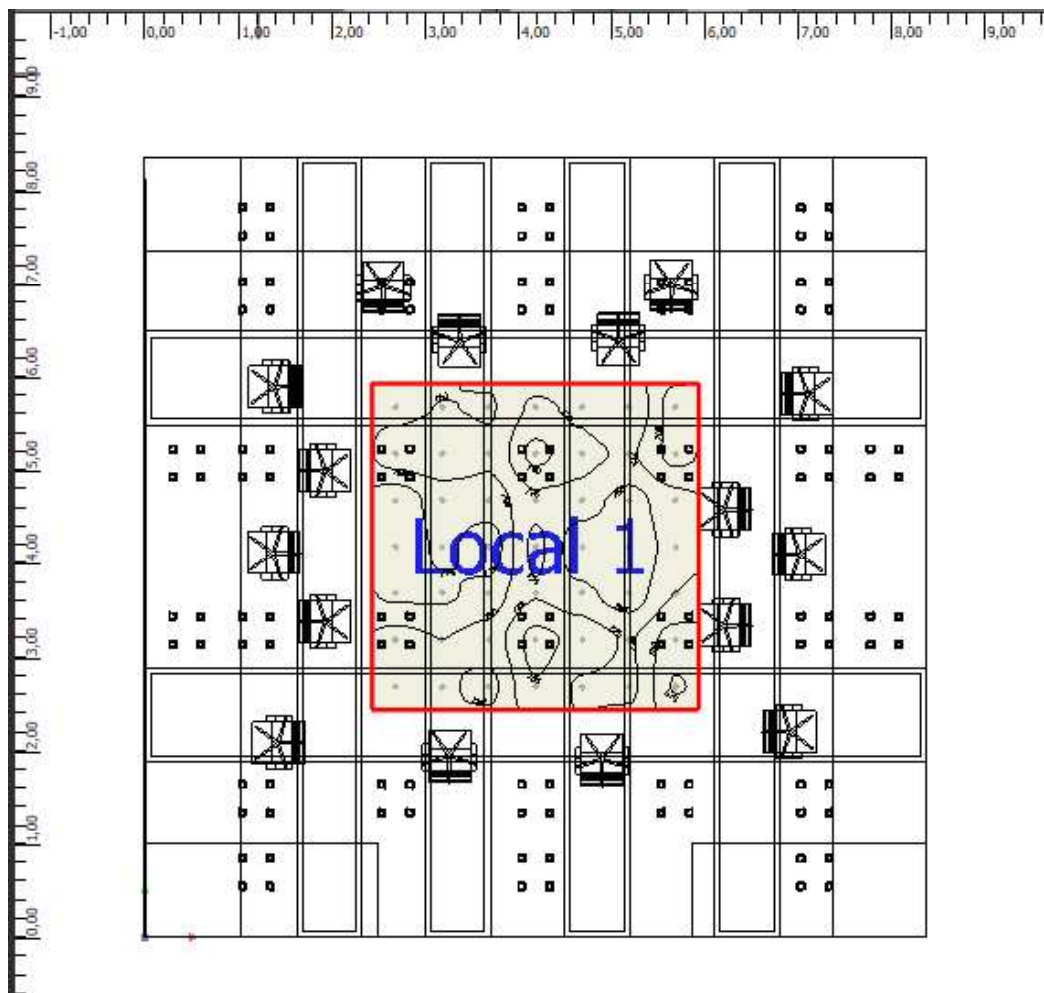


Figura 60. Representación en 2D de la iluminación en la segunda zona de trabajo. Diseño final

En este caso, se supera el nivel de luminosidad deseado (550 luxes) y no supera el deslumbramiento máximo (19). Por lo tanto, el diseño en relación con la primera zona de trabajo sí sería válido.

8.2.4 CONCLUSIONES

Como se puede observar, si se alcanza el nivel de iluminación en todos los casos. Para diseñar el control se utilizarán los niveles de iluminación de cada una de las zonas de trabajo. También, se puede observar que no se alcanza el nivel de deslumbramiento máximo (19) y la homogeneidad de la iluminación es mayor que el 50 % en todos los casos. Por lo tanto, se puede utilizar este diseño para la realización del proyecto.

9. SUBSISTEMAS DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN

Una vez se defina como se va a diseñar el sistema de iluminación con todos los niveles de iluminación, habrá que diseñar los subsistemas que posee. De esta forma, se puede asegurar el máximo rendimiento y optimización para poder trabajar en los diferentes escenarios. Para ello, hay dos grandes sistemas que hay que diseñar: el sistema electrónico y el sistema eléctrico. El sistema electrónico consiste básicamente en el sistema de control que envía (y recibe) las órdenes para cambiar el nivel de iluminación según el escenario en el que esté. El sistema eléctrico es el encargado de proveer la potencia que requiere el sistema de iluminación. En ambos casos, se tienen que definir tanto el cableado de comunicación del sistema electrónico como el cableado de potencia del sistema eléctrico.

9.1 SISTEMA ELECTRÓNICO

El sistema electrónico se divide en los siguientes subsistemas:

-Subsistema de control: Es el software, que se encarga de encender y apagar los leds según se haya programado. Además, también regula dichos leds para poder tener una iluminación según los escenarios que interesen. Este sistema se compone de microcontroladores. En el caso particular de este proyecto, se utilizará el sistema de regulación DALI (para poder gestionar el nivel de iluminación), como ya se explicó previamente, y también se usará el dispositivo Light Hub, el cual puede programar el color de cada uno de los leds y así se puede programar todos los escenarios que se precisen. Este sistema se puede controlar por un agente externo, y, además podría haber un sistema automático, el cual, mediante sensores

de presencia e iluminación; y otro tipo de entradas lógicas, se pueda gestionar cada uno de los escenarios de forma automática.

-Subsistema de gestión de datos: Es el encargado de la comunicación entre el sistema de potencia y el sistema de control. Este sistema es necesario debido a las grandes distancias que podría haber entre los leds, el sistema de control y el sistema de alimentación.

-Subsistema de excitación: Es el driver que se encarga en transformar la tensión disponible en la torre de control a la tensión que necesitan los leds. Este driver es aquel proporcionado por Ledmotive junto a los módulos de led. No hará falta diseñarlo individualmente.

-Subsistema de luminarias: Son básicamente las luminarias que se diseñaron previamente en conjunto de 4 módulos de led Ledmotive. Además de los sensores que se utilizarán para regular la iluminación que se necesitará.

Estos subsistemas se pueden ver en el siguiente diagrama de bloques:

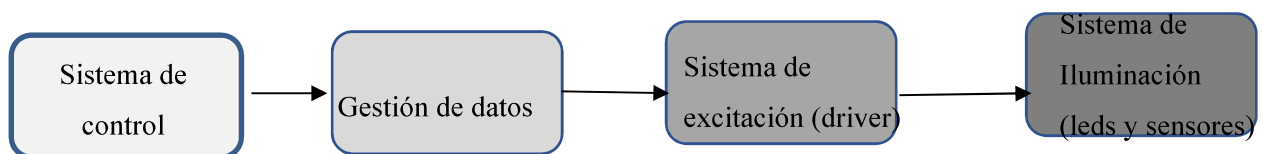


Figura 61. Diagrama de bloques del subsistema electrónico.

9.1.1 ELEMENTOS NECESARIOS PARA EL SISTEMA DE REGULACIÓN DALI

9.1.1.1 PLC

De siglas “Programmable Logic Controller”, que se traduce como controlador lógico programable y que también se conoce como autómata programable. Esencialmente es un microcontrolador que puede automatizar cualquier proceso electromecánico. Es decir, es un

dispositivo que obtiene información de sus entradas (en este caso, interruptores y sensores), que el cual con un software procesan las órdenes para cambiar el estado de sus salidas (los módulos del led).

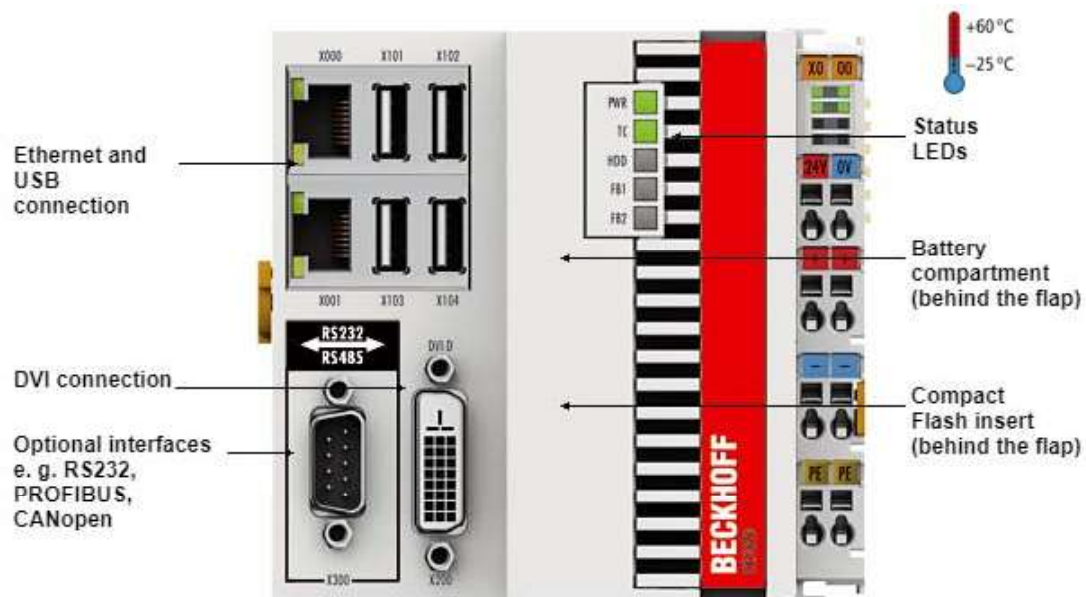


Figura 62. PLC CX5020 de Beckhoff

En este proyecto, se usará el PLC para controlar el sistema de iluminación que consiste en la tecnología DALI. El autómatas que se usará es el CX5020 del fabricante Beckhoff. Se encuentra en la norma ISO 1648: 2010, Rey 12 de BACnet, por lo cual es garantizada la interoperabilidad entre distintos autómatas de distintos fabricantes.

9.1.1.2 Analizador de energía

Se trata de un equipo que puede medir diferentes parámetros que se encuentran en un circuito eléctrico (tensión, intensidad de corriente, resistencia). A diferencia de un polímetro digital, este puede recibir la onda completa en tensión alterna para poder analizar su calidad. Además, se puede almacenar la información en un PC a través de un puerto USB. Dicho

aparato podría ser muy útil cuando se necesite hacer pruebas de funcionamiento del Sstema Dali.



Figura 63. Analizador de energía

9.1.1.3 Control de luminarias LEDMOTIVE (LIGHT HUB)

Se utilizará el Light Hub del fabricante de ledmotive. Con él se podrá controlar el color de las luminarias, muy útil para diferenciar las primeras horas con las últimas del sistema de iluminación del proyecto.



Figura 64. Control de Ledmotive LIGHT HUB. Fuente: (Ledmotive, 2020)

Así es como funciona este producto:

El LIGHT HUB es el dispositivo encargado de gestionar y controlar las comunicaciones hacia un solo Módulo LED o un grupo de módulos LED si contienen el mismo número de canales de color. Hay varios subgrupos disponibles si se prevén diferentes escenarios de iluminación.

El bus de comunicación es RS485, el cual permite señales de alta velocidad a largas distancias en conexiones en serie.

Una vez que LIGHT HUB encuentra un nuevo dispositivo (una fuente de luz LEDMOTIVE), lo registra y automáticamente asigna una dirección a este nuevo dispositivo para controlarlo.

El LIGHT HUB está diseñado solo para aplicaciones en interiores (IP20).

Estas son las características de LIGHT HUB:

- Capaz de controlar hasta 128 luminarias con un solo dispositivo.
- Encaja en un carril DIN.
- Protocolo de bus de comunicación: TIA 485 (RS-485)
- Dispone de API RESTful.
- Capaz de conectarse al Internet de las cosas (plataforma de IoT LIGHTCREATOR©) mediante la conexión Ethernet.
- Puerto host USB 2.0, puerto cliente mini USB 2.0, tarjeta micro HDMI y micro SD disponibles.
- Wi-Fi disponible a través de llave USB.
- En la siguiente tabla se pueden ver las características eléctricas:

Nominal Input Voltage	5 V DC (Constant Voltage)
Max. Current Input	1 A
Input data	Ethernet RJ45
Output data	Pair of wires labeled A, B (bus RS 485)

Tabla 22. Características eléctricas del controlador Ledmotive. Fuente: (Ledmotive, 2020)

- Junto al Light Hub se proporciona un adaptador de unidad de fuente de alimentación que tiene una alimentación de entrada de 110-240 V AC a 50/60 Hz y una señal de salida a 5 V DC y 2.4 A (12 W máximo).

9.1.1.4 Software

Para poder hacer el control del sistema de iluminación se necesita un programa de ordenador para mandar las órdenes de funcionamiento. En este proyecto se usará el programa que provee el propio fabricante de Ledmotive utilizando el Light Hub. Este es el modo de funcionamiento.

Cuando el Light Hub está conectado a través de un USB a un ordenador, se le asignará una IP predefinida (192.168.7.2); de lo contrario, si el Light Hub está conectado a la red mediante el enchufe ETHERNET, la IP se definirá por la red. Se encontrará el dispositivo a través del estándar DNS-SD solicitando los servicios `_http_lighthub.tcp` o el dominio `lighthub.local`. Si se usasen varios Light Hub en la misma red se agregará un nuevo sufijo (`lighthub-2.local`).

Junto al dispositivo, está disponible una API RESTful, por lo que cualquier usuario puede hacer las consultas necesarias a la dirección IP de Light Hub para enviar y recibir comando desde y hacia la luminaria o fuente de luz. Las respuestas HTTP de LIGHT HUB están en formato JSON y no están limitadas a ningún lenguaje específico.

Estos son los comandos principales (entre otros):

- Ejecutar un espectro específico basado en la amplitud de cada canal.
- Ejecutar un espectro específico basado en la amplitud de cada valor de longitud de onda (típicamente de 380 a 780 nm con un paso de 5 nm).
- Ejecutar un color específico utilizando las coordenadas de color x,y en el espacio de color CIE 1931.
- Ejecutar un comando de encendido/apagado.
- Asignar el nivel de atenuación.
- Ejecutar un vídeo espectral.

- Leer la amplitud actual de cada canal.
- Leer el espectro actual.
- Leer la temperatura de los diferentes sensores de temperatura en la placa PCB.
- Leer el valor de un sensor espectral integrado en el módulo LED.
- Leer curvas de calibración de cada canal.
- Leer las propiedades de información del dispositivo.
- Leer las propiedades de la luz.
- Definir un control de límite de potencia.
- Definir un control de límite de temperatura.
- Definir un espectro predeterminado que se ejecutará cada vez que se enciendan las luces.
- Definir un grupo de luminarias a través de una dirección de multidifusión.

El sistema incluye una serie de servicios que pueden variar según los requisitos de instalación. Desde esos servicios, los siguientes ofrecen puertos abiertos que permiten la conexión desde fuera del dispositivo:

- 8181 (TCP): la API LIGHT HUB se puede controlar aquí. Esto es necesario para el control local y la configuración del sistema de iluminación. Según los requisitos, el dispositivo se puede configurar para escuchar solicitudes provenientes de una única dirección IP.

- 242 (TCP): El servidor SSH se controla aquí. Esto es necesario para el mantenimiento remoto, pero puede desactivarse permanentemente si se requiere. Si la asistencia técnica está inhabilitada, tendrá que reubicarse internamente para la supervisión y la asistencia de apoyo. Un sistema de baneo evita los ataques al inicio de sesión del SSH.
- 54 (TCP/UDP)/67 (UDP): Los servidores DNS y DHCP privados se controlan en estos puertos. Se requieren para permitir la conexión al LIGHT HUB a través de un puerto USB (normalmente se usa para conectar un ordenador portátil directamente al dispositivo para control o mantenimiento). Este servicio se puede deshabilitar según los requisitos si la instalación no requiere una conexión USB.
- 5353 (UDP): Los mensajes multidifusión DNS se controlan en este puerto para comprobar la compatibilidad con DNS-SD (DNS based Service Discovery). Este servicio permite la detección dinámica del dispositivo LIGHT HUB en la red. Este servicio se puede deshabilitar bajo pedido para instalaciones donde se utiliza una dirección IP estática para el dispositivo (es decir, el dispositivo no depende de DHCP).

9.1.2 HARDWARE DEL SISTEMA DALI

En el anexo XX se podrá ver un esquema entero del hardware de la electrónica del sistema de iluminación.

Estos son los elementos que se ven representados en ese esquema:

- DALI Máster USB: Está conectado al ordenador y al resto del sistema. Es el responsable de llevar el software que relaciona el sistema DALI con las luminarias y poder gestionar el sistema:

- DALI BUS Power: Sirve para conectar los elementos del sistema con el máster del sistema DALI. También se encargará de dar potencia al sistema.
- PLC: Ya está descrito anteriormente en este apartado.
- LIGHT HUB: Ya está descrito anteriormente en este apartado.
- SPECTRA TUNE LAB: Dispositivo LEDMOTIVE que se utilizará como driver. Como se explicó en anteriores apartados, pueden controlar 48 módulos cada uno. Como en este proyecto se necesitan 30 luminarias, se usarán 3 SPECTRA TUNE LAB, que lleve 10 luminarias cada uno (con 4 módulos en cada luminaria, como se había explicado anteriormente. Además, estos dispositivos se pueden utilizar como iluminarias. Por lo tanto, se podrían utilizar como iluminación de emergencia, que se explicará en el apartado de desarrollo de software.
- Luminaria: La que se ha diseñado previamente. Como se había explicado, cada una dispondrá de 4 módulos LEDMOTIVE. Estos módulos estarán conectados mediante el dispositivo LIGHT HUB utilizando el Wi-Fi.
- Regulador giratorio: Como se verá a continuación, uno se utilizará para poder regular el nivel de iluminación y el otro controlará el color de la luz.
- Push Switch: Para poder encender y apagar las luminarias a voluntad del cliente. También se utilizará un interruptor táctil para controlar el cristal inteligente y definir si se busca que sea transparente o difuso.
- Detector de presencia: Para detectar el número de trabajadores que está en cada zona. De esta forma se podrá programar el porcentaje de iluminación que tendrá cada sistema.

- Control de iluminación: Para poder calcular cuanta iluminación entra por las ventanas. De esta forma, se podría regular las luminarias para utilizar menor energía.
- Conmutador de 3 posiciones: De esta forma se podría tener 3 posiciones del control: 0 – Completamente automática; 1 – Control manual de la regulación de intensidad de la luz; 2 – Control manual de la intensidad y el color de la luz.
- Cristal inteligente: Es un cristal que cubre cada luminaria y que se le inducirá corriente eléctrica para hacerlo difuso u opaco. De esa forma se podrá controlar también el nivel de iluminación.
- Seta de emergencia: Cualquier controlador podría pulsarlo. Cuando se pulse, el sistema pasa a un estado de emergencia. El funcionamiento de dicho estado se explicará posteriormente. El estado de emergencia parará cuando se vuelva a rearmar la seta.

9.1.3 LÓGICA DEL SISTEMA.

A continuación, se explicará la lógica en la que trabaja el sistema para facilitar la programación de esta:

- Lo primero que hay que tener en cuenta es la gestión de modos. Para eso se utilizará el interruptor de 3 posiciones. Dicho interruptor se podrá manejar por parte de los trabajadores. Los 3 modos que tendrá el sistema son: modo automático (se controla el nivel de iluminación y el color de esta de forma automática), modo semiautomático (se controla el nivel de iluminación de forma manual y el color de forma automática) y el modo manual (se controla el nivel

de iluminación y el color de forma manual). A continuación, se mostrará una máquina de estados para saber cómo funciona este sistema.

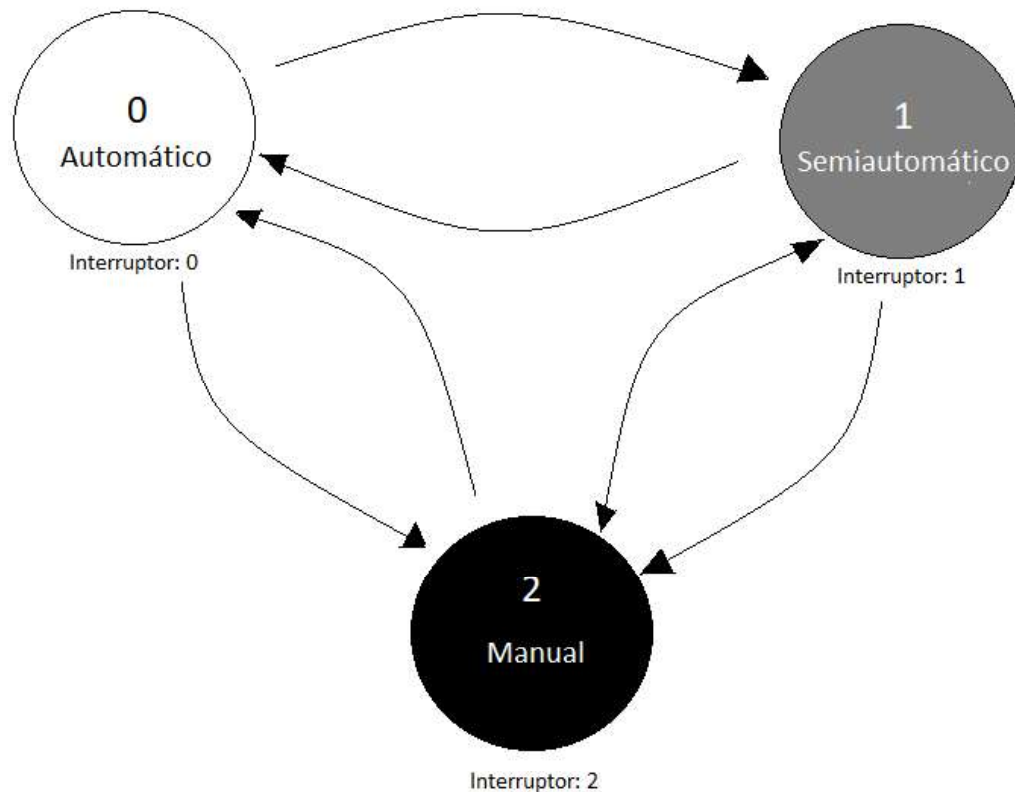


Figura 65. Diseño del software. Máquina de estados. Gestión de modo.

A continuación, se explicará como funcionaría la lógica teniendo en cuenta el nivel de iluminación. El cambio de color automático se explicará posteriormente.

- 0: Cuando no hay nadie trabajando. En este caso la iluminación sería de 0 luxes (es decir, estaría completamente apagado). De la misma forma, el SPECTRA TUNE LAB estará también apagado.

- 1: En este caso, sería la situación en el que hay un número normal de gente trabajando (de una a siete personas) y cuando el detector de presencia detecta que hay por lo menos alguna persona en la primera zona de trabajo (la mesa exterior). En este caso, se asegurará que la iluminación en esa zona sería de 450 luxes. Como en el caso en que trabajase al 100%, la primera zona de trabajo es de 613 luxes, las luces se regularían de esta forma: $450/613 \cdot 100 = 73.41\%$. También, se regularía el SPECTRA TUNE LAB para que tuviese una iluminación verde.
- 2: En este caso, sería la situación en el que hay un número normal de gente trabajando (de una a siete personas) y cuando el detector de presencia detecte que hay únicamente personas en la segunda zona de trabajo (la mesa interior). En este caso, se asegurará que la iluminación en esa zona sería de 450 luxes. Como en el caso en que trabajase al 100%, la segunda zona de trabajo es de 740 luxes, las luces se regularían de esta forma: $450/740 \cdot 100 = 60.81\%$. También, se regularía el SPECTRA TUNE LAB para que tuviese una iluminación verde.
- 3: En este caso, sería la situación en el que hay mayor número de gente trabajando de lo normal (más de siete personas) y cuando el detector de presencia detecta que hay por lo menos alguna persona en la primera zona de trabajo (la mesa exterior). En este caso, se asegurará que la iluminación en esa zona sería de 500 luxes. Como en el caso en que trabajase al 100%, la primera zona de trabajo es de 613 luxes, las luces se regularían de esta forma: $500/613 \cdot 100 = 81.57\%$. También, se regularía el SPECTRA TUNE LAB para que tuviese una iluminación amarilla.
- 4: En este caso, sería la situación en el que hay mayor número de gente trabajando de lo normal (más de siete personas) y cuando el detector de presencia detecta que hay únicamente personas en la segunda zona de trabajo (la mesa interior). En este caso, se asegurará que la iluminación en esa zona sería de 500 luxes. Como en el caso en que trabajase al 100%, la segunda zona de trabajo es de 740 luxes,

las luces se regularían de esta forma: $500/740 \cdot 100 = 67.57\%$. También, se regularía el SPECTRA TUNE LAB para que tuviese una iluminación amarilla.

- 5: En este caso, sería la situación en el que hay una situación de emergencia (que los operarios pueden decidir cuando es una, pulsando la seta de emergencia, y la paran rearmándola) y cuando el detector de presencia detecta que hay por lo menos alguna persona en la primera zona de trabajo (la mesa exterior). En este caso, se asegurará que la iluminación en esa zona sería de 550 luxes. Como en el caso en que trabajase al 100%, la primera zona de trabajo es de 613 luxes, las luces se regularían de esta forma: $550/613 \cdot 100 = 89.72\%$. También, se regularía el SPECTRA TUNE LAB para que tuviese una iluminación roja intermitente.
- 6: Por último, sería la situación en el que hay una situación de emergencia (que los operarios pueden decidir cuando es una, pulsando la seta de emergencia, y la paran rearmándola) y cuando el detector de presencia detecta que hay únicamente personas en la segunda zona de trabajo (la mesa interior). En este caso, se asegurará que la iluminación en esa zona sería de 550 luxes. Como en el caso en que trabajase al 100%, la primera zona de trabajo es de 740 luxes, las luces se regularían de esta forma: $550/740 \cdot 100 = 74.32\%$. También, se regularía el SPECTRA TUNE LAB para que tuviese una iluminación roja intermitente.

Ahora, se podrá ver una máquina de estados donde se verá cómo funcionará. Hay que tener en cuenta que el número corresponde al estado que se ha descrito previamente:

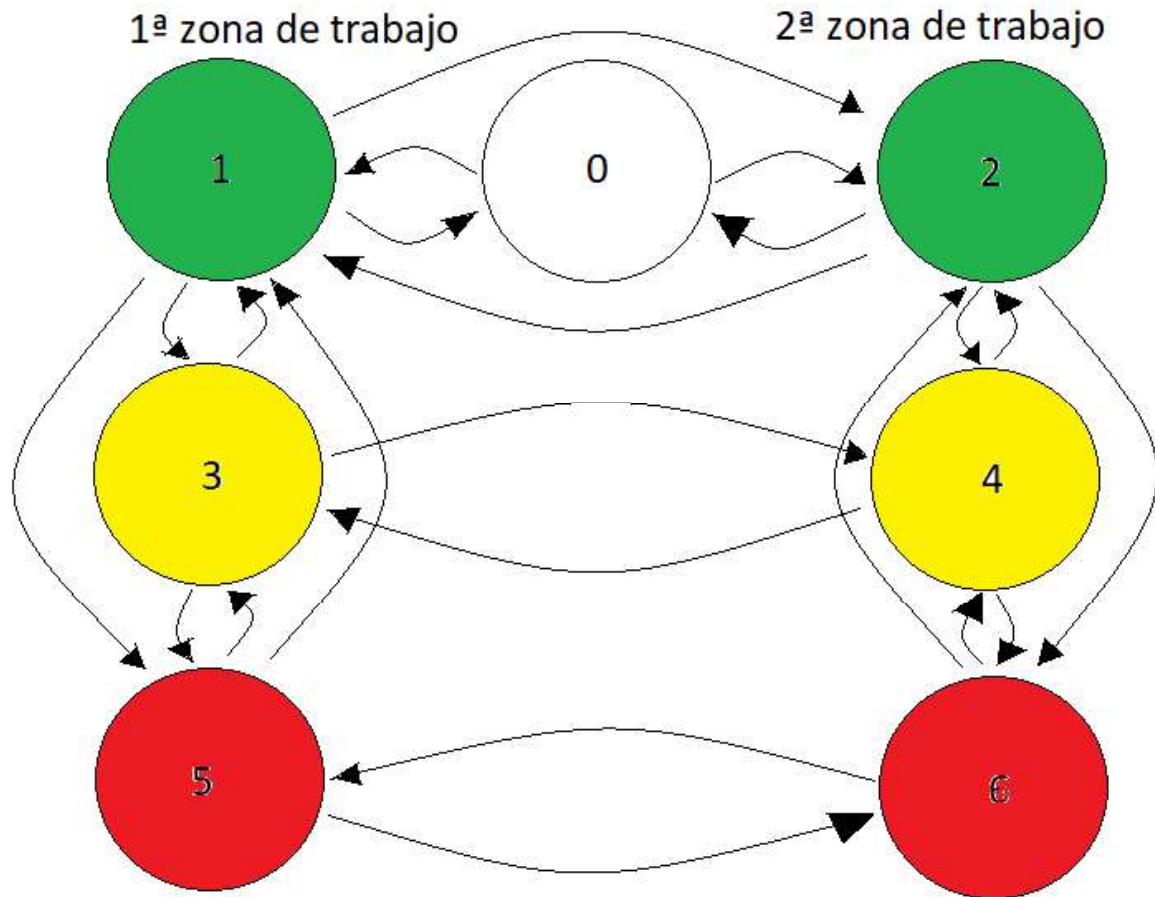


Figura 66. Diseño del software. Máquina de estados. Gestión de los diferentes niveles de iluminación

- Con la gestión automática del nivel de iluminación, para realizar cualquier cambio tendrá que pasar diez minutos en cada estado. De esa forma, se asegurará que el nivel de luz es adecuado en cada situación.
- Teniendo en cuenta que el modo de trabajo en la torre de control es por turnos, hay que dividir el trabajo de forma que la primera hora simule una luz azul claro durante el día y a la última hora simula un color anaranjado de la tarde. Para realizar la programación de este apartado, se hará un cambio lineal: En la primera hora, la longitud de onda sería de 500 nm y a la última hora de 700 nm. Según este gráfico hará simular los colores que interesan para el proyecto. En el caso de que llegue a

una situación de emergencia, el color de la iluminación volverá a ser de 500 nm, volviendo a un tono azul claro, de esa forma, aumentará la concentración de los trabajadores.



Figura 67. Rango del espectro visible. Fuente: (Vasos comunicantes, 2019)

Con el módulo LEDMOTIVE es posible y permite la programación para obtener cada uno de los colores.

- En el modo semiautomático, la gestión del color de la luz sigue siendo automática, por lo tanto, se realizaría el cambio de color como se había explicado antes. En cambio, se podría cambiar la iluminación de las luminarias con un regulador de rosca. Dicho regulador iluminaría del 0 % al 100 % de la iluminación disponible.
- En el modo manual, tanto la gestión del color de la luz como el nivel de iluminación es de forma manual. El control del nivel de iluminación se realiza como se describió en el apartado anterior. El control del color de la luz se haría también con otro regulador de rosca. De esta forma, la longitud de onda sería de 440 nm a 750 (que son los valores que el SPECTRA TUNE LAB podría manejar).
- También se podría manejar el cristal inteligente con un interruptor de pared táctil. En estado natural pasará la suficiente corriente para que el cristal inteligente sea transparente y por lo tanto pase toda la luz que genere la luminaria, cuando se de por

primera vez al interruptor, el cristal inteligente está medianamente difuso, por lo que pasaría el 50 % de la iluminación de las luminarias. Por último, cuando se pulsa por tercera vez, el cristal inteligente se volvería completamente difuso (no pasaría corriente eléctrica) y por lo tanto no pasaría gran parte de la iluminación de las luminarias. Y así si se vuelve a pulsar el botón, este ciclo se reiniciaría.

- Por último, hay un interruptor de pared que pararía todo el sistema de iluminación.

9.2 SISTEMA ELÉCTRICO

Para finalizar, se va a describir el circuito eléctrico, el cual es necesario para garantizar que el circuito de iluminación recibe la potencia requerida. Estos circuitos irán al cuadro general de baja tensión. Para realizar estos cálculos, se utilizará el programa Cypelec. En dicho programa se utilizó un centro de transformación de 25kVA, suficiente para la potencia requerida.

El circuito de iluminación se divide en un circuito que alimenta el SPECTRA TUBE LAB y otros cuatro que alimentarán a las luminarias. El circuito del SPECTRA TUBE LAB alimentará una carga de 240 W, ya que cada dispositivo tiene una potencia de instalación de 80 W. Por otro lado, como cada módulo LEDMOTIVE son de 16.7 W, los 120 módulos necesita una potencia de 2004 W. Por lo tanto, al dividirlos en 4, se utilizará una potencia de 501 W cada circuito.

Al final se necesitarán 5 cables con sus respectivas protecciones, como se verá en la siguiente imagen:

- Un cable de polietileno reticulado tetrapolar de sección 1.5 mm² con un interruptor magnetotérmico de 6 A.

- Un cable de polietileno reticulado tripolar de sección 25 mm² con un interruptor magnetotérmico de 6 A y un interruptor diferencial de intensidad marginal de 30 mA.
- Un cable de polietileno reticulado tripolar de sección 25 mm² con un interruptor magnetotérmico de 6 A y un interruptor diferencial de intensidad marginal de 30 mA.
- Un cable de polietileno reticulado tripolar de sección 25 mm² con un interruptor magnetotérmico de 6 A y un interruptor diferencial de intensidad marginal de 30 mA.
- Un cable de polietileno reticulado tripolar de sección 25 mm² con un interruptor magnetotérmico de 6 A y un interruptor diferencial de intensidad marginal de 30 mA.

El plano en el cuál se encuentra el unifilar que representa estas conexiones se puede encontrar en el anexo V.

10. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este apartado se explicará los resultados obtenidos durante el proyecto. También se contará la relevancia de estos.

10.1 DISEÑO DE LA LUMINARIA

Durante este proceso, se ha optado por elegir los materiales para mejorar la calidad de la luminaria. Esto es necesario para asegurar una óptima calidad de iluminación. Con esto se refiere a una iluminación que aporte los niveles necesarios y además poder evitar un deslumbramiento que afecte a la seguridad y salud de los trabajadores. Además, se ha decidido utilizar una iluminación centrada en la persona, por lo que de esa forma se aprovechará mejor la iluminación solar utilizando un método de iluminación dinámica. De esta forma, se realizará la iluminación necesaria en cada momento disminuyendo el gasto de energía. Los elementos necesarios para el diseño de la luminaria fueron:

1. El chip: En este caso, la fuente de iluminación fue el módulo de iluminación Ledmotive. Este módulo permite utilizar el espectro de luz natural. Éste es el elemento central en el que se trabaja este proyecto. Gracias a la utilización del controlador Ledmotive, se permite automatizar el color del led que se necesita en cada momento del día.
2. El driver: Es el aparato que transforma la tensión de entrada y la adapta a la tensión que necesita la propia luminaria. Para ello, utilizamos el dispositivo de Ledmotive Spectra Tune Lab.

3. Sistema de gestión del calor: El módulo Ledmotive permite la gestión del calor por sí mismo. De todos modos, se añadirá un disipador de calor, como se describió anteriormente.
4. La placa soporte: Es donde se sujetan todos los elementos de la luminaria. Como se ha descrito anteriormente, se utilizará una placa de dimensiones 60x60 cm.
5. La óptica de la luminaria: Controla de algunas características como el ángulo de apertura de la luz o la calidad de iluminación. Además, como se describió anteriormente, se añadió un cristal inteligente para tener mayor control sobre el nivel de iluminación.

10.2 DISTRIBUCIÓN DE TODOS LOS ELEMENTOS

Una vez diseñada la luminaria, queda decidir cómo realizar la instalación. En este proyecto, además de las luminarias, se necesita instalar el sistema eléctrico y electrónico. La instalación de las luminarias, además de los elementos electrónicos se encuentra en el anexo V.

11. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

A lo largo de este proyecto se ha podido comprobar las numerosas ventajas que ofrece la iluminación centrada en el ser humano frente a los sistemas de iluminación convencionales. En este apartado se hablará sobre los objetivos que se han cumplido, se discutirá como mejorará la vida de las personas frente al uso de las otras tecnologías y se analizará cómo será el futuro de la iluminación centrada en las personas.

11.1 OBJETIVOS CUMPLIDOS

Durante este proyecto se han cumplido los siguientes apartados:

5. Se ha investigado sobre cómo afecta la luz al ser humano, tanto física como psicológicamente. Además, se ha analizado la diferencia entre la iluminación de luz natural y la artificial y de esta forma se ha podido justificar la necesidad de que la iluminación esté centrada en el ser humano.
6. El diseño de la luminaria: Se ha obtenido una luminaria en el cual se ha optimizado su iluminación minimizando las pérdidas. Además, todo eso se ha realizado utilizando el módulo Ledmotive para que la iluminación sea centrada en las personas.
7. Se ha diseñado como se va a instalar la luminaria ya diseñada en el recinto. Se ha comprobado que este sistema cumple la normativa (con respecto a los niveles de luz como al deslumbramiento) y además se ha utilizado un sistema electrónico para mejorar tanto la comodidad del ser humano como la eficiencia del sistema.
8. Se ha diseñado los subsistemas necesarios para que sea posible el funcionamiento del sistema de iluminación. Dichos subsistemas consisten en un sistema electrónico (para conseguir una iluminación dinámica, en el que se pueda variar los niveles de iluminación y la temperatura del color de forma automatizada) y un sistema eléctrico (para obtener la potencia necesaria para que funcione todo el sistema).

11.2 VENTAJAS DE LA ILUMINACIÓN CENTRADA EN LAS PERSONAS

En este apartado se hablará de como este sistema mejorará los sistemas de iluminación ayudando a beneficiar el estado de salud de las personas y la eficiencia de las instalaciones:

1. Este sistema de iluminación disminuirá el déficit diario de iluminación en las personas.
2. Se podrá replicar los ritmos circadianos, lo que hará que los trabajadores mejoren su concentración, rendimiento y calidad de vida.
3. Al poder controlar el nivel de iluminación y temperatura del color, este sistema puede cubrir las necesidades emocionales de los trabajadores.
4. Además, se utilizará la luz natural, de forma que el sistema será más eficiente.

Con estos puntos, se puede dar constancia que un sistema de iluminación centrada en las personas es el sistema ideal para proteger a las personas con el mínimo coste.

11.3 TRABAJOS FUTUROS

Gracias a este proyecto, se ha comprobado lo beneficioso que es este sistema de iluminación en centros donde se realizan trabajos por turnos. Este tipo de trabajos son aquellos en los que, al necesitar una atención 24 horas, los trabajadores se rotan para cumplir todas las horas, por lo tanto, estarán expuestos a un cambio de ritmo y de iluminación al habitual.

Este proyecto se podrá extrapolar a otros trabajos, como la iluminación de un aeropuerto entero, un hospital o hasta la iluminación de una central nuclear. También se puede utilizar este tipo de iluminación para iluminar aviones transcontinentales y de esa forma evitar el jetlag y de salas anti-jetlag, que cumplen el mismo objetivo.

Todavía hay muchas posibilidades para utilizar la iluminación centrada en las personas. Pero se ha comprobado que puede mejorar la calidad de vida e implica a un ahorro energético y por lo tanto proporciona sistemas más baratos y disminuye la huella de carbono. De esta forma, la iluminación centrada en la persona es un sistema por el cual merece la pena apostar.

12. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Bonmatí, M., & Argüelles, R. (2015). La luz en el sistema circadiano. *Revista Eubacteria. Especial de Cronobiología*. N° 33, 9, 10.
- [2] Cristalfilm. (3 de Octubre de 2017). *Cristal inteligente (smart film) precio PDLC*. Obtenido de <https://www.pdlc.es/cristal-inteligente-pdlc/#:~:text=%C2%BFC%C3%B3mo%20funciona%3F,resultado%2C%20el%20cristal%20es%20opaco>.
- [3] efectoLED. (3 de Noviembre de 2017). *Qué es el UGR o Índice de Deslumbramiento Unificado*. Obtenido de <https://www.efectoled.com/blog/ugr-indice-deslumbramiento-unificado/>
- [4] García Placín, C. (2006). *HE.3 Eficiencia Energética de las Instalaciones de Iluminación*. Santiago de Compostela.
- [5] *Iluminación Centrada en el Ser Humano y los efectos no visuales de la luz*. (18 de Mayo de 2017). Obtenido de Iluminet. Salud y Biología: <https://www.iluminet.com/iluminacion-centrada-ser-humano/>
- [6] Iluminación Ibérica. (29 de Mayo de 2019). *MARCO DE EMPOTRAR PANEL 60X60 BLANCO*. Obtenido de <https://iluminacioniberica.net/marco-empotrar-panel-led-60x60>
- [7] Ledbox. (28 de Mayo de 2015). *Luminarias de alta calidad. Elementos fundamentales*. Obtenido de <https://blog.ledbox.es/informacion-led/luminarias-led-de-alta-calidad-elementos-fundamentales#:~:text=B%C3%A1sicamente%20los%20%20elementos%20fundamentales,Gran%20eficacia%20energ%C3%A9tica>

- [8] Ledbox. (14 de Julio de 2017). *Sistema Dali de iluminación*. Obtenido de <https://blog.ledbox.es/informacion-led/instalacion-de-luminarias/sistema-dali-de-iluminacion>
- [9] Ledmotive. (2020). *Ficha técnica. Gateway luminaire control. Light Hub*. Barcelona.
- [10] Ledmotive. (2020). *Ficha técnica. Light Engine for Scientist. Spectra Tune Lab*. Barcelona, España.
- [11] Ledmotive. (2020). *Ficha técnica. Multi Spectral Led Module. Vega 07*. Barcelona, España.
- [12] León, N. (16 de Junio de 2018). *Temperatura de Color: Qué Es y Cómo Sacarle Jugo en tus Fotos*. Obtenido de <https://www.dzoom.org.es/la-temperatura-del-color/>
- [13] López López, G. (2019-2020). *Futuro de la iluminación*. Madrid, Comunidad de Madrid, España.
- [14] *Niveles de iluminación recomendados*. (22 de Agosto de 2016). Obtenido de https://www.noao.edu/education/QLTkit/es/Safety_Activity_Poster/LightLevels_outdoor+indoor_es.pdf
- [15] *Niveles recomendados de iluminación por zonas*. (3 de Marzo de 2017). Obtenido de LedBox: <https://blog.ledbox.es/informacion-led/niveles-recomendados-lux>
- [16] Ramirez, D. (9 de Noviembre de 2018). *Fuentes de alimentación*. Obtenido de Electrocomponentes S.A.: http://www.sase.com.ar/2011/files/2010/11/SASE2011-Fuentes_de_alimentacion.pdf

- [17] *Torre de control del tráfico aéreo en el aeropuerto de Málaga (España)*. (12 de Junio de 2019). Obtenido de Aertec Solutions: <https://aertecsolutions.com/proyecto/torre-de-control-del-trafico-aereo-en-el-aeropuerto-de-malaga-espana/>
- [18] Torres Aguilar, G. (2011). Clasificación NEMA de luminarios tipo proyector para operar lámparas HID. *Iluminet*.
- [19] Vasos comunicantes. (26 de Abril de 2019). *El espectro visible de luz*. Obtenido de Galaxia musical: <https://bibliozacut.wordpress.com/2019/04/26/galaxia-musical-el-espectro-visible-de-luz/>
- [20] Weninger, J. (2019). Iluminación centrada en el ser humano: quo vadis. *Luminotecnica 145*, 21-25.

ANEXO I

OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS)

La iluminación centrada en la persona utiliza la iluminación solar para optimizar los sistemas. Eso beneficia a la sociedad en cuanto al ahorro energético. Por lo tanto, los objetivos de desarrollo sostenible que son cumplidos serán:

1. Energía asequible y no contaminante (Punto 7): El séptimo objetivo de las Naciones Unidas correspondiente a los Objetivos de Desarrollo Sostenible es respecto al acceso a la electricidad para los países que carecen de él. Estos son las principales metas (todas hacia el 2030):
 - Acceso a unos servicios energéticos eficientes y de calidad para todo el mundo.
 - Aumento en gran proporción de la energía renovable.
 - Duplicar la eficiencia energética.
 - Conseguir una cooperación internacional a favor de mejorar la infraestructura para apoyar las energías renovables y las menos contaminantes.
 - Facilitar la accesibilidad de estas tecnologías renovables y poco contaminantes a los países en vías de desarrollo.
2. Industria, innovación e infraestructura (Punto 9): El noveno objetivo de las Naciones Unidas correspondiente a los Objetivos de Desarrollo Sostenible se trata de desarrollar e innovar infraestructuras. El objetivo de estas innovaciones consiste en promover las nuevas tecnologías, mejorar la eficiencia de los recursos y hacer más accesible el comercio internacional. Las metas de este objetivo son las siguientes (hacia el 2030):
 - El desarrollo de infraestructuras para que sean sostenibles, fiables y de calidad para mejorar la economía y el bienestar humano.
 - Usar esas infraestructuras para aumentar la generación de empleo y de producto interior bruto.
 - Accesibilidad de empresas y pequeñas industrias, sobre todo en países en vías de desarrollo e integrarlos en el mercado.

- Invertir en industrias y procesos industriales limpios modernizando las infraestructuras.
- Fomentar la investigación científica que promueva infraestructuras sostenibles y que aumente las inversiones en los sectores públicos y privados en investigación y desarrollo.
- Aumentar el apoyo económico, tecnológico y técnico de sistemas e infraestructuras sostenibles en los países menos adelantados.
- Apoyo en investigación y desarrollo en una industria diversificada y añadir valor a los productos básicos.
- Acceso universidad a las tecnologías de comunicación e Internet.

Las infraestructuras y las estrategias de funcionamiento de este tipo de sistema de iluminación benefician el cumplimiento de estos objetivos. Eso es debido a que es un sistema que aprovecha la luz natural. Además, al automatizarse el nivel de iluminación de forma óptima, se consigue aumentar la eficiencia energética. De esa forma, se disminuye el consumo de electricidad, por lo que disminuiría la producción de energía con fuentes fósiles de energía. Todo eso, contribuye a que decrezca la huella de carbono y promueve también el desarrollo de infraestructuras sostenibles.

ANEXO II

FICHA TÉCNICA MÓDULO LEDMOTIVE.

VEGA 07



VEGA 07



Multi Spectral LED Module



DS 450005-03

www.ledmotive.com

DESCRIPTION

The VEGA 07 module is the most advanced light engine from LEDMOTIVE. It's built up with seven different colored (or channel) high output power LED to provide with a versatile multispectral light source in the visible range of the electromagnetic spectrum for smart lighting solutions. Light can be dimmed down to 5% of the full power for each color independently. The LED module can deliver either white light or any light spectrum from the modulation of each of its different channels separately. Being a standard LED technology, no warm-up time is required.

Embedded in the VEGA 07 module are the driver electronics for precise control of current, PWM and light output control, as well as an optical device for sensing purposes. A closed feedback loop allows for color matching with a target value and provides stability to avoid drifts in time due to thermal or ageing effects.



Figure 1. VEGA 07 side view

LED-BASED MODULE – FEATURES

- | | | |
|---|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • High power multi-spectral LED module engine • Built up with 7 different (colored) LED types • Independent color channel dimming • Optical feedback control with proprietary color science algorithms | <ul style="list-style-type: none"> • Precise, accurate and stable light emission • Light emitting surface of 23mm diameter • The default wired communication is based on the EIA-485 protocol using the LEDMOTIVE LIGHT HUB® device | <ul style="list-style-type: none"> • Compact system, includes LED drivers • Overheat temperature protection limit control • Software tools to analyze the thermal response of the luminaire and design preferred (dynamic or static) spectra available |
|---|--|---|

LED CHANNELS

The VEGA 07 module contains seven LED channels for multispectral reproduction. The spectral output covers the wavelength range from 420 nm to 730 nm as shown in Table 1 and Figure 2*.

Channel	Color	Peak Emission (nm)	Radiometric value (W)	Photometric value(lm)	FWHM (nm)
CH 1	Royal Blue	455	1.6	61	20
CH 2	Blue	470	17	154	29
CH 3	Cyan	495	2.2	526	29
CH 4	Green	520	1.2	599	33
CH 5	Lime	545	4.1	1904	110
CH 6	PC Amber	595	2.5	920	78
CH 7	Red	635	1.5	296	19

Table 1. LED channel physical description

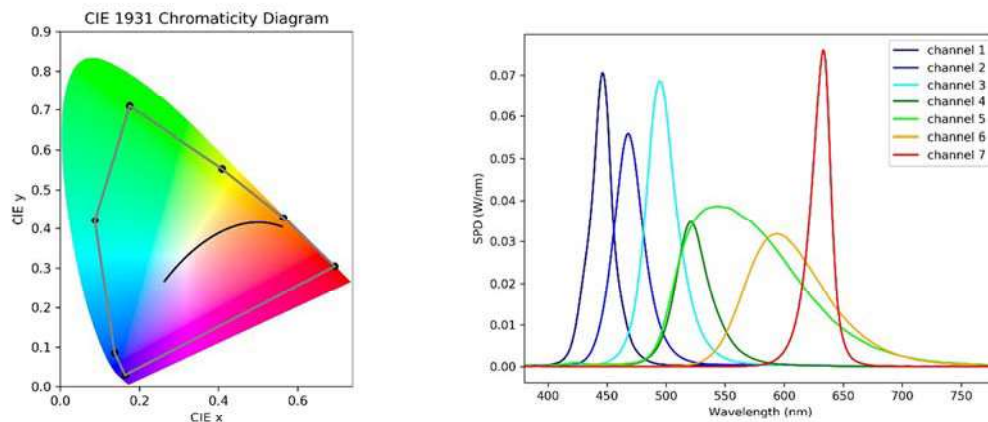


Figure 2. (left) CIE 1931 xy coordinates of the 7 channels that define the color gamut and (right) Spectral Power Distributions (SPDs) of each LED channel

Since the light output of the VEGA 07 module is generated by mixing 7 wavelength (color) channels, every spectrum is determined by 7 independent PWM signals. Consequently, the luminous flux is not constant across the 1931 CIE diagram. All active channels are mixed, providing with a smooth (uniform in color) light with a Lambertian pattern profile

* Measured at 25°C. Dominant wavelength and amplitude of some channel may vary slightly depending on bin availability at the moment of the manufacturing; however, the individual calibration of each VEGA 07 module would be taken in account internally to correct any eventual deviation and produce the desired spectrum.

SPECTRAL MODULATION

Figure 3 shows the product performance based on two different spectral modulations* that reproduce a blackbody radiation curve at two different temperatures such as 2700 K and 6500 K:

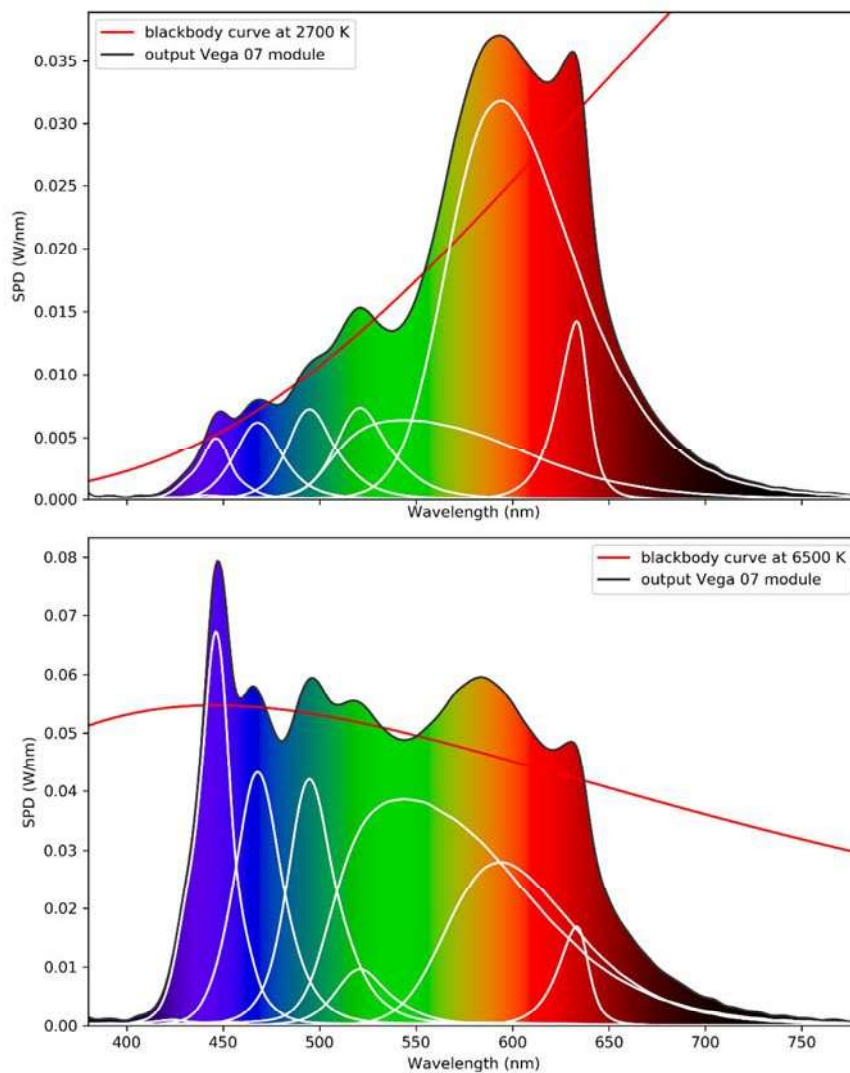


Figure 3. Example of two different spectral fittings using a blackbody radiation at 2700 K and 6500 K

* calculations are based using LEDMOTIVE proprietary software (MOTO® and CYCLO®)

COLORIMETRIC RESULTS: COLOR MATCHING AND STABILITY OVER TIME

The typical color matching and stability is shown in Figure 4 and is based on a variety of different Correlated Color Temperatures (CCTs). The typical colorimetric response with the optical feedback loop enabled is $Duv' < 5 \times 10^{-3}$. All results are within the 4th step Mac Adam circles and in some cases within the 2nd Mac Adam circle from the ANSI C78.377-2015 specifications.

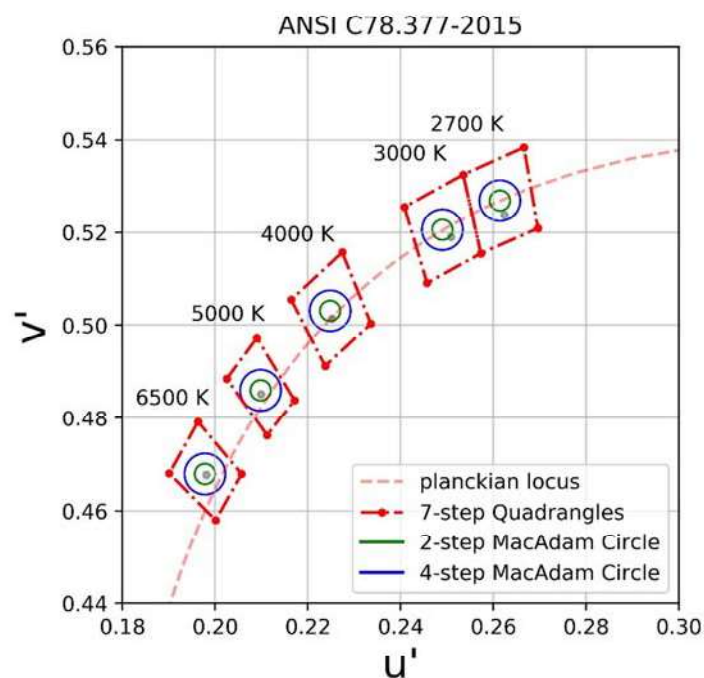


Figure 4. Color Matching and Stability response. Tolerance of ± 0.005 on u' and v' coordinates in the CIE 1976 colorspace

PHOTOMETRIC DATA

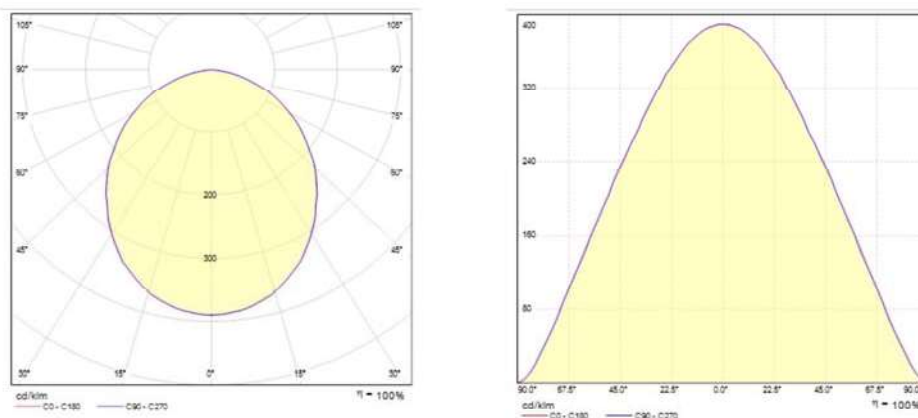


Figure 5. Light distribution

ELECTRICAL SPECIFICATIONS

Nominal Input Voltage	24 V DC (Constant Voltage) $\pm 5\%$
Max. Power Input *	80 W (limited by firmware)
Max. Current Input *	3.3 A** (limited by firmware)
Power and data connector	MOLEX 43025-0409
Data communication (A, B) control	LEDMOTIVE proprietary protocol ***

Table 2. Electrical specifications

Figure 6 shows the schematics of the VEGA07 module displaying its different types of connectors and wiring connections. The 12 V denotes a fan power output, a 24V denotes an external power supply output and the A, B denotes the control communication signal entry points.

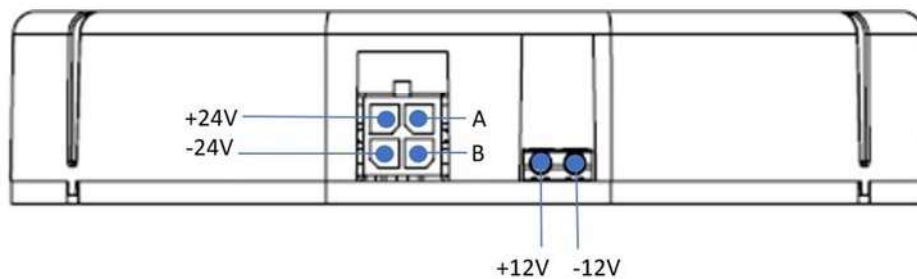


Figure 6. Wiring Schematics

The module includes a fan power connector in case an active cooling fan is attached to a heat sink and the LED module

Fan output voltage	12 V DC (Constant Voltage)
Fan power connector	MOLEX 104238-0210
Max fan output current	100 mA****

Table 3. fan connector details

* Max Power Input and Max Current Input are absolute values, with all channels at its maximum level, which represents a spectrum outside the blackbody locus. Practical maximum values will depend on the features of the target spectrum (CRI, CCT, Rf, etc.). See pag. #12 for some examples.

** fuse protection at 4.0 A

** based on a communication bus EIA-485 (also known as RS-485)

*** resettable fuse at 25°C

MECHANICAL DIMENSIONS

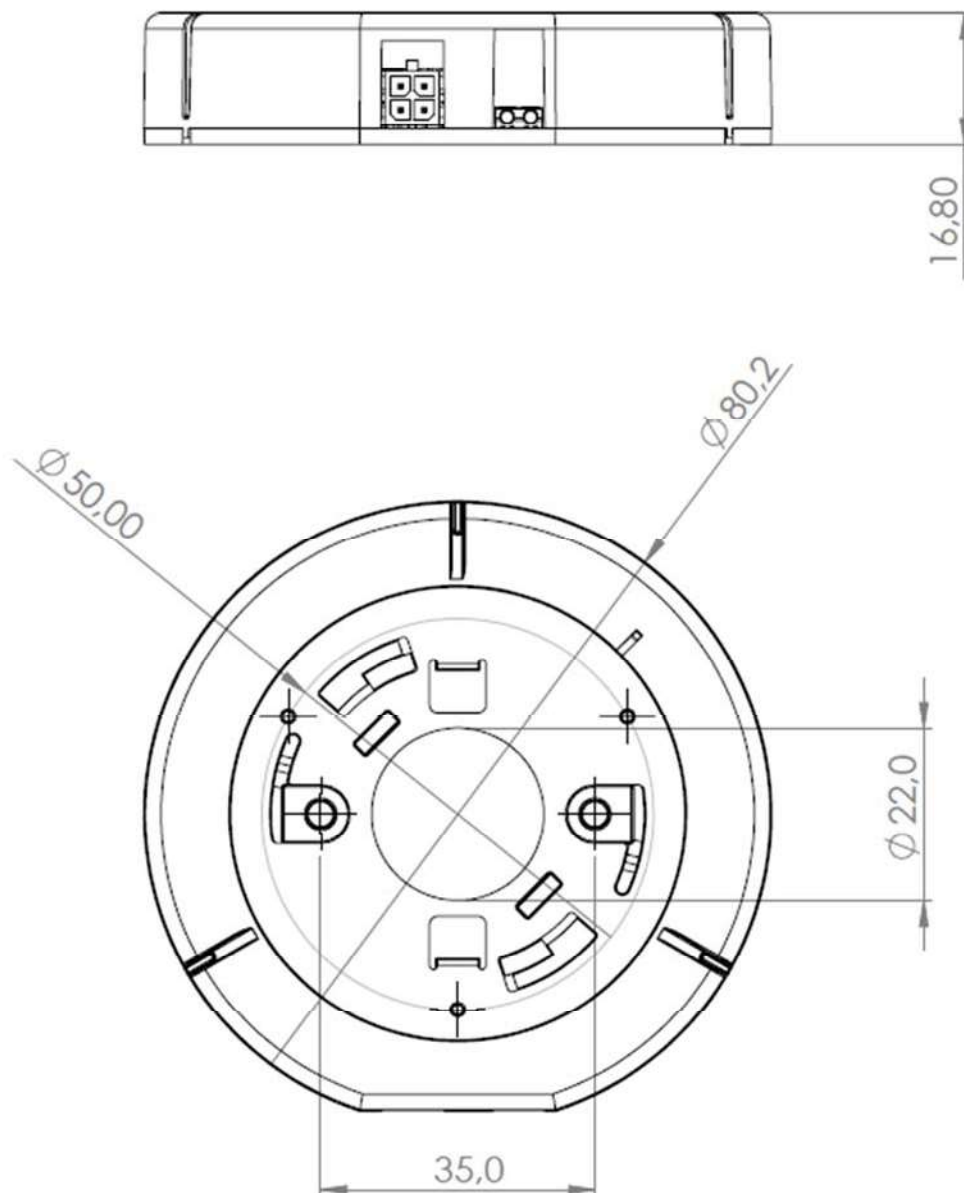


Figure 7. All dimensions are in millimeters (mm)

COMPATIBILITY WITH REFLECTORS

The VEGA 07 module is compatible with LES 23 reflectors (Light Emitting Surface).

The product is also compatible with the following adapters:

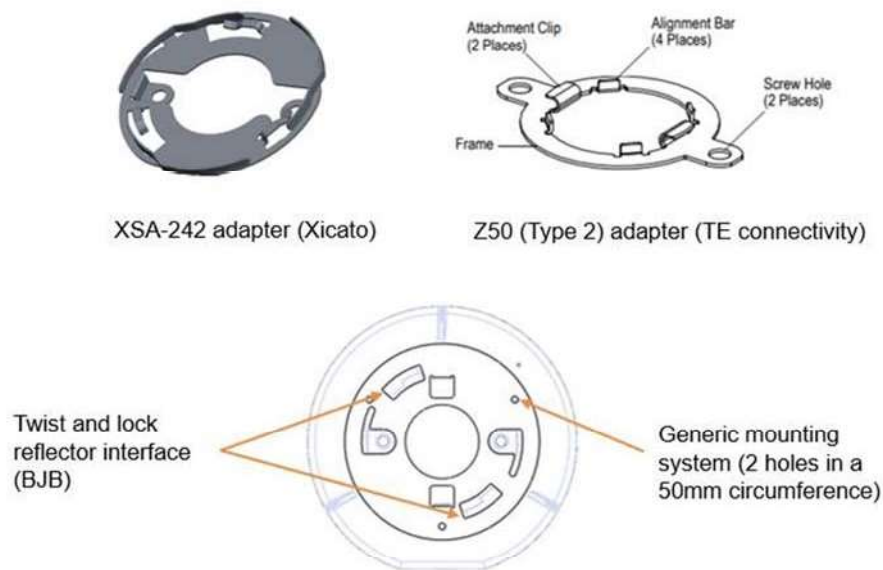


Figure 8. Compatibility with commercial adapters

THERMAL MANAGEMENT

A cooling component is needed to dissipate the heat away from the base of the VEGA 07 module. Either a passive heat sink or an active cooling with a fan can be used depending on a fixture size restriction. Active cooling is generally smaller but has moving parts while passive cooling is bigger and heavier.

VEGA 07 generates a maximum of 45 thermal power (W). The maximum temperature in the check point is indicated in Figure 9 and should not be higher than 80 °C

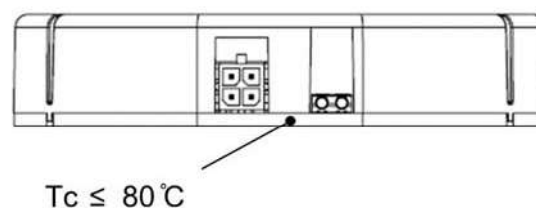


Figure 9. Thermal check point

HEAT SINK MOUNTING INTERFACE

The mounting holes for the heat sink are according to the Zhaga standard (book 10) with two holes 35 mm apart, as shown in Figure 10. Based on the current experience LEDMOTIVE recommends using heat sinks with thermal resistance $< 0.5\text{C/W}$.

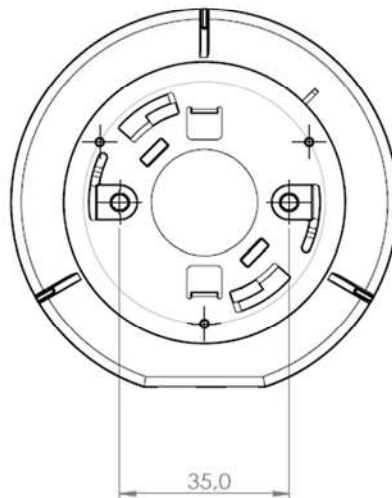


Figure 10. Mounting holes for the heat sink

HEAT SINK DIMENSIONING

In order to maximize the luminous flux, a proper heat sink needs to be selected accordingly.

As a reference value, testing* has been carried out to provide a reference value. A heat sink with a heat resistance of $R_{hs} \leq 1.2\text{C/W}$ * should be used. It is recommended to use thermal interface material between the module and the selected heat sink to reduce the thermal impedance. The heat dissipation is dependent of many variables such as the desired output spectrum, the dimming level, the luminaire design, the location of the luminaire in the ceiling, etc. Therefore, is it highly recommended to perform a test at least in the final luminaire configuration.

A specific software to check the thermal behavior has been developed and it's available under request.

* performed at ambient temperature of 25°C , with a 4000K spectrum at $\text{CRI} > 95$, using a thermal compound of 2.9W/mK between the module and the heat sink.

PCB THERMAL PROTECTION

The VEGA 07 module incorporates an automatic temperature check and control algorithm for protection. This protection control* is enabled by default from the factory. In an unlikely event of PCB overheating (fan or dissipation failure, poor heat dissipation due to wrong dimensioning, harsh environments, etc.), the VEGA 07 will automatically reduce its luminous flux and consequently its consumed electrical power to keep the temperature within a safety range and to protect its components. In this way, the optimal working conditions that warrant the lifespan of the LED engine and its components are always preserved.

* when PCB temperature raises over 80°C

FEATURES – SUMMARY GENERIC

Source type	Multiple high-power colored LED
Max Luminous Flux * **	4460 lm
Spectral range	420-730 nm
Light output pattern	Lambertian
Operating temperature range	0 °C to +35 °C
Synchronous operation mode speed	250 milliseconds
Color feedback control available	Yes
Thermal control available	Yes
Power protection available	Yes
Nominal input voltage	24 V DC (Constant voltage) $\pm$ 5%
Max input current **	3.3 A (limited by firmware)
Max input electrical power **	80 W (limited by firmware)
Communications protocol	Bus EIA-485
Dimensions (mm)	Ø82.5 x 16.6 mm
IP	20
Isolation class	II

Table 4. Summary of features

* Max Luminous Flux at 25°C

** Max Luminous Flux, Max input current and Max input electrical power are absolute values, with all channels at its maximum level, which represents a spectrum outside the blackbody locus. Practical maximum values will depend on the features of the target spectrum (CRI, CCT, Rf, etc.). See pag. #12 for some examples.

FEATURES – EXAMPLES AT DIFFERENT CCT

Table 5 shows some examples of the output results from different CCT's settings optimized for $R_f > 90$ and extracting the spectral shape with the highest flux using MOTO® software tool.

CCT	Flux (lm) *	Electrical Consumption (W)	lm/W
2700	2850	48	59
3000	3100	53	58
4000	3450	65	53
5000	4000	78	51
6500	3200	66	49

Table 5. Output values for different CCT settings using MOTO® proprietary optimization software

Figure 11 displays the TM30 results for those spectral shapes

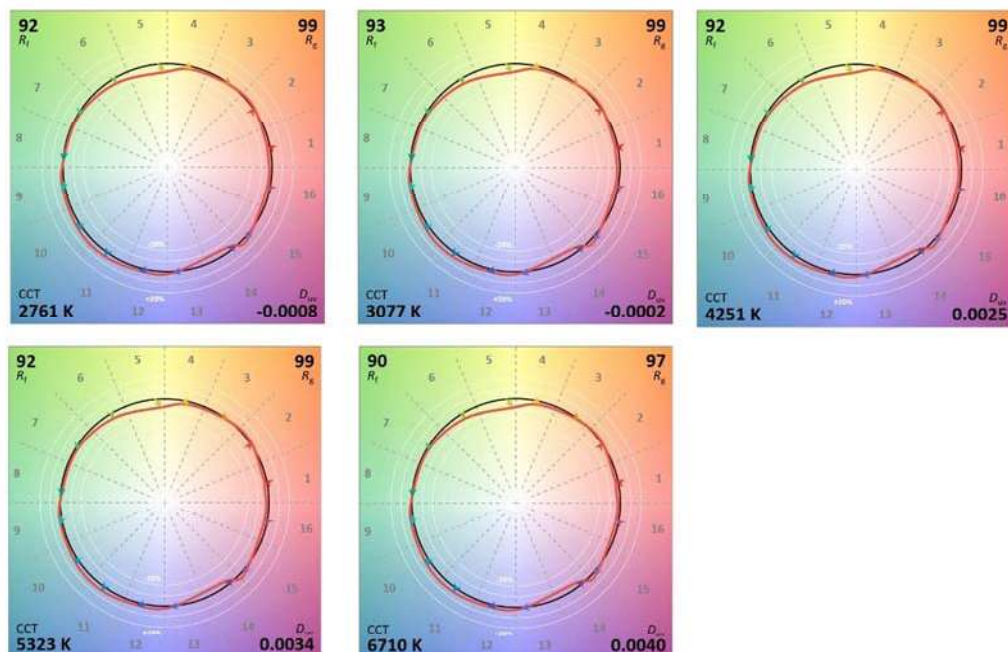


Figure 11. TM30 visualization for the previous spectra

* Luminous Flux at 25°C

MAINTENANCE AND SERVICE

- Do not open, disassemble or manipulate the VEGA 07 LED-based module.
- If a fingerprint mark or dirt is observed at the diffuser, you may clean it. Before cleaning, disconnect from the main supply and allow the system to cool down. Wipe the surface of the diffuser gently with a tissue containing ethanol.
- No user serviceable parts inside. Replacement of the entire VEGA 07 is required when malfunction may occur.

WARNING AND SAFETY

- Always adhere to safety instructions and warnings
- Before installing, servicing, or performing routine maintenance upon this product, follow the general precautions and use common sense.
- All necessary measures must be taken to avoid electric shock when handling electrical and/or electronic equipment. In case of doubt disconnect the main power supply from the unit when handling electrical equipment.
- All statements regarding safety of operation, warranty and technical data only apply when the unit is operated correctly according to its specifications. The safety of any system incorporating the equipment is the responsibility of the assembler of the system.
- The VEGA 07 unit is intended for use in dry interiors only. It is not water resistant and must be protected from adverse weather conditions (hot and humid).
- Keep away from flammable materials. To avoid damage, do not expose it to spray, liquids or chemical products.
- Do not cover the optical output from the VEGA 07 unit with an adherent film or any other plastic film.
- Although the VEGA 07 does not contain UV light, the visible light is very intense when the unit is powered at the maximum capabilities. Avoid staring directly into the LED light source for long exposures and short distances.
- Ensure that heat sink fins and/or fans are not obstructed to avoid overheating and possible malfunction of the unit.
- During normal operation, the unit can reach high temperatures. Be careful when handling it to avoid skin burning. It is recommended to switch off and wait for an optimal cooling time.
- Do not operate the VEGA 07 unit when suspected there are missing or damaged components.

ENVIRONMENTAL AND DISPOSAL COMPLIANCE

- LEDMOTIVE is committed to provide environmentally friendly products to the solid-state lighting market. VEGA 07 is compliant to the European Union directives on the restriction of hazardous substances in electronic equipment, namely the RoHS Directive 2011/65/EU and REACH Regulation (EC) 1907/2006.
- LEDMOTIVE will not intentionally add the following restricted materials to its products: lead mercury, cadmium, hexavalent chromium, polybrominated biphenyls (PBB) or polybrominated diphenyl ethers (PBDE).
- In accordance with EU Directive WEEE (Waste Electrical and Electronic Equipment), LED modules must not be disposed of with another household waste.
- At the end of their life, it must be taken to the appropriate local facility available for the disposal or recycling of the electronic parts.

WARRANTY

This product has passed the proper EU regulations and directives.

LEDMOTIVE offers a three-year limited warranty

DISCLAIMER

This document is intended for all audiences. The material herein is provided "AS-IS" and LEDMOTIVE makes no warranty of any kind regarding this material.

LEDMOTIVE shall not be liable for errors and omissions contained herein.

All product specifications and data included in this document are subject to change without notice to improve operation, reliability, design or otherwise.

COPYRIGHT & TRADEMARK

© 2020, Ledmotive Technologies S.L, all rights reserved.

Any unauthorized work, review, copy, translation and distribution of this material is strictly prohibited.

LEDMOTIVE, LIGHT CREATOR, MOTO, CYCLO and LEDMOTIVE LOGO are trademarks of Ledmotive Technologies S.L. The trademarks may be used either alone or in combination with a further product designation.

Nothing in this publication is intended to make representation regarding whether any trademark is registered or to suggest that any sign other than those mentioned should be a trademark of Ledmotive Technologies S.L. or any third party.

ANEXO II

FICHA TÉCNICA DRIVER LEDMOTIVE. SPECTRA TUNE LAB



SPECTRA TUNE LAB



Light Engine for Scientists



DS 450003-02

www.ledmotive.com

DISCLAIMER

This document is intended for all audiences. The material herein is provided "AS-IS" and LEDMOTIVE makes no warranty of any kind regarding this material.

LEDMOTIVE shall not be liable for errors and omissions contained herein.

All product specifications and data included in this document are subject to change without notice to improve operation, reliability, design or otherwise.

COPYRIGHT & TRADEMARK

© 2017, Ledmotive Technologies S.L, all rights reserved.

Any unauthorized work, review, copy, translation and distribution of this material is strictly prohibited.

LEDMOTIVE, LIGHT CREATOR and LEDMOTIVE LOGO are trademarks of Ledmotive Technologies S.L. The trademarks may be used either alone or in combination with a further product designation.

Nothing in this publication is intended to make representation regarding whether any trademark is registered or to suggest that any sign other than those mentioned should be a trademark of Ledmotive Technologies S.L. or any third party.

DESCRIPTION

The SPECTRA TUNE LAB device is the most versatile LED light engine from LEDMOTIVE. The system can deliver either white light or any light spectrum obtained from the modulation of each of its different wavelength channels. No warm up time is required, and light can be dimmed from 0% to 100% for each channel with a resolution depth of 12 bits (4096 steps).

The standard SPECTRA TUNE LAB is equipped with 10 different types of colored LEDs. Optionally, the customer can tailor its own wavelength configurations (up to 12 different LED channels) by filling a *Customer Special Request* form.

LEDMOTIVE patented technology (Patent PCT/EP2011/050002) warrants spectral precision and accuracy as well as stability over time, through a CMOS-based onboard spectroradiometer.

The system can emit different spectrum every 10 milliseconds on average¹.



Figure 1. SPECTRA TUNE LAB
front and rear view

SPECTRA TUNE LAB – Features

- High power multi-spectral LED light engine
- Independent color channel dimming
- Precise, accurate and stable light emission
- Fast spectral transition in asynchronous operation mode
- Compact and light weight system
- No warm up required
- Mounting accessories compatible w/ standard optical tables & ¼ thread for tripod mounting
- Compatible with LIGHT CREATOR© digital light IoT and spectral sharing platform
- µWAVE Software© with the SPECTRA TUNE LAB basic operation controls
- Optional: RESTful API
- Optional: C-mount adaptor that allow to connect standard compatible light guide connectors
- Multiple SPECTRA TUNE LAB can be connected in serial using the data in, data out connector

LED-ENGINE: STANDARD CONFIGURATION

Below is a summary of the standard configuration. Values may change slightly depending on the current availability of the different wavelength (color) or flux bins.

Channel	Nº of LEDs	Color	Peak Emission (nm)	radiometric value (W)	Photometric Value(lm)	FWHM (nm)
CH 1	2	UV	429	0.74	13.4	16
CH 2	2	Royal Blue	446	0.95	35.8	22
CH 3	3	Dark Blue	465	0.94	73.9	27
CH 4	3	Blue	475	0.89	97.5	27
CH 5	5	Cyan	505	0.98	319.3	34
CH 6	5	Green	525	0.77	389.2	37
CH 7	10	Lime	550	2.75	1256.4	115
CH 8	12	PC Amber	595	2.76	990.9	81
CH 9	2	Red	638	0.62	101.9	21
CH 10	4	Deep Red	660	1.25	81.4	23

Figure 2. Generic features of the standard SPECTRA TUNE LAB light engine

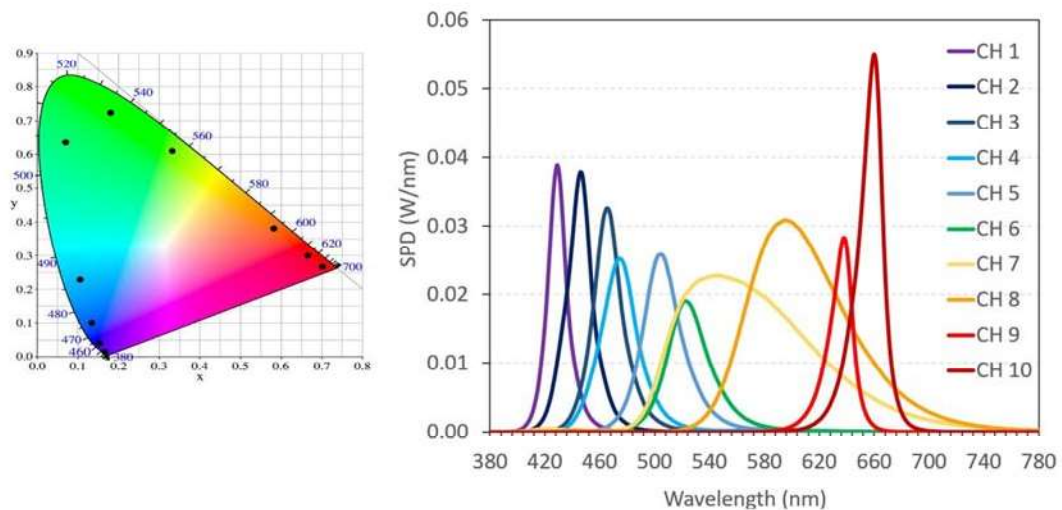


Figure 3. (left) CIE 1931 xy coordinates of the 10 channels that define the color gamut and (right) Spectral Power Distributions (SPDs) of the LED channels

All active channels are mixed at the exit plane of the LED module, which provides the SPECTRA TUNE LAB with a smooth (highly uniform in color) light with a Lambertian pattern profile.

SPECTRAL MODULATION

Example of two different spectral modulations that best reproduce a blackbody radiation curve at two different temperatures (2700 K and 6500 K):

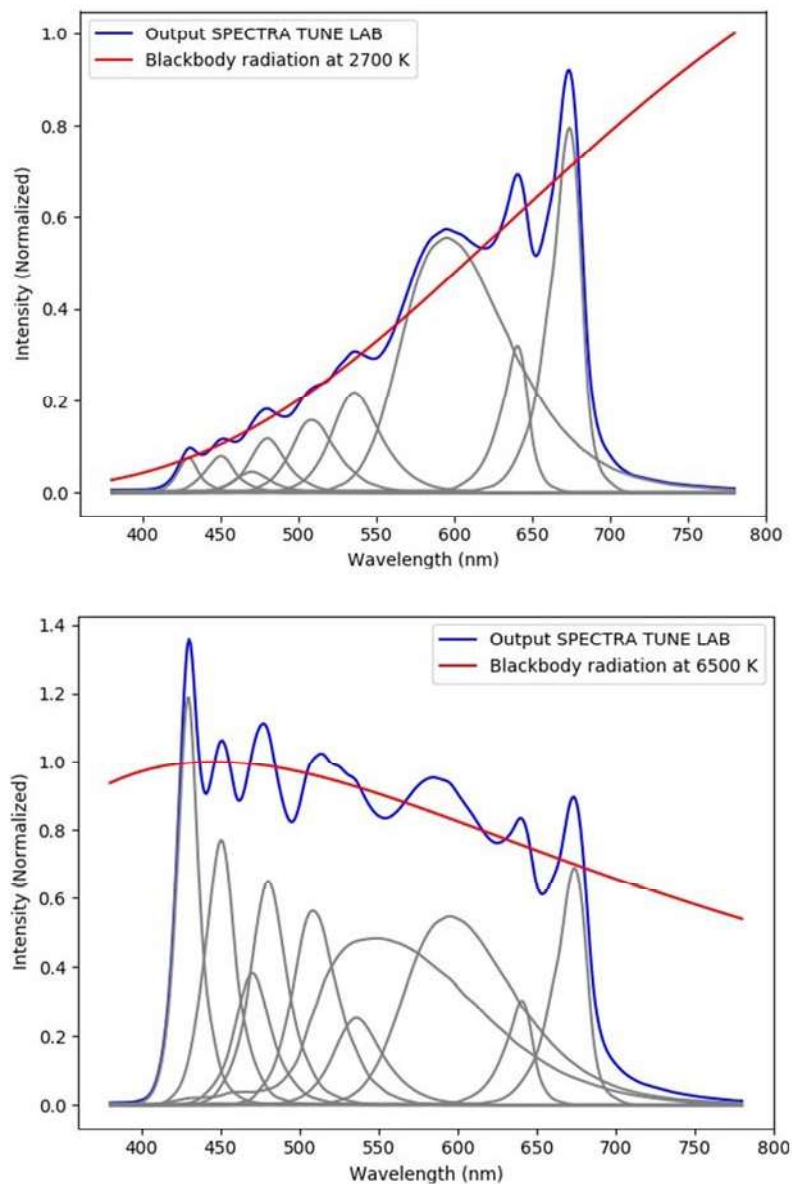


Figure 4. Example of two different spectral fittings (2700 K and 6500 K blackbody radiators)

LED-ENGINE: CUSTOMER SPECIAL REQUEST

Even though the standard version comes with 10 wavelength channels, the SPECTRA TUNE LAB has indeed 12 physical drivers which can be grouped in different channels. Each of these drivers can control a specific number of LEDs as shown in the table below.

Physical Driver	Nº of LEDs	LED type
Dr 1	2	See Table A
Dr 2	2	See Table B
Dr 3	3	
Dr 4	3	
Dr 5	5	
Dr 6	5	
Dr 7	5	
Dr 8	5	
Dr 9	6	
Dr 10	6	
Dr 11	2	
Dr 12	4	

Table A	peak wavelength range
UV-VIS	from 380 nm to 425 nm
VIS	from 440 nm to 670 nm
NIR	850 nm, 940 nm

Table B	peak wavelength range
VIS	from 440 nm to 750 nm

Figure 5. Different types of LEDs and number of LEDs in each driver for a Customer Special Request option

Based on a Customer Specific Request (CSR), different wavelength channel arrangements can be ordered to build a customized light engine, with wavelength channels spanning from the long ultraviolet to the near infrared (please contact sales for a quotation). Further developments may require a full new design of the LED PCB and need to be discussed in detail with our technical team.

Please contact our Sales team at sales@ledmotive.com to find out more about how to define your special requests and get the perfect multi-channel solution that suits best your needs.

SPECTRAL PRECISION, ACCURACY and STABILITY

LEDMOTIVE patented technology allows the SPECTRA TUNE HCL to emit light spectra with **unprecedented accuracy and precision**. It also offers perfect stability over time thanks to the on-board CMOS spectrophotometer and the associated **feedback loop control algorithms**.

The proper indicator for the goodness of a spectral fit is the Mean Absolute Percentage Deviation (MAPD). The MAPD gives an idea of the percentage error measurement between a target spectrum (after applying a non-negative least square method to the channel's PWM signal) and the measured spectrum. The MAPD expression is given by

$$MAPD = \frac{100}{n^{\circ} \text{ of points}} * \sum_{i=0}^{n^{\circ} \text{ of points}} \left(\frac{SPD^i_{actual} - SPD^i_{target}}{SPD^i_{target}} \right)$$

The table below shows MAPD values obtained from different light spectra and output powers. When the feedback loop is enabled, a significant improvement can be seen and a very low MAPD is obtained.

Spectral errors are kept below 3% with the optical feedback ON. In cases, this translates into color deviations Duv' lower than 10⁻⁴ or well below a 4-step Mac Adam (ANSI C78.377-2015 specifications).

MAPD	W/O feedback loop	W/ feedback loop	Duv' (color matching feedback)	% improvement
TEST spectrum 1- low power	4	3	8.00E-04	25%
TEST spectrum 1- medium power	2	2	9.00E-04	0%
TEST spectrum 1- high power	3	2	2.30E-03	33%
TEST spectrum 2- low power	6	4	3.50E-03	33%
TEST spectrum 2- medium power	3	2	4.00E-04	33%
TEST spectrum 2- high power	2	2	8.00E-04	0%
TEST spectrum 3- low power	8	4	4.70E-03	50%
TEST spectrum 3- medium power	3	2	5.00E-04	33%
TEST spectrum 3- high power	2	2	2.00E-03	0%

Figure 6. MAPD values for different spectra with and without the feedback loop control respectively and its % of improvement

SPECTRAL SWITCHING TIME

The SPECTRA TUNE LAB works in synchronous mode by default.

In this mode, the SPECTRA TUNE LAB acknowledges receipt of all the commands sent by the LIGHT HUB before it accepts a new instruction, so that “collisions” between messages can be detected and duly corrected. Typical response times of this operation mode is 250 milliseconds approximately. Most of the commands in the SPECTRA TUNE LAB are programmed to work in synchronous mode.

Whenever the application requires fast switching times, the SPECTRA TUNE LAB can be set to work in asynchronous mode². In that case, the SPECTRA TUNE LAB does not send an acknowledge receipt signal to the LIGHT HUB, making it possible a sort of spectral streaming in real time. Typical average time between consecutive light spectra operating under the asynchronous mode is less than 10 milliseconds (1 spectrum every 10 milliseconds).

THERMAL PROTECTION

The SPECTRA TUNE LAB incorporates a temperature protection control that is enabled by default. In the unlikely event of PCB overheating (fan or dissipation failure, harsh environments, etc.), the LED module will automatically reduce its luminous flux and consequently the consumed electrical power to keep the temperature within a safety range. In this way, the optimal working conditions that warrant the lifespan of the LED engine and its components are always preserved.

ELECTRICAL SPECIFICATIONS

Nominal Input Voltage	24 V DC (Constant Voltage) $\pm 5\%$
Max. Power Input	80 W (limited by firmware)
Max. Current Input	2.5 A* (limited by firmware)
Data connector	RJ9
Data communication control	LEDMOTIVE proprietary protocol**

* fuse protection at 3.5 A

** based on a communication bus EIA-485 (also known as RS-485)

Together with the SPECTRA TUNE LAB, a power adaptor is provided to convert from a 100-240 V AC, 50/60 Hz, 1.3 A to a 24 V DC, 3.75 A (90 W max) used in the light engine and another power adaptor to convert from a 100-240 V AC, 50/60 Hz, 1.3A to a 5 V DC, 2.4 A (12 W max) used in the LIGHT HUB.

CONTROL SOFTWARE

With every SPECTRA TUNE LAB, a PC/Laptop a μ WAVE Software© license is provided to control the device properly. For research applications that need advanced programmatic functionalities please check the optional RESTful API described in *Appendix 2*).

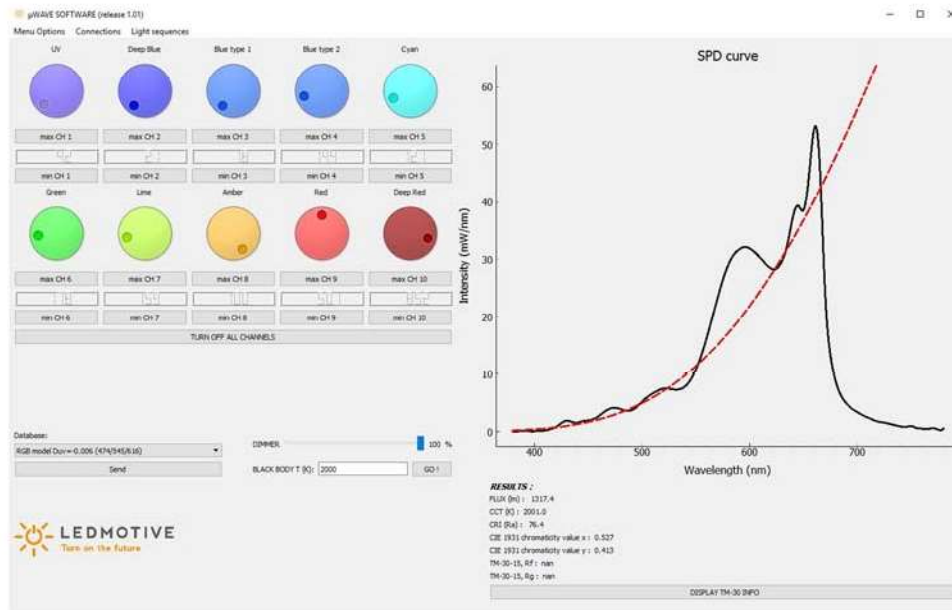


Figure 7. Screenshot of the μ WAVE Software

Computer requirements:

- 64-bit Operating System
- Windows version; preferred WIN 8 and above

Features:

- Change the amplitude of each channel to create a specific spectrum
- Dim the light output
- Save and import light spectra
- Playback spectra from the spectral database
- Create, save and reproduce light sequences (dynamic streaming of light spectra) by adding different light spectra to the sequence pool

Please contact our sales team at sales@ledmotive.com if an executable version with special requests (MAC version or 32-bit OS) is needed.

OPTIONAL: RESTful API

To provide the user with full programming flexibility in the operation of the SPECTRA TUNE LAB, a RESTful API is available for the LIGHT HUB. The LIGHT HUB can be accessed using the HTTP protocol under any programming language (C, C++, C#, Python, MATLAB, Java, JavaScript, etc.).

Some details are provided in *Appendix 2*, but an Application Note explaining in full the RESTful API commands is available on request. Please contact the sales team at sales@ledmotive.com to request a quotation on this optional item.

PRODUCT PARTS

The SPECTRA TUNE LAB includes the following Hardware and Software items:

- **Spectrally tunable** LIGHT ENGINE & power adaptor
- LIGHT HUB & power adaptor
- Standard optical tables compatible mounting holes adaptors
- Communications cable
- End-of-line (EOL) device
- USB cable
- μ WAVE Software©
- IP67 rugged carrying suitcase

OPTIONAL:

- C-mount adaptor
- RESTful API



Figure 8. SPECTRA TUNE LAB IP67 carrying suitcase

DIMENSIONS (in mm)

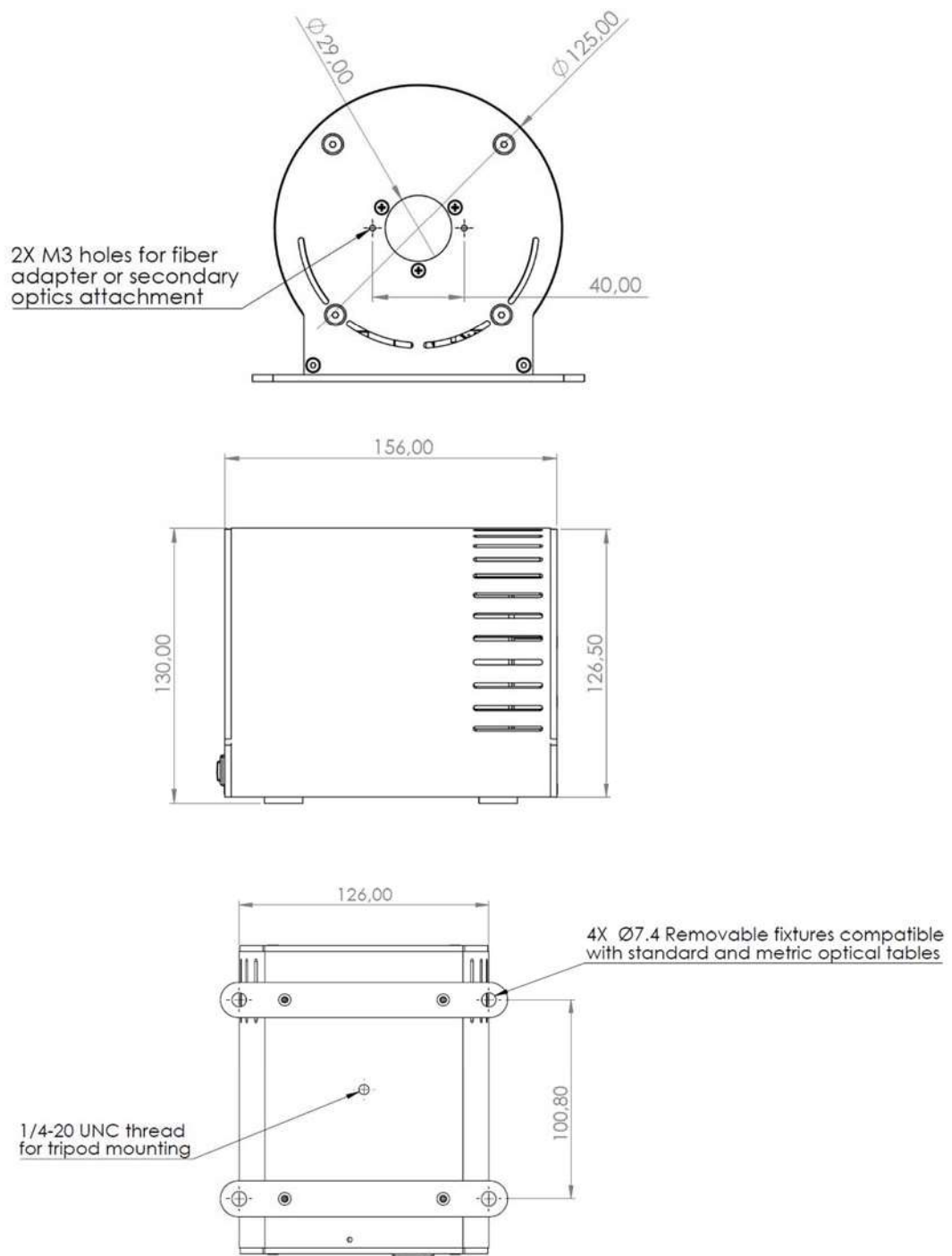


Figure 9. SPECTRA TUNE LAB dimensions

OPTIONAL: C-MOUNT ADAPTOR

LEDMOTIVE can provide a C-mount adaptor to attach it to the SPECTRA TUNE LAB optical area.

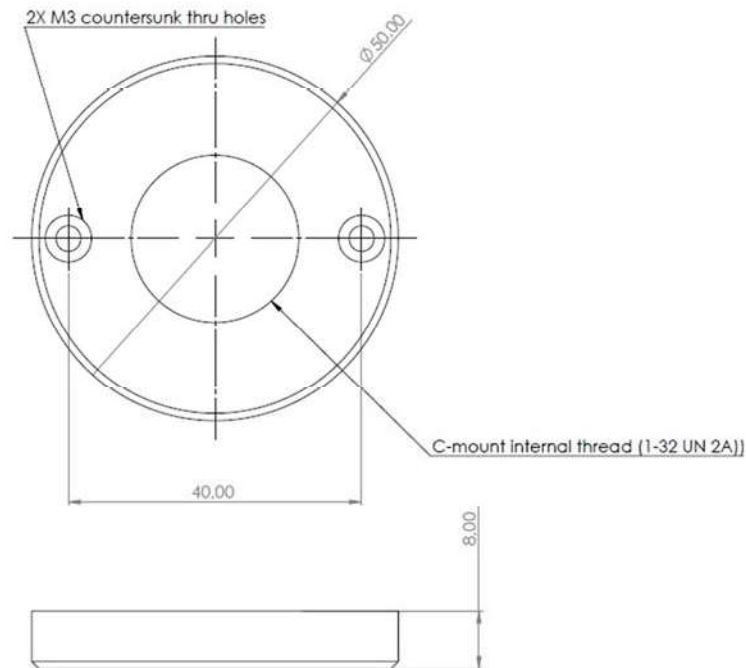


Figure 10. C-mount adaptor dimensions

C-mount is a market standard in optics. This C-mount adaptor is designed to allow the connection of compatible standard light guide connectors (Liquid Light Guide and/or Optic Fiber) to the SPECTRA TUNE LAB. Please contact our sales team at sales@ledmotive.com for further information.

QUICK START - OPERATING INSTRUCTIONS

1. Connect all the items together as shown below

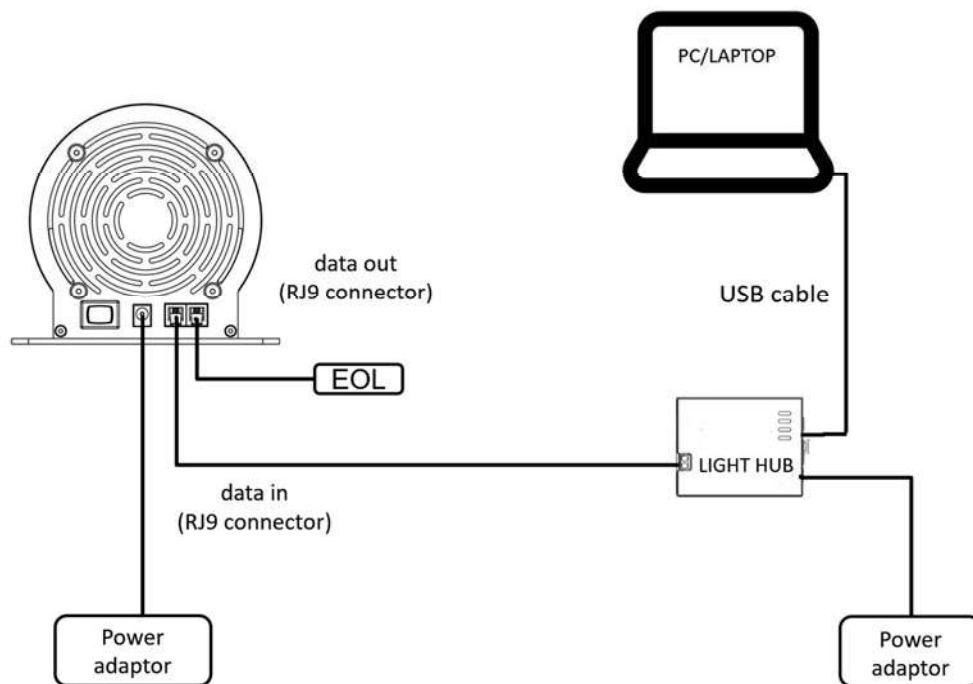


Figure 11. Schematics of the SPECTRA TUNE LAB connections. Instead of a USB cable, an ethernet cable can be used to connect a PC and the LIGHT HUB (not provided)

2. Make sure the End-Of-Line (EOL) is connected to the data out connector
3. Connect all power adaptors to the main electrical socket
4. TURN ON the device
5. Run the provided Control Software
6. Play and discover what you can do with the SPECTRA TUNE LAB

There may be cases when several SPECTRA TUNE LAB are being used together with the same LIGHT HUB. In this case it is possible to connect different devices in serial as show in *Figure 12* using the data in-data out connections.

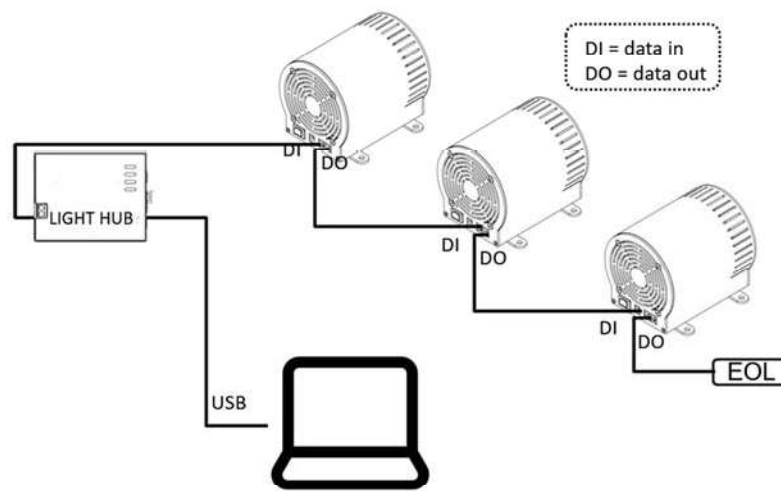


Figure 12. Schematics on how several SPECTRA TUNE LAB devices can be connected.

As part of a Customer Special Request, a Wi-Fi LIGHT HUB can be used to reduce the number of cables. Please contact our sales team at sales@ledmotive.com for further information.

FEATURES - SUMMARY

Source type	Multiple high-power LED
Output	10 different spectral bands
Max Radiometric Power	12.7 W (all channels at full power) ³
Max Luminous Flux	3360 lumens
Spectral range	400-700 nm
Light output pattern	Lambertian
Operating temperature range	0 °C to +35 °C
Synchronous operation mode speed	250 milliseconds
Feedback control loop	Enabled by default
Nominal Input voltage	24 V DC (Constant voltage) $\pm$ 5%
Max Input current	2.5 A (limited by firmware)
Max Input electrical power	80 W (limited by firmware)
Communications protocol	bus EIA-485
Control software	Basic version
Dimensions (mm)	156 x 126 x 130
IP	20
Insolation Class	Class II
OPTIONAL	
Adapters	C-Mount adaptor
Advanced control software	RESTful API
Asynchronous operation mode speed	10 milliseconds (API required)

³ Radiometric power may slightly change depending on the currently available LED binning

MAINTENANCE AND SERVICE

- If a fingerprint mark or dirt is observed at the diffuser, you may clean it. Before cleaning, disconnect from the main supply and allow the system to cool down. Wipe the surface of the diffuser gently with a tissue containing ethanol.
- Do not open, disassemble or manipulate the SPECTRA TUNE LAB system

WARNING AND SAFETY

- All necessary measures must be taken to avoid electric shock when handling electrical and/or electronic equipment. In case of doubt disconnect the main power supply when handling lighting equipment.
- The SPECTRA TUNE LAB is intended for use in dry interiors only. It is not water resistant and must be protected from adverse weather conditions (hot and humid).
- To avoid damage, do not expose it to spray, liquids, dust, or chemical products.
- This LED-based module must not be operated in explosive environments.
- To prevent injury, use this product in accordance with the International Standard “Photobiological Safety of Lamps & Lamp Systems” IEC 62471. This light engine falls under Risk Group RG1 – Low Risk Group in accordance to the standard IEC 62471:2008. Regardless of the risk factor classification, LEDMOTIVE does not recommend staring directly into any LED lamp or luminaire.
- During normal operation, the fixture can achieve high temperature, be careful when handling it to avoid burning.
- The SPECTRA TUNE LAB device uses an active cooling system to dissipate the heat produced by the LEDs when they are on. Do not manipulate the luminaire when it is connected to the mains and ensure there are always free space around the device to allow prevent any contact with the moving parts (cooling fan).
- All statements regarding safety of operation, warranty and technical data only apply when the unit is operated correctly according to its specifications. The safety of any system incorporating the equipment is the responsibility of the assembler of the system. This system must not be operated in explosive environments

DISPOSAL

- In accordance with EU Directive WEEE (Waste Electrical and Electronic Equipment), this scientific equipment must not be disposed of with another household waste.
- At the end of their life, it must be taken to the appropriate local facility available for the disposal or recycling of electronic products.

WARRANTY

- This product has passed the EU regulations and directives. See *Appendix 1* for further details. LEDMOTIVE offers a one-year limited warranty.

APPENDIX 1: Compliance with directives and norms

This product complies with the following directives and norms:

DIRECTIVES:

- 2014/35/EU: Low Voltage Directive (LV)
- 2014/30/EU: Electromagnetic Compatibility (EMC) Directive
- 2011/65/EU: RoHS Directive

NORMS:

- EN 61010-1:2010 Safety requirements for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use.
- EN 62471:2008 Photobiological safety of lamps and lamp systems
- EN 50581:2012 Technical documentation for the assessment of electrical and electronic products with respect to the restriction of hazardous substances

APPENDIX 2: Light programmatic control with the RESTful API

To be able to control the lights, a RESTful API is available to send the proper commands to the SPECTRA TUNE LAB.

Once the LIGHT HUB is powered on and connected to a computer, it will start the REST API automatically and will begin to listen to a specific port.

With the API the user can:

- Read the temperature from the PCB Board
- Switch on the system with a default spectrum
- Send a specific spectrum
- Read a spectrum
- Read the current luminous flux of the system
- Switch off the lights
- Define a default spectrum
- Define parameters settings
- Work the luminaire in asynchronous mode
- And much more...

ANEXO III

FICHA TÉCNICA CONTROLADOR LEDMOTIVE. LIGHT HUB



LIGHT HUB



Gateway luminaire control

DS-450002-03

www.ledmotive.com



LIGHT HUB Gateway luminaire control

DESCRIPTION

The LIGHT HUB is the device responsible to manage and control the communications from and towards a single LED Module or a group of LED modules if they contain the same number of colored channels. Multiple sub-groups are available if different lighting scenarios are foreseen.

The communication bus is RS485 allowing for high speed signals over long distances in serial connections.

Once the LIGHT HUB finds a new device (a LEDMOTIVE light source) it registers, and automatically assigns an address to this new device in order to govern it.

The LIGHT HUB is designed for indoor applications only (IP20).



Figure 1. LIGHT HUB picture

LIGHT HUB - Characteristics

- Able to control up to 128 luminaires with a single device.
- Fits in a rail DIN
- Communication bus protocol: TIA 485 (RS-485)
- RESTful API available
- Capable to connect to the Internet of Things (IoT LIGHTCREATOR® platform) using the Ethernet connection – Optional
- USB 2.0 host port, mini USB 2.0 client port, micro HDMI and micro SD card available.
- Ethernet 100 Mbit/s
- Wi-Fi available through USBdongle – Optional
- Easy to plug and play

LIGHT HUB ELECTRICAL SPECIFICATIONS

Nominal Input Voltage	5 V DC (Constant Voltage)
Max. Current Input	1 A
Input data	Ethernet RJ45
Output data	Pair of wires labeled A, B (bus RS 485)

The LIGHT HUB is provided with a power supply unit adaptor allowing 110-240V AC input power at 50/60Hz and output signal at 5V DC 2.4A (12 W max).

DIMENSIONS

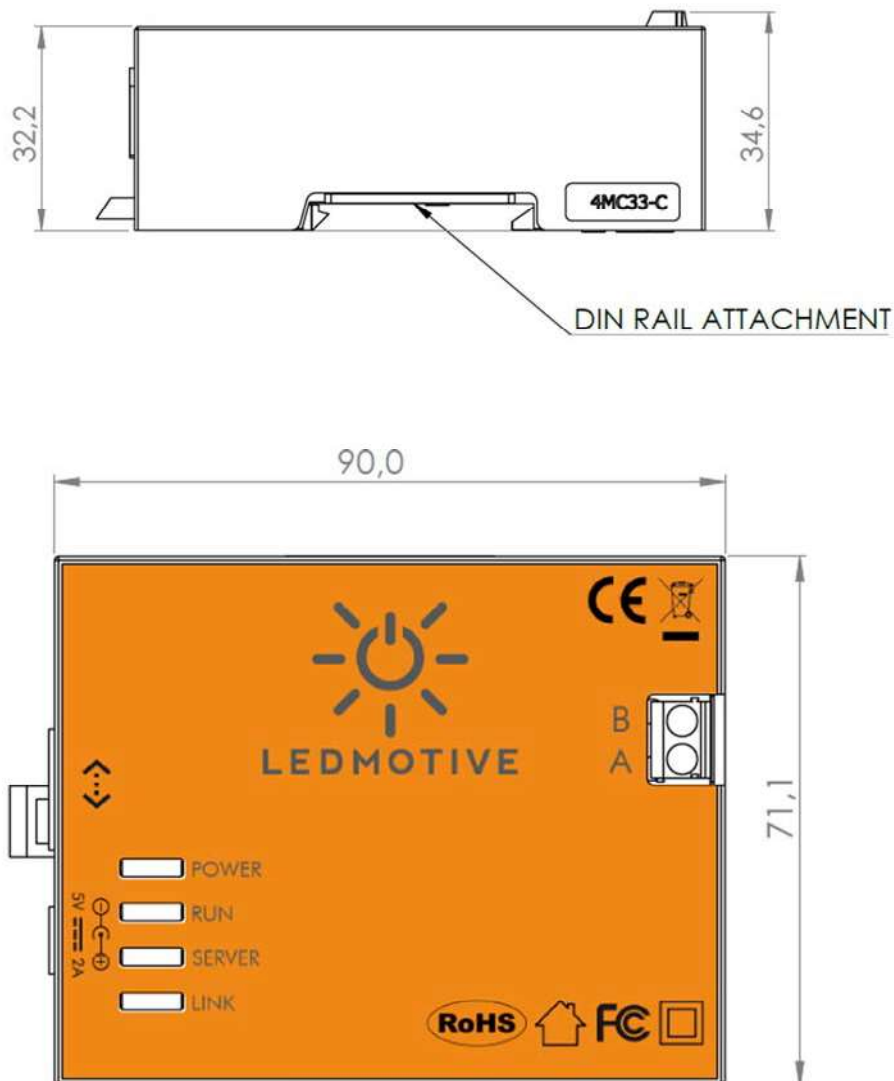


Figure 2. LIGHT HUB dimensions

RESTful API

When the LIGHT HUB is connected through an USB to a computer, a predefined IP will be assigned (192.168.7.2) otherwise if the LIGHT HUB is connected to the network using the ethernet plug, the IP will be defined by the network. The device can be discovered in the network through the standard DNS-SD (compatible with implementations like Bonjour, Zeroconf or Avahi) requesting for `_http_lighthouse_tcp` services or the `lighthouse.local` domain (since firmware version 1.4.9). Multiple LIGHT HUBs on the same network will add a suffix such as `lighthouse-2.local`.

A RESTful API is available, so any user can make all the necessary queries to the LIGHT HUB IP address to send and receive commands to and from the luminaire/light source(s). HTTP responses from the LIGHT HUB are in JSON format and not bounded to any specific language (i.e.: JavaScript, Python, Matlab, C...). An encrypted HTTPS API is available on demand.

Some of the commands are the following:

- Execute a specific spectrum based on the amplitude of every channel
- Execute a specific spectrum based on the amplitude of every wavelength value (typically from 380 to 780 nm with a steps of 5 nm)
- Execute a specific color by passing the x, y color coordinates in the 1931 CIE colorspace
- Execute a blinking mode by passing the number of blinks per second
- Execute a turn on/off command
- Execute a dimming level
- Execute a spectral video
- Readout the current amplitude of every channel
- Readout the current spectrum
- Readout the temperature from different temperature sensors in the PCB board
- Readout the value of a spectral sensor embedded in the LED module
- Readout calibration curves from every channel.
- Readout device information properties
- Readout light properties (such as Ra, R9, CCT,...)
- Define a power limit control
- Define a temperature limit control
- Define a default spectrum to be executed every time the lights are switch on
- Define a group of luminaires through a multicast address
- And more...

There are up to 45 different commands to interact with the LIGHT HUB approximately. The RESTful API adds full flexibility for anyone with software programming skills to control and govern the lights at will. The license to develop against this API and its full documentation are provided as a separate product under request.

COMPUTER SECURITY CONSIDERATIONS

The LIGHT HUB is a small computer at its core. As such, you should consider security issues before connecting it to a local network. Talk with your network administrator about the connection policies that apply before wiring it to the network.

A Linux embedded operating system runs in the LIGHT HUB and manages the different processes required for the device operation. The system holds a number of services that might vary depending on the installation requirements. From those services the following offer open ports that allow connection from outside of the device:

- 8181 (TCP) – The LIGHT HUB API listens here. This is required for local control and configuration of the lighting system. Under requirement the device can be configured to listen requests coming from a single IP address only.
- 242 (TCP) – The SSH server listens here. This is required for remote maintenance, but it can be permanently disabled under requirement. If disabled technical assistance will have to relocate in-house for monitoring and support assistance. A banning system prevents brute force attacks to the SSH login.
- 53 (TCP/UDP)/67 (udp) – The private DNS and DHCP servers listen on these ports. They are required to allow connections to the LIGHT HUB through USB (generally used to connect a laptop directly to the device for control or maintenance). This service can be disabled under requirement if an USB connection is not required by the installation.
- 5353 (UDP) – mDNS (multicast DNS) messages are listened on this port for compatibility with DNS-SD (DNS based Service Discovery). This service allows dynamic discovery of the LIGHT HUB device in the network. This service can be disabled under request for installations where a static IP address is used for the device (i.e. the device does not rely on DHCP).

MAINTENANCE AND SERVICE

- The LIGHT HUB is intended for use in dry interiors only with IP20.
- It is not water resistant and must be protected from adverse weather conditions (hot and humid).
- To avoid damage, do not expose it to spray, liquids, dust, or chemical products.
- Do not open or manipulate the LIGHT HUB device

WARNING AND SAFETY

- All necessary measures must be taken to avoid electric shock when handling electrical and/or electronic equipment. In case of doubt disconnect the main power supply when handling lighting equipment.
- During normal operation, the casing can achieve high temperature, be careful on handling it to avoid burning.
- The LIGHT HUB must not be operated in explosive environments.
- All statements regarding safety of operation, warranty and technical data only apply when the unit is operated correctly according to its specifications.
- The safety of any system incorporating the equipment is the responsibility of the assembler of the system.

DISPOSAL

- In accordance with EU Directive WEEE (Waste Electrical and Electronic Equipment), must not be disposed of with another household waste.
- At the end of its life, the LIGHT HUB must be taken to the appropriate local facility available for the disposal or recycling of electronic parts.

WARRANTY

- This product has passed the EU regulations and directives.
- LEDMOTIVE offers a two-year limited warranty.

DISCLAIMER

This document is intended for all audiences. The material herein is provided "AS-IS" and LEDMOTIVE makes no warranty of any kind regarding this material.

LEDMOTIVE shall not be liable for errors and omissions contained herein.

All product specifications and data included in this document are subject to change without notice to improve operation, reliability, design or otherwise.

COPYRIGHT & TRADEMARK

© 2019, Ledmotive Technologies S.L, all rights reserved.

Any unauthorized work, review, copy, translation and distribution of this material is strictly prohibited.

LEDMOTIVE, LIGHT CREATOR and LEDMOTIVE LOGO are trademarks of Ledmotive Technologies S.L. The trademarks may be used either alone or in combination with a further product designation.

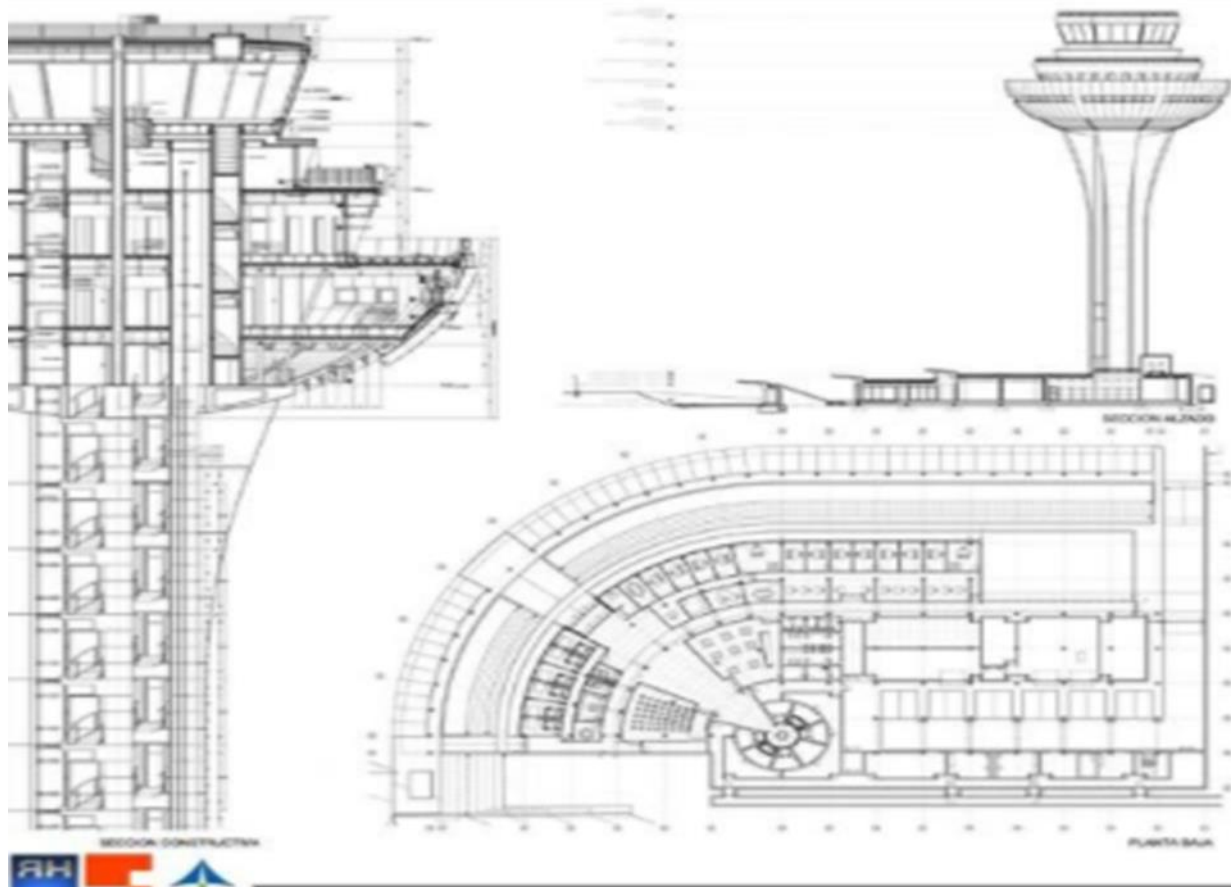
Nothing in this publication is intended to make representation regarding whether any trademark is registered or to suggest that any sign other than those mentioned should be a trademark of Ledmotive Technologies S.L. or any third party.

ANEXO V

PLANOS DEL PROYECTO

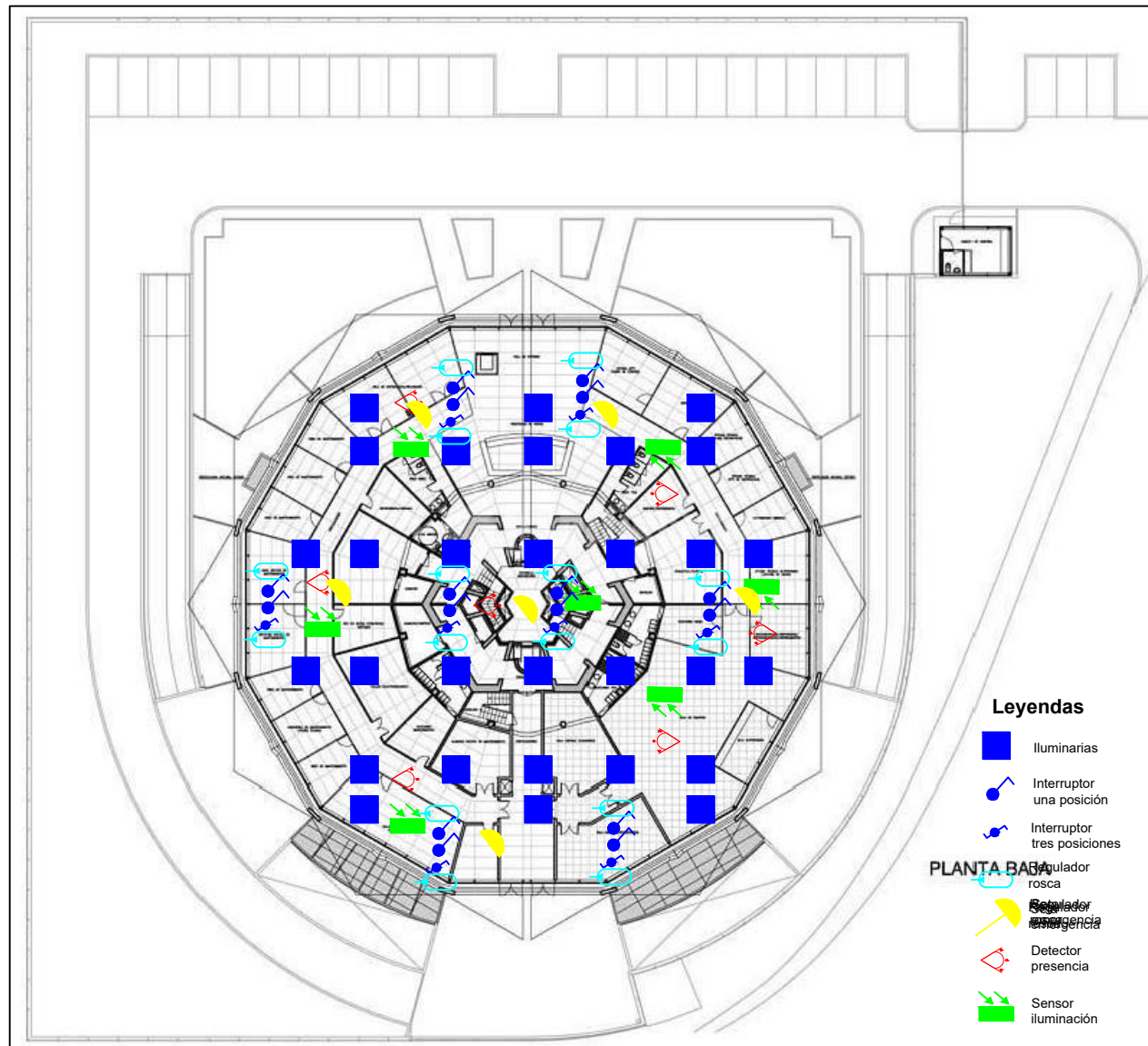
Recinto a iluminar

PROYECTOS BÁSICO Y EJECUCIÓN DE NUEVA TORRE DE CONTROL EN EL AEROPUERTO DE MADRID BARAJAS



Ciente:	GCP Oficina de Proyectos
Localización:	Madrid
Propiedad:	AENA
Fecha Proyecto:	Junio 1.997
Volumen Obra:	3.871 m ²

Plano de luminarias



Plano de unifilares

