



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

**UNIVERSIDAD DE VALLADOLID
ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES**

Grado en Ingeniería Eléctrica

Diseño de un sistema de iluminación de fachadas

Autor:

Del Río Ruivo, Cristian

Tutor:

**Pisano Alonso, Jesús Ángel
Departamento de Ingeniería
Eléctrica**

Valladolid, Enero-2019.



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES



Resumen

En este Trabajo de Fin de Grado se va a hacer el estudio de la iluminación de una fachada, que se corresponde con la nueva torre IndUVa de la Universidad de Valladolid. La simulación se llevará a cabo mediante un software de diseño de iluminación, que veremos a lo largo del presente documento.

Se estudiarán diversas luminarias y su colocación en la torre IndUVa, implementando las más favorables o descartando las que sean complicadas de llevar a cabo, ya sea por dificultades técnicas o económicas.

Palabras Clave

- Iluminación de fachadas
- LED
- Control de iluminación
- Luminarias
- Ahorro energético



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES



ÍNDICE

RESUMEN	3
PALABRAS CLAVE	3
ÍNDICE	5
JUSTIFICACIÓN. OBJETIVOS DEL TFG	9
1. INTRODUCCIÓN	11
1.1 ILUMINACIÓN LED	11
1.2 ILUMINACIÓN LED RESPECTO A LA CONVENCIONAL	15
1.3 FACHADA A ILUMINAR	17
1.4 ALIMENTACIÓN DE LAS LUMINARIAS LED	18
1.5 LUMINARIAS LED Y SUS COMPONENTES	19
1.5.1 CHIP	19
1.5.2 DRIVERS	20
1.5.3 PLACA BASE	21
1.5.4 DISIPADOR DE CALOR	21
1.5.5 ÓPTICA	22
1.6 TIPO DE MONTAJE DE LAS LUMINARIAS LED	23
1.7 SISTEMA DE CONTROL DE ILUMINACIÓN	25
1.7.1 ESTÁNDAR DALI	25
1.7.2 ESTÁNDAR DMX512	27
1.8 HERRAMIENTA DE SIMULACIÓN DIALUX EVO	28
1.8.1 APARTADO "CONSTRUCCIÓN"	29
1.8.2 APARTADO "LUZ"	31
1.8.3 APARTADO "OBJETOS DE CÁLCULO"	34
1.8.4 OTROS APARTADOS	35
2. ESTUDIO DE LOS POSIBLES MONTAJES	36
3. ESTUDIO DE LAS LUMINARIAS A UTILIZAR	37
3.1 BAÑADORES/PROYECTORES	37
3.2 PROYECTORES LINEALES	37
3.3 UPLIGHTS Y DOWNLIGHTS	37
4. ESTUDIO DEL SISTEMA DE CONTROL DE ILUMINACIÓN	39
4.1 SISTEMA DALI	39
4.2 PROTOCOLO DMX	42



5. ESTUDIO DE LA CONFIGURACIÓN ESCOGIDA	45
5.1 SIMULACIÓN 1	45
5.1.1 LUMINARIAS ESCOGIDAS	45
5.1.2 TIPO DE MONTAJE ESCOGIDO Y UBICACIÓN DE LAS LUMINARIAS LED	46
5.1.3 SISTEMA DE CONTROL DE ILUMINACIÓN ESCOGIDO	46
5.1.4 SIMULACIÓN COMPLETA Y POTENCIA TOTAL NECESARIA	46
5.2 SIMULACIÓN 2	47
5.2.1 LUMINARIAS ESCOGIDAS	48
5.2.2 TIPO DE MONTAJE ESCOGIDO Y UBICACIÓN DE LAS LUMINARIAS LED	48
5.2.3 SISTEMA DE CONTROL DE ILUMINACIÓN ESCOGIDO	49
5.2.4 SIMULACIÓN COMPLETA Y POTENCIA TOTAL NECESARIA	49
5.3 SIMULACIÓN 3	50
5.3.1 LUMINARIAS ESCOGIDAS	50
5.3.2 TIPO DE MONTAJE ESCOGIDO Y UBICACIÓN DE LAS LUMINARIAS LED	50
5.3.3 SISTEMA DE CONTROL DE ILUMINACIÓN ESCOGIDO	51
5.3.4 SIMULACIÓN COMPLETA Y POTENCIA TOTAL NECESARIA	51
5.4 SIMULACIÓN 4	52
5.4.1 LUMINARIAS ESCOGIDAS	52
5.4.2 TIPO DE MONTAJE ESCOGIDO Y UBICACIÓN DE LAS LUMINARIAS LED	53
5.4.3 SISTEMA DE CONTROL DE ILUMINACIÓN ESCOGIDO	53
5.4.4 SIMULACIÓN COMPLETA Y POTENCIA TOTAL NECESARIA	53
5.5 SIMULACIÓN 5	54
5.5.1 LUMINARIAS ESCOGIDAS	55
5.5.2 TIPO DE MONTAJE ESCOGIDO Y UBICACIÓN DE LAS LUMINARIAS LED	55
5.5.3 SISTEMA DE CONTROL DE ILUMINACIÓN ESCOGIDO	56
5.5.4 SIMULACIÓN COMPLETA Y POTENCIA TOTAL NECESARIA	56
5.6 COMPARATIVA DE LAS DIFERENTES SIMULACIONES	57
6. CÁLCULO DE LAS SECCIONES DE CABLE	59
6.1 SECCIONES DE LA INSTALACIÓN	59
6.1.1 SIMULACIÓN 1	59
6.1.1.1 Cálculo por línea	59
6.1.1.2 Cálculo de línea unión	61
6.1.1.3 Cálculo de canalizaciones	62
6.1.2 SIMULACIÓN 2	62
6.1.2.1 Cálculo de línea tipo 1	63
6.1.2.2 Cálculo de línea tipo 2	63
6.1.2.3 Cálculo de la línea de unión	63
6.1.1.4 Cálculo de canalizaciones	64
6.1.3 SIMULACIÓN 3	64
6.1.3.1 Cálculo por línea tipo 1	64
6.1.3.2 Cálculo por línea tipo 2	65
6.1.3.3 Cálculo por línea tipo 3	65
6.1.3.4 Cálculo de línea unión	65
6.1.3.5 Cálculo de canalizaciones	66



6.1.4	SIMULACIÓN 4	66
6.1.5	SIMULACIÓN 5	67
6.2	DERIVACIÓN INDIVIDUAL	67
7.	PROTECCIONES DE LA INSTALACIÓN	69
7.1	INTERRUPTOR MAGNETOTÉRMICO	69
7.2	INTERRUPTOR DIFERENCIAL	69
7.3	DESCARGADOR DE SOBRETENSIONES	69
7.4	INTERRUPTOR GENERAL AUTOMÁTICO (IGA)	70
7.5	PEQUEÑO INTERRUPTOR AUTOMÁTICO (PIA)	70
7.6	OTROS COMPONENTES	70
7.6.1	ACOMETIDA	70
7.6.2	CONTADOR INTELIGENTE	71
8.	ESQUEMAS UNIFILARES	73
9.	CONCLUSIONES	77
10.	BIBLIOGRAFÍA	79
11.	ANEXOS	81
11.1	ANEXO I	81
11.2	ANEXO II	82
11.3	ANEXO III	83
11.4	ANEXO IV	84
11.5	ANEXO V	85



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES



Justificación. Objetivos del TFG

La Universidad de Valladolid como una de las instituciones más destacadas de la ciudad. Por esto se plantea la posibilidad de iluminar la fachada de la nueva construcción de la torre IndUVa, dando así más visibilidad al edificio, y a la institución, permitiendo que sea más icónico y reconocible.

En este Trabajo de Fin de Grado se pretende ver la viabilidad de llevar a cabo dicha iluminación realizando diferentes simulaciones para ver los aspectos técnicos, económicos y artísticos de cada una de ellas.

Para llevar a cabo dichas simulaciones utilizaremos un software de simulación de iluminación llamado Dialux Evo. Este programa nos ayudará a acercarnos más a la realidad en caso de que se pueda llevar a cabo la instalación de iluminación y, ver la viabilidad de la instalación.

Se estudiarán diferentes tipos de luminarias y sus posibles montajes y configuraciones, escogiendo así la más favorable para la instalación.

Cabe destacar la importancia de la contaminación lumínica dentro de los centros urbanos, por eso este Trabajo de Fin de Grado estará dentro de los reglamentos e instrucciones técnicas, tanto de iluminación exterior como con la contaminación lumínica y otros posibles reglamentos que regulen nuestra instalación.

La Universidad de Valladolid está comprometida con la sostenibilidad, por eso están implementadas placas fotovoltaicas en la torre IndUVa. Aprovecharemos la energía producida por dichas placas para la iluminación de nuestra instalación, dentro de lo posible. En cualquier caso, se va a tener en cuenta la posibilidad de diferentes conexiones de alimentación de la instalación de iluminación.

Los *Objetivos* a conseguir son:

- Dar más visibilidad y hacer más reconocible el edificio.
- Ver la viabilidad técnica y económica de llevar a cabo la instalación.
- Conocer las ventajas de la utilización de LEDs para la iluminación, ayudando a comprender el ahorro energético y ecológico.
- Conocer el funcionamiento y los diferentes tipos de LEDs en el mercado, explicando sus ventajas e inconvenientes.
- Ver los diferentes tipos de control para la iluminación, viendo cual sería el más favorable para nuestra instalación.



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

1. Introducción

1.1 Iluminación LED

LED es el acrónimo de *Light Emitting Diode* (Diodo Emisor de Luz) [4] se entiende como una fuente de luz con una o más longitudes de onda constituida por un material semiconductor, por el que pasa una cierta corriente eléctrica. La estructura típica de los diodos electrónicos es una unión tipo p-n, que al aplicar una tensión entre los extremos (terminales), los electrones se recombinan con los huecos en la región de la unión p-n, es decir, los electrones de la parte N saltan a la banda de valencia, liberando energía en forma de fotones. La estructura de los diodos electrónicos generalmente es de silicio (Si), germano (Ge) o Galio (Ga) como semiconductor tipo P e, impurezas controladas de algún metal u otro compuesto como semiconductor N.

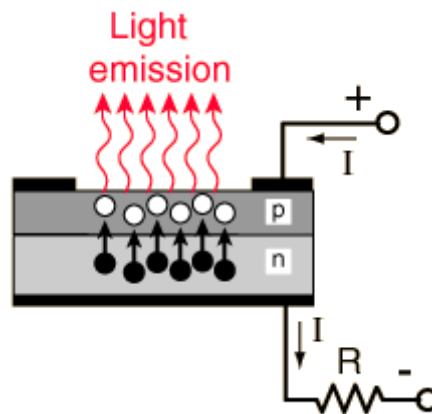


Ilustración 1. Emisión de luz en LED

La corriente fluye del lado P (ánodo) al N (cátodo) pero, no es sentido opuesto. El color del led y la longitud de onda depende de la anchura de energía de la banda prohibida correspondiente a los materiales que constituyen la unión p-n.

La energía que contienen los fotones es directamente proporcional a la frecuencia de la radiación que se forma y, por tanto, al color emitido, a través de una constante denominada *Constante de Planck*:

$$E = h \cdot \nu = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

Ecuación 1. Energía de los fotones

Donde E es la energía del fotón, h es la constante de Planck, ν la frecuencia de la radiación, c la velocidad de la luz y λ la longitud de la onda.

En función de diversas magnitudes podemos clasificar el color del LED como la diferencia de potencial entre los terminales o la longitud de onda:

Color	Diferencia de potencial (V)	Longitud de onda (nm)
Infrarrojo	≤ 1.6	$740 < \lambda$
Rojo	1.8 - 2.2	$620 < \lambda < 740$
Naranja	2.2 - 2.3	$610 < \lambda < 620$
Amarillo	2.3 - 2.6	$565 < \lambda < 590$
Verde	2.6 - 3.2	$520 < \lambda < 565$
Azul	3.0 - 3.5	$460 < \lambda < 490$
Ultravioleta	≥ 3.5	$\lambda < 400$

Tabla 1. Características en función del color

El color del LED también depende del material semiconductor utilizado para la construcción del diodo, funciona como una especie de filtro.

En cuanto a la iluminación LED [2] podemos destacar distintas características:

- **Potencia (Wattios):** la potencia es la magnitud que determina la energía entregada o absorbida por un elemento eléctrico en un instante. Referente a las luminarias es la energía eléctrica necesaria por unidad de tiempo para convertirla en luz.
- **Lúmenes (Lm):** los lúmenes son la unidad de medida de la intensidad lumínica. Referente a las luminarias LED, los lúmenes nos indican cuanto ilumina la luminaria. Es una magnitud interesante ya que permiten comprar diferentes luminarias.
- **Eficiencia (W/Lm):** la relación entre la potencia y la intensidad lumínica nos proporciona la eficiencia de la luminaria, ya que nos muestra cuanto ilumina una luminaria por unidad de energía consumida. A mayor eficiencia, mayor calidad de luminaria.
- **Luxes (lx o Lm/m²):** Relacionando los lúmenes con una superficie, tendremos los luxes, que sería los lúmenes con los que estamos iluminando. Dicha magnitud es la utilizada para dar los niveles de luminosidad recomendados.

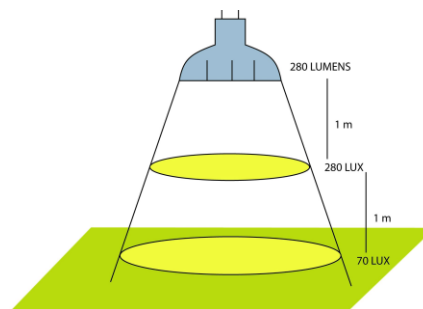


Ilustración 2. Ejemplo Lux vs Lumen

- Temperatura de color (K): la temperatura de color es un valor numérico que se traduce como como la temperatura a la que debería ser calentado un cuerpo incandescente para que tome ese mismo color. Es una medida relativa, es decir no es una medida directa, si no una comparación entre los diferentes colores de las luces LED y los diferentes estados de color. El rango de temperatura de color va desde los 1.500 K (luz cálida) hasta los 10.000 K (luz muy fría) pasando por los 4.000 K (luz neutra).



Ilustración 3. Rango de temperatura de color

Cada una de las diferentes temperaturas es recomendada para realizar diferentes actividades, por ejemplo, las luces blancas se recomiendan para las zonas de trabajo.

- Ángulo de apertura: es el ángulo geométrico que dibuja el haz de luz emitido por la luminaria. Es decir, el área que ilumina en función de la distancia del LED. Puede ir de los 360° hasta unos pocos grados. Cuanto menor es el ángulo de apertura, la luminaria es más focal, por lo que podremos utilizar para destacar algún objeto en concreto. En el caso contrario, podremos utilizarlo para iluminación general.

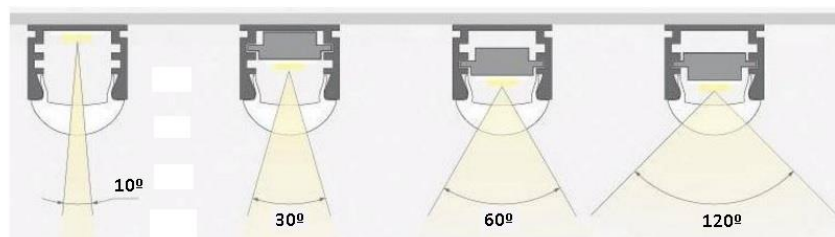


Ilustración 4. Distintos ángulos de apertura

- Índice de Reproducción Cromática (IRC): es una magnitud de una fuente de luz que define la capacidad de mostrar los colores de un objeto en comparación con la luz natural. Tiene un rango desde 0 hasta 100 (correspondiente a la luz emitida por el Sol). Algo a destacar es que, a mayor Temperatura de color, menor es el índice de reproducción cromática.



Ilustración 5. Fotografía con diferentes niveles de IRC

- **Factor de potencia:** nos indica en qué porcentaje aprovecha la energía una luminaria led. Es decir, nos proporciona información sobre la eficiencia y la calidad de la luminaria.
- **Vida útil:** se refiere a cantidad de tiempo (normalmente en horas) en la que una luminaria funciona sin perder capacidad de iluminación y garantiza el funcionamiento a pleno rendimiento. Los LEDs pueden llegar a tener una vida útil de hasta 100.000 horas en condiciones ideales. En caso de no tener condiciones ideales (Exceso de intensidad, exceso de temperatura, la humedad...) pueden llegar a una vida útil de entre 30.000 y 50.000 horas.
- **Etiqueta energética:** si bien la etiqueta energética no es una característica propia de un LED, se incluye debido a la relevancia de todos los anteriores apartados. Podríamos decir que es una manera de ver la calidad de algunos de los anteriores de manera fácil y sencilla. Esta etiqueta nos permite conocer la eficiencia energética del producto en cuestión siendo A++ el mejor nivel de eficiencia energética aceptado.

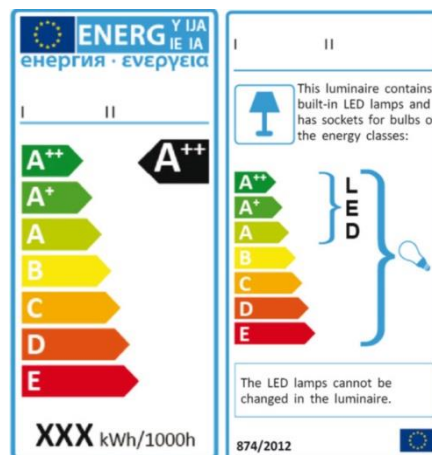


Ilustración 6. Etiqueta energética

1.2 Iluminación LED respecto a la convencional

Desde la aparición del primer LED comercial en 1962, su uso ha ido incrementando debido a las ventajas que proporciona frente a la iluminación convencional. La eficiencia [3] de los LED es muy similar a otras fuentes de luz como las lámparas de vapor sodio de alta presión o las lámparas de halogenuros metálicos como podemos ver en la siguiente tabla:

Tipo de lámpara	Eficiencia (lm/W)	Vida útil (h)	IRC
Halógena	20	1.200	100
Halogenuros metálicos	70-108	15.000	90
Fluorescente	60-100	8.000	80
Sodio baja presión	120-200	16.000	25
Sodio alta presión	95-130	28.0000	45
LED	90-120	>30.000	>75

Tabla 2. Tipos de lámpara

Aunque los LED tengan una eficiencia un poco por debajo que otras opciones, tiene un mayor factor de utilización (F_u), es cercano a la unidad:

$$F_u = \frac{\text{flujo luminoso útil}}{\text{flujo emitido por las luminarias}}$$

Ecuación 2. Factor de utilización

Para alcanzar dicho factor de utilización debe darse en condiciones óptimas en relación a su intensidad y temperatura. Aunque puede alcanzarse un rendimiento similar en otras lámparas, en correctas condiciones, se puede alcanzar una mayor eficiencia en los LED.



Ilustración 6. Tipos de lámpara

Según ETI (empresa dedicada a la iluminación) en una de sus encuestas, concluyó que la mayoría de los fallos en los LED se producen en los drivers, y suelen ser irreparables. Existen otros tipos de fallos, pero son minoritarios como podemos ver en la ilustración 7.

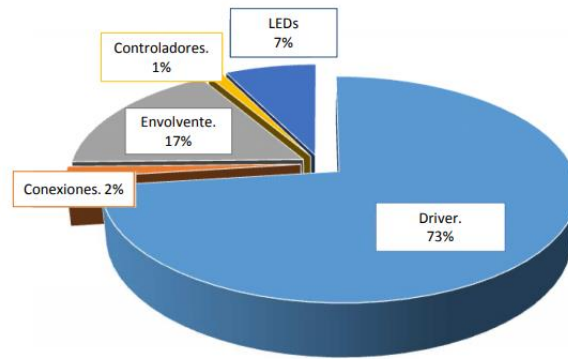


Ilustración 7. Fallos de los LED en porcentaje

VENTAJAS	INCONVENIENTES
Los LEDs tienen una mayor vida útil, tienen eficiencia energética elevada.	La electrónica no tiene la misma vida útil que los LED, por lo que fallará antes. Un mal diseño del driver puede provocar que el LED presente efecto flicker.
Su luz es direccional (lo que nos puede dar algunas ventajas frente a la iluminación convencional). Lo que provoca que la luz se disperse menos.	La eficiencia del LED depende mucho de la temperatura (de ahí la necesidad de un buen disipador de calor), a temperaturas altas y prolongadas hace disminuir en gran medida la vida útil.
Tenemos la posibilidad de escoger la tonalidad y poder ajustar el nivel de iluminación necesario.	Los LEDs necesitan de una alimentación con intensidad constante. Una corriente fluctuante provoca que la luz emitida fluctúe de igual medida.
Permiten el encendido instantáneo además de a bajas temperaturas y, trabajan a baja tensión. Además de que trabajan muy bien hasta cuando hay vibraciones.	Puede provocar gran luz intrusa, sobre todo como consecuencia de sus tonalidades azuladas, además de contaminación lumínica.
Tienen bajos gastos de mantenimiento, mayor robustez y seguridad.	Una potencia demasiado elevada puede provocar la rotura del LED.
Referente al consumo es menor en los LED, aproximadamente un 90% menos que los sistemas basados en incandescencia y, un 60% menos que los sistemas de fluorescencia.	La sustitución de una lámpara convencional por un LED no es de uno a uno. Es decir, hace falta una matriz de varios LED para sustituir la lámpara convencional y obtener los mismos resultados lumínicos.

Tienen un tamaño compacto. Esto nos facilita diseños más innovadores y atractivos.

Hay que tener en cuenta la vida útil del sistema óptico, además de la calidad de la carcasa.

Viendo estas ventajas podemos decir que tendremos un ahorro energético general de entre un 50%, además de que al instalar LEDs conseguiremos reducir los consumos de energía reactiva.

1.3 Fachada a iluminar

El edificio que se va a iluminar se corresponde con la nueva torre aulario IndUva en la siguiente ubicación:

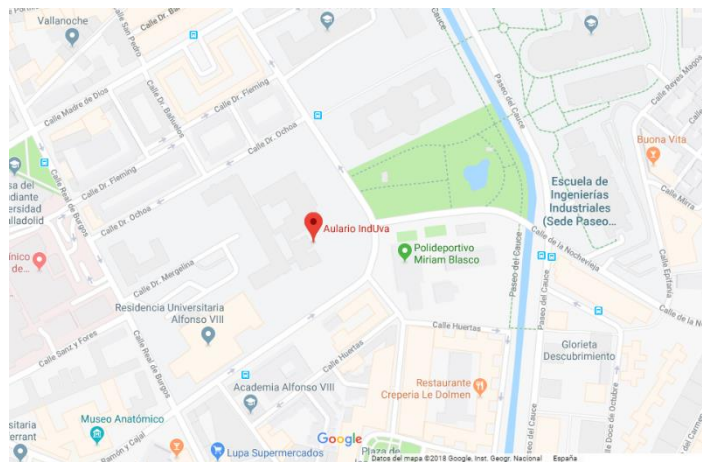


Ilustración 8. Ubicación de IndUva

Y en dicho edificio se pretende iluminar la siguiente fachada:

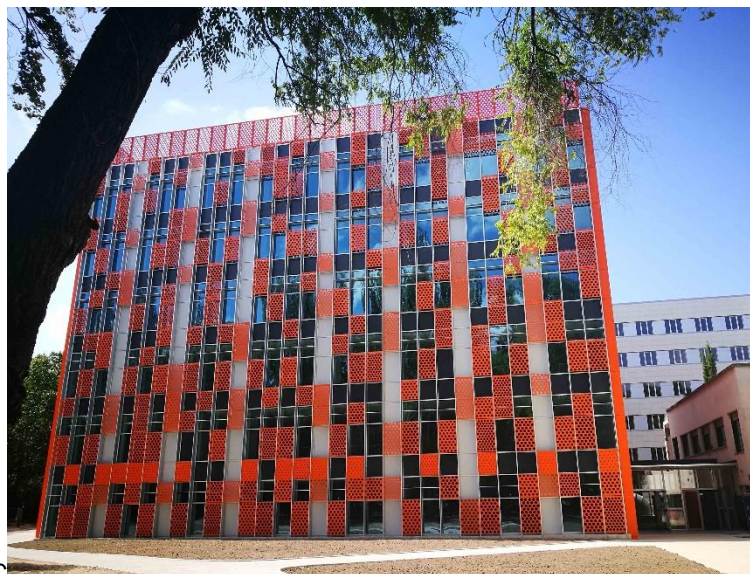


Ilustración 9. Fachada noreste IndUva

Se ha escogido dicha fachada debido a la facilidad del montaje y la eficiencia de la iluminación. Además de que provoca el mayor impacto en el observador debido a que en esa parte del edificio se encuentra una de las entradas principales con acceso a la calle. Hay que tener en cuenta que dicha fachada es la más visual desde fuera del recinto, debido a la transición de peatones y vehículos.

Otra posible fachada a iluminar debido al impacto visual de peatones y vehículos sería la correspondiente con la siguiente imagen:



Ilustración 10. Fachada sureste IndUva

Aunque se descarta esta fachada por la situación de las placas fotovoltaicas y, las escaleras, porque no tendría mucho impacto visual. También la posición de las luminarias sería bastante compleja puesto que no queda casi espacio en la fachada para incorporarlas y, en el caso de escoger otra opción de montaje, en brazo o en tubo, por ejemplo, estarían presentes árboles de bastante frondosidad para la instalación de las luminarias.

1.4 Alimentación de las luminarias LED

La alimentación de las luminarias se intentará, dentro de lo posible, que se alimenten con la producción de las placas fotovoltaicas. En caso de no ser posible esta opción, la alimentación se incluirá en la propia instalación del edificio, junto con el sistema de control de la iluminación.

1.5 Luminarias LED y sus componentes

Al inicio se han explicado la iluminación LED, en este apartado explicaremos los componentes de las luminarias LED detenidamente ^[4], como el chip, drivers, la placa base, la óptica y el disipador de calor.

1.5.1 Chip

Es una pieza de un material semiconductor (normalmente de carburo de silicio), encargado de regular el funcionamiento de la luminaria LED, lo que provoca que es una parte fundamental para la calidad y el funcionamiento del LED. Cuando se le aplica una corriente es capaz de generar luz.

Sobre la base de carburo de silicio se depositan diferentes materiales que, dependiendo de la mezcla es la que le da el color y la calidad de la luz. También el chip se protege mediante una carcasa normalmente de cristal o policarbonato.

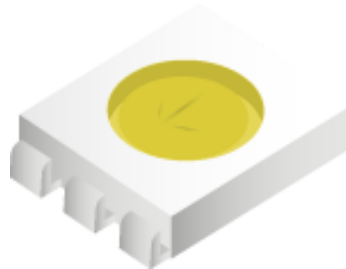


Ilustración 11. Chip de una luminaria LED

Existen diversos tipos de chip que se encuentran en las luminarias, veremos tres tipos de luminarias con chip ^[2], los LED SMD (*Surface Mounted Device*), los LED COB (*chip on board*) y los microled.

Los LED SMD están encapsuladas superficialmente con una resina, por lo que se suelen utilizar en zonas de menor exigencia térmica porque puede alcanzar grandes temperaturas si no se gestiona adecuadamente. Son LED más versátiles en cuanto a formas y tamaños y pueden alcanzar mayores ángulos de apertura.



Ilustración 12. LED SMD

Los LED COB y los microled, a diferencia de los LED SMD, están contruidos como una matriz de LEDs en una cubierta de silicona. Ambos tienen mejor gestión del calor que los LED SMD por lo que se pueden utilizar en zonas con mayor exigencia térmica o periodos de larga duración de funcionamiento. Los LED COB tienen un mayor rendimiento lumínico y mayor vida útil que los LED SMD.



Ilustración 13. LED COB



Ilustración 14. Microled

1.5.2 Drivers

Al contrario de la iluminación convencional las luminarias LED necesitan unos drivers para conectarse a la corriente eléctrica. Es un dispositivo que regula la alimentación de los LED, cuyo fin es regular el flujo de electricidad, permitiendo y asegurando que los LED les llegue una tensión y una corriente adecuada, independientemente de los cambios en las propiedades eléctricas de los LED, como el cambio de temperatura. Esto es aplicable tanto a un LED como a una cadena de LED. Este driver es también el que se encarga de rebajar la energía, en caso de que sea mayor de la necesaria, manteniendo una disipación térmica óptima.

Los LED funcionan con corriente continua, por eso es necesario un driver o fuente de alimentación que transforme la corriente alterna en corriente continua. Con un driver inadecuado el LED se podría sobrecalentar provocando una disminución del rendimiento o provocar un fallo como la rotura del propio LED.

Podríamos distinguir dos tipos de driver, interno y externo. En caso del driver interno, este vendría dentro de la propia luminaria. Por el contrario, el driver externo, estaría fuera de la luminaria, pero en función de la instalación de la luminaria se podría introducir, por ejemplo, en la columna, en caso de elegir esta opción de montaje.



Ilustración 15. Driver de una luminaria LED

1.5.3 Placa base

Es la placa de circuito impreso encargada de soportar las conexiones de todos los componentes, normalmente mediante hilos de oro, y las vías de disipación del calor. En función de la gestión térmica utilizada puede fabricarse en diferentes materiales como aluminio, cobre u otros materiales conductores.

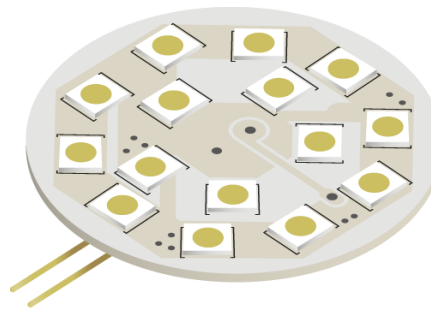


Ilustración 16. Placa base de una luminaria LED

1.5.4 Disipador de calor

Es una estructura metálica, con estrías, aletas o surcos, que ayuda a la evacuación del calor de los LEDs de una luminaria. Si bien en LEDs de baja potencia, a veces no es necesario este disipador de calor, es imprescindible en LEDs de alta potencia, o bien en LEDs montados a gran altura donde sufren una temperatura ambiente alta, para evitar la destrucción del propio chip.

En las luminarias LED el calor sale en dirección contraria al led, teniendo una mayor influencia en el LED. Un buen diseño del disipador de calor favorece a aumentar la vida del chip, ya que hasta un 90% de la energía puede llegar a perderse. Además, una mala disipación de calor puede afectar al color y a la calidad de la luz.

En este sentido también es importante recalcar la importancia de la carcasa exterior, que debe fabricarse de un material resistente y que favorezca a la disipación de dicho calor como el aluminio o el magnesio.



Ilustración 17. Disipador de calor de una luminaria LED

1.5.5 Óptica

Dentro de la óptica podemos diferenciar:

- Óptica primaria: se corresponde con la que se coloca directamente sobre el LED, es la encargada de proteger individualmente cada chip.
- Óptica secundaria: son el conjunto de lentes exteriores que determinan la distribución de la luz emitida por el LED. La forma y composición de esta óptica varía en función de las necesidades que tenga cada LED. En función de la forma la luz puede proporcionar un mayor o menor ángulo de difusión, consiguiendo así que luz pueda converger o divergir.

Los LED emiten la luz unidireccionalmente (Los fotones parten del chip de forma plana), entonces, viendo el caso de los LED de alta potencia pueden abarcar un ángulo más amplio de iluminación, de entre 90 y 140 grados, requiriendo sistemas de reflexión y lentes más complejas que los LED de baja potencia.

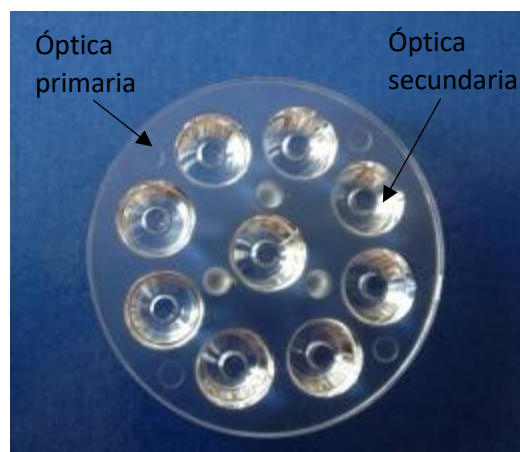


Ilustración 18. Óptica de una luminaria LED

Haciendo una analogía con el cuerpo humano podríamos decir que el chip se correspondería con el “cerebro”, los drivers con el “motor”, la placa base con los “huesos”, el disipador de calor con la “piel” y, la óptica con los “ojos”.

1.6 Tipo de montaje de las luminarias led

En este apartado se estudiarán los diferentes tipos de montaje para las luminarias led [5], vistas anteriormente, que sean aplicables a la iluminación de edificios. Podemos diferenciar:

- Luminarias empotrables de suelo



Ilustración 19. Luminaria empotrada en suelo

- Luminarias de superficie para el suelo

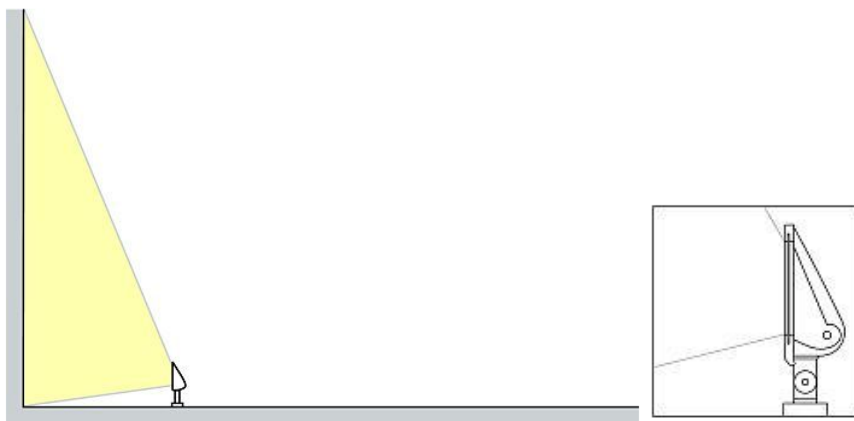


Ilustración 20. Luminaria de superficie para el suelo

- Tubo

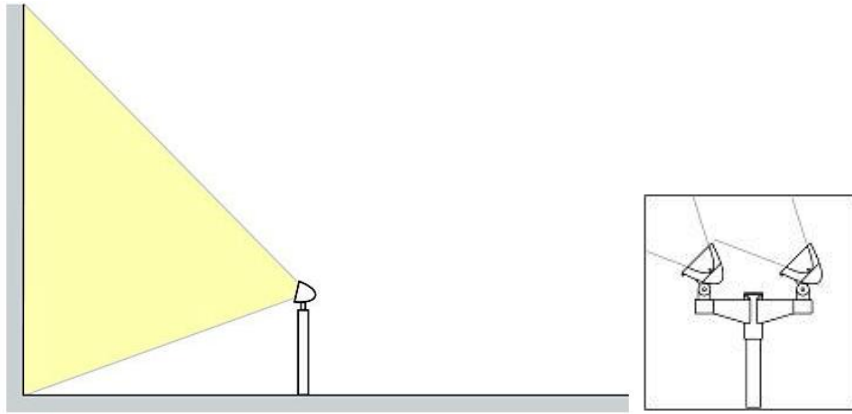


Ilustración 21. Luminaria en tubo

- Columna

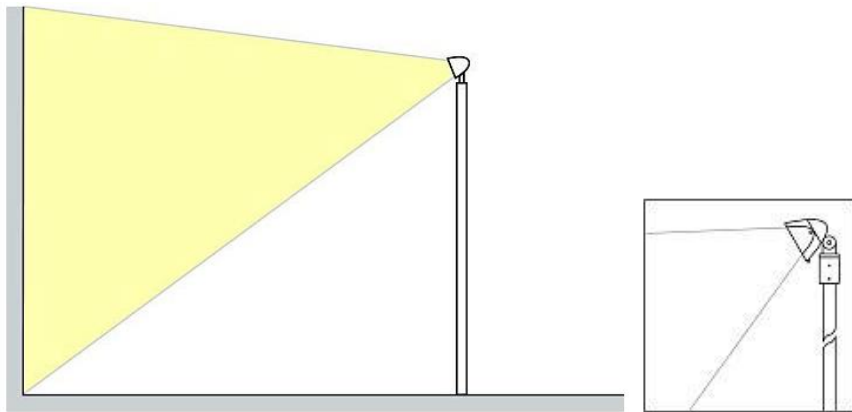


Ilustración 22. Luminaria en columna

- Brazo

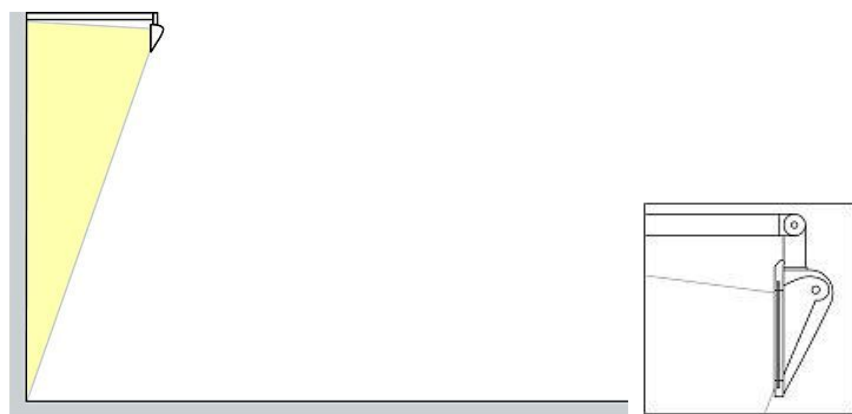


Ilustración 23. Luminaria en brazo

- Luminarias en fachadas

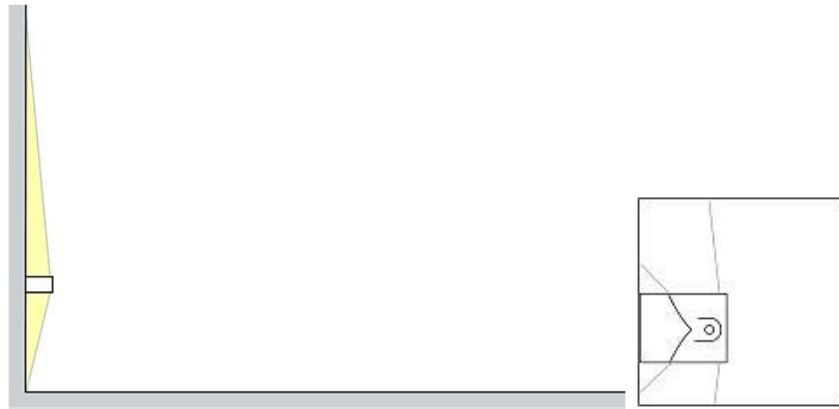


Ilustración 24. Luminaria para fachada

1.7 Sistema de control de iluminación

Para el sistema de control de la iluminación de estas dimensiones podremos utilizar dos sistemas de control de iluminación:

1.7.1 Estándar DALI

Dali (*Digital Addressable Lighting Interface*) ^[6] es un protocolo de control de iluminación en edificios recogido por la IEC62386. Ofrece gran versatilidad para controlar todas las luminarias de una instalación ya sea encender, apagar o regular la intensidad hasta ejecutar escenas, controlar las averías y el mantenimiento de cada luminaria por separado.



Ilustración 25. Logo estándar Dali

Dali destaca por la facilidad del montaje en una instalación ya que se controla simplemente con dos Bus Dali a mayores de la alimentación eléctrica. Es decir, en una instalación controlada por Dali, tendríamos una manguera de 5 hilos correspondientes con fase, neutro, tierra y los dos buses Dali.

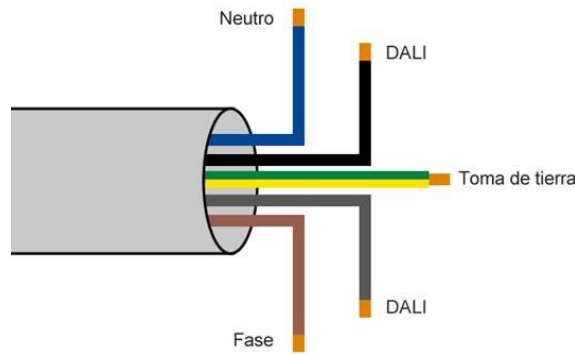


Ilustración 26. Manguera 5 hilos con sistema Dali

Dali puede manejar hasta 64 luminarias controladas por la misma cabecera por segmento. Cada luminaria puede pertenecer a 15 grupos diferentes y a 15 escenas.

Cabe destacar que para utilizar dicho sistema de control hay que disponer de luminarias compatibles con Dali cuya particularidad es que tienen dos bornas adicionales para el Bus Dali. Además de una fuente de alimentación Dali, un control Dali (ya sea un controlador de escenas, un interruptor, un sensor, etc.) y un controlador del bus.

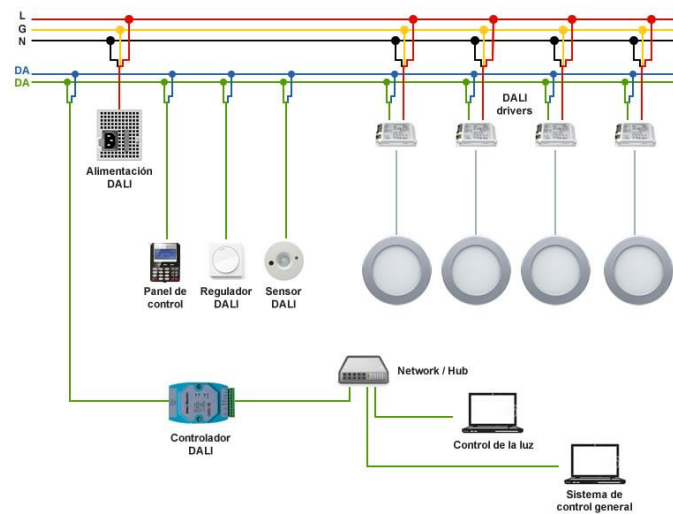


Ilustración 27. Ejemplo de instalación con estándar Dali

Se está desarrollando una mejora de este sistema conocido como Dali2, que suplir las carencias de la primera versión de Dali.



Ilustración 28. Logo estándar Dali2

1.7.2 Estándar DMX512

El estándar DMX512^[7] es un protocolo basado en la utilización de canales para transmitir órdenes de control maestro-esclavo, también es conocido *Digital Multiplex* o simplemente DMX. Dicho estándar tiene un límite de 512 canales por bus y cada canal puede regular el valor de 0 hasta 255. Para el control solo es necesario un controlador DMX512, por lo que es el único maestro de la red.

Para transmitir las órdenes a los equipos se hace a través de cables de 3 o 5 pines con una velocidad mínima de 25 Hz. Esto hace que sea necesario un cable de control que recorra todas las luminarias a controlar en forma de bus.

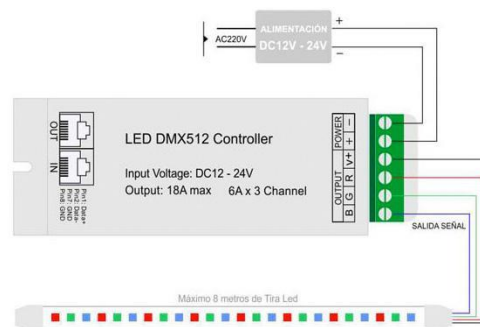


Ilustración 29. Ejemplo estándar DMX con tira LED RGB

Los buses utilizados para el estándar DMX512 son los XLR-3 o XLR-5, si queremos controlar más parámetros. Podríamos usar un XLR-3, utilizando los 3 pines para el nivel de intensidad lumínica, el cambio de color y el efecto de movimiento, por ejemplo.

Existen múltiples software y consolas profesionales de control para dicho estándar como puede ser Daslight, Freestyker DMX, SunLite Suite 3...

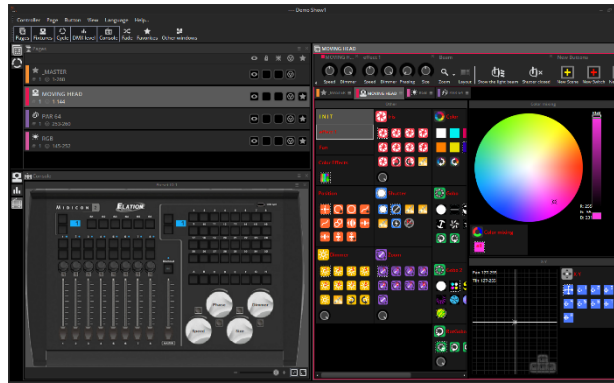


Ilustración 30. Software SunLite Suite 3

1.8 Herramienta de simulación Dialux EVO

Dialux Evo es una herramienta de simulación de iluminación. Es capaz de diseñar, calcular y visualizar la luz de espacios simples, pisos enteros, edificios, escenas exteriores, calles... Este estudio lo realizaremos con la versión 8.0 del software.

A continuación, se mostrará cómo funciona Dialux EVO 8.0^[8]:

En el menú inicial podremos escoger el tipo de instalación que queremos diseñar, ya sea un nuevo proyecto o cargar uno ya realizado. En este Trabajo de Fin de Grado, nos interesa el apartado “Planificación de exteriores y edificios”.

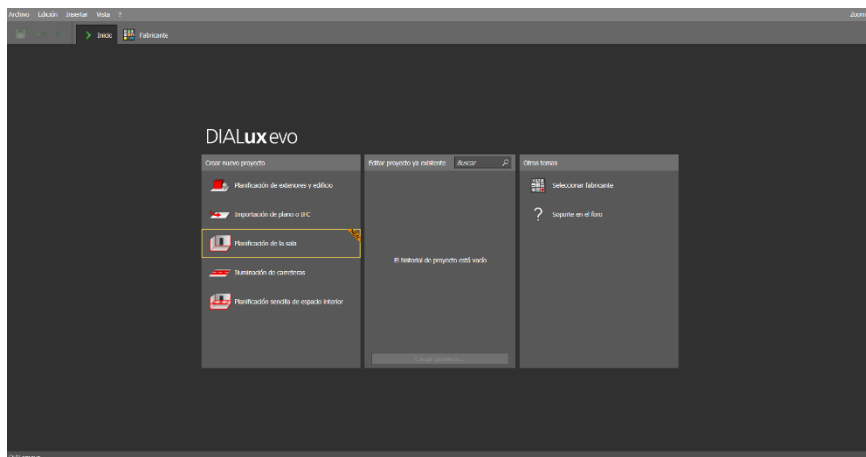


Ilustración 31. Pantalla inicio Dialux EVO

La manera de trabajar de Dialux EVO es siempre de izquierda a derecha y de arriba a abajo:

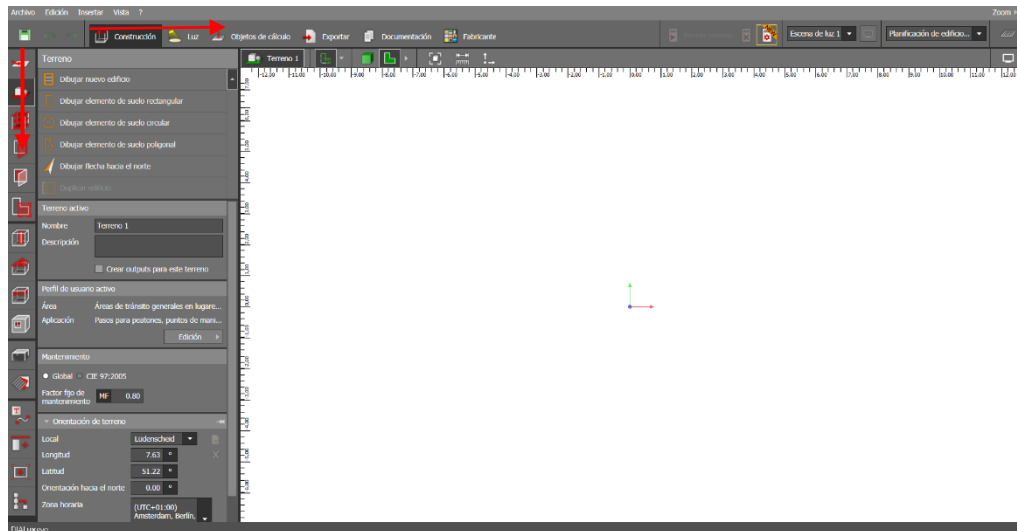


Ilustración 32. Pantalla de inicio “Planificación de exteriores y edificios”

De esta manera tendremos que ir diseñando de esta manera:

1. Construcción
2. Luz
3. Proyecto Completo
4. Objetos de cálculo

Vamos uno por uno cada apartado, desde la construcción del edificio hasta la incorporación de luminarias y ejecutar el proyecto completo.

1.8.1 Apartado “Construcción”

- Planos: aquí podremos exportar planos de otros softwares como AutoCAD para facilitar la construcción en 3D del edificio. Admite varios tipos de archivos como DWG, DWF, JPEG...

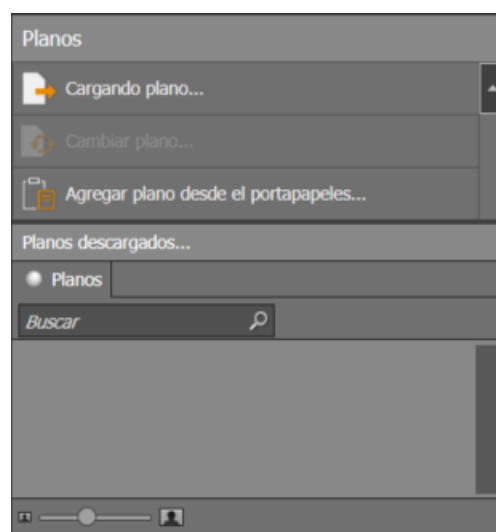


Ilustración 33. Apartado “Planos”

- Terreno: donde podremos dibujar tanto un nuevo edificio de la forma que sea, un suelo, hacía donde está el norte e información variada de que uso va a tener dicho edificio.

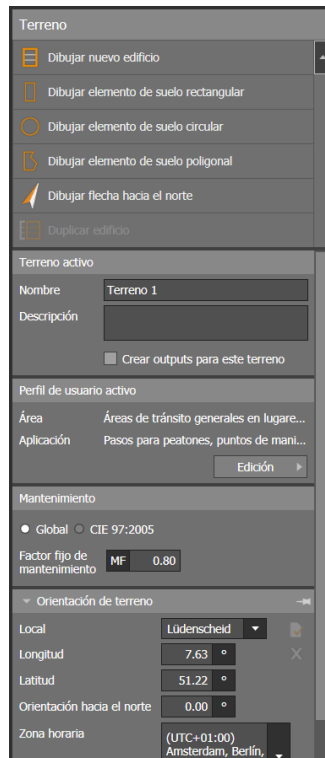


Ilustración 34. Apartado “Terreno”

- Construcción de plantas y edificio: en este subapartado podremos dibujar las diferentes plantas tanto interiores como exteriores y, modificar los puntos ya realizados.

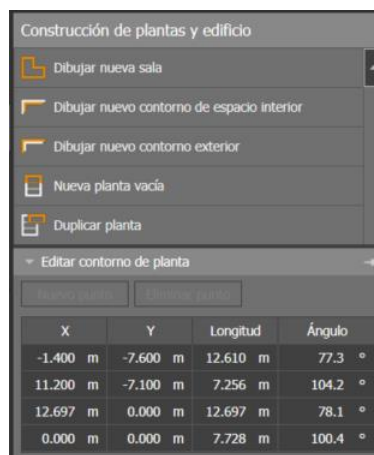


Ilustración 35. Apartado “Construcción de plantas y edificio”

- Aberturas de edificio: aquí podremos introducir las aberturas de nuestro diseño, ya sean ventanas, puertas, tragaluz...

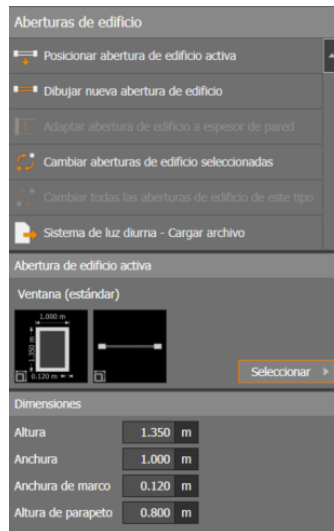


Ilustración 36. Apartado “Aberturas de edificio”

- Elementos de la fachada: en este subapartado podremos introducir elementos exteriores del edificio.

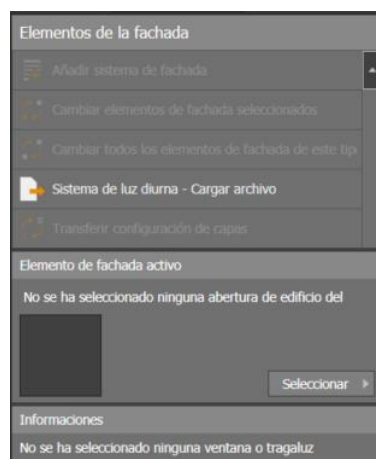


Ilustración 37. “Elementos de la fachada”

- Otros subapartados: Donde podremos introducir diferentes áreas de interior, introducir columnas, tejados, techos, muebles, objetos, etc.

1.8.2 Apartado “Luz”

Dentro de este apartado tenemos:

- Luminarias: aquí podremos escoger e introducir las diferentes luminarias, también la disposición de estas. Para este apartado hemos utilizado el Plugin de Philips donde nos proporciona toda la información de las luminarias y su diseño 3D. Adicionalmente también utilizaremos el Plugin de ERCO donde nos proporciona toda la información necesaria igual que el Plugin de Philips.

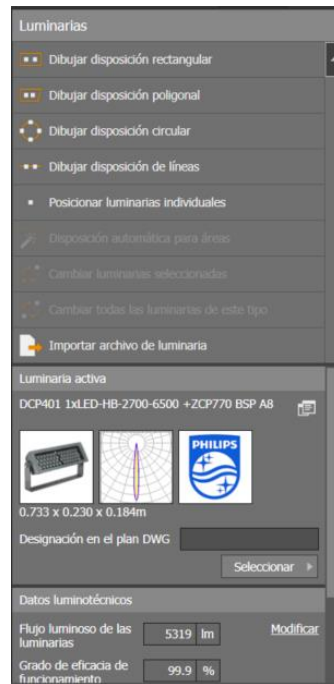


Ilustración 38. Apartado “Luminarias”

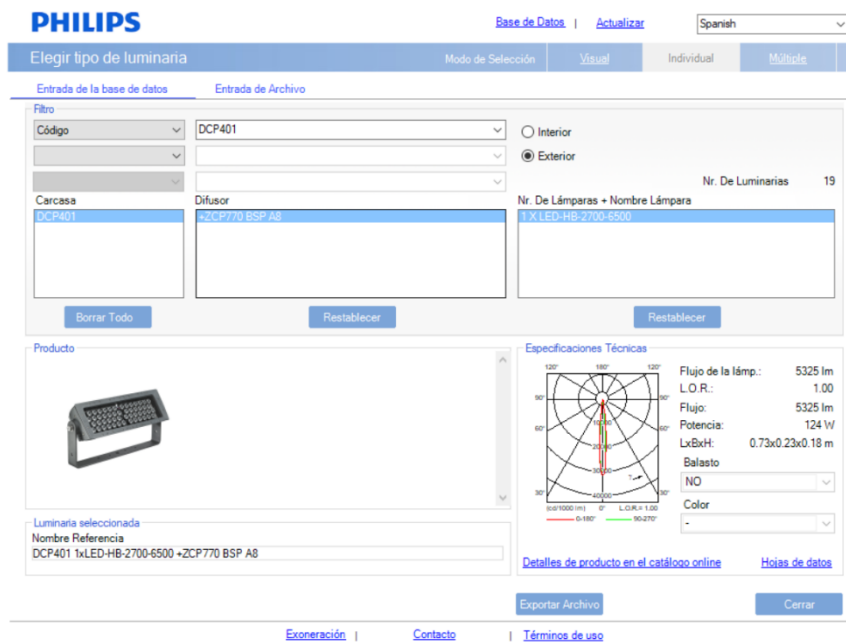


Ilustración 39. Plugin Philips

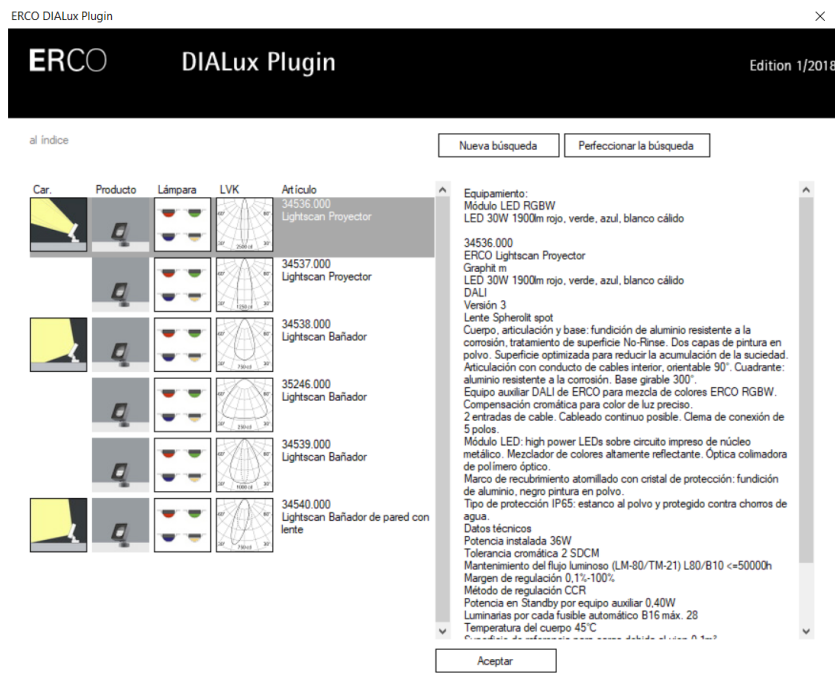


Ilustración 40. Plugin ERCO

- Lámparas: en este subapartado podremos ver la información de las lámparas utilizadas y, una parte muy importante, comparar diferentes luminarias.

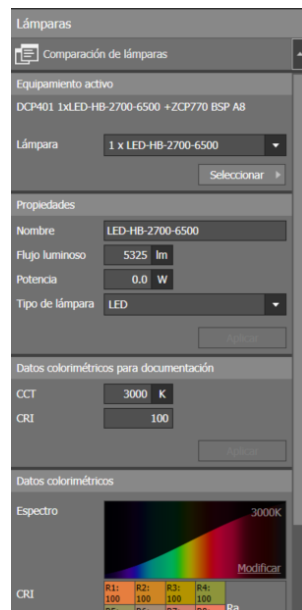


Ilustración 41. Apartado “Lámparas”

- Filtro: Este es un subapartado importante para este Trabajo de Fin de Grado, puesto que se escogen los diferentes filtros (colores) que queremos para las luminarias.

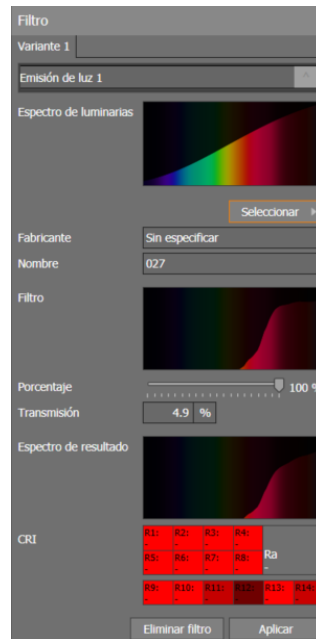


Ilustración 42. Apartado “Filtro”

- Otros subapartados: También hay otros subapartados donde podemos editar las articulaciones de las luminarias, crear diferentes escenas de luz, modificar los factores de mantenimiento y ver el consumo de energía.

1.8.3 Apartado “Objetos de cálculo”

Por último, después de realizar la simulación completa utilizando el botón “Proyecto completo”, tenemos el subapartado “Objetos de cálculo”, que para nuestra simulación es el único subapartado que nos interesa. También podemos ver la simulación de diferentes planos, superficies, áreas de trabajo, áreas de actividad...

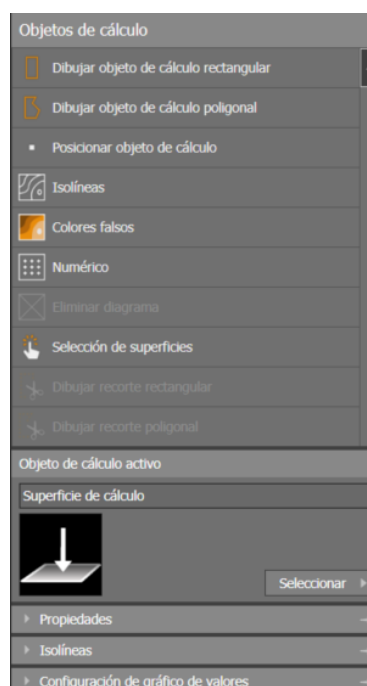


Ilustración 43. Apartado “Objetos de cálculo”



1.8.4 Otros apartados

También tenemos otros apartados como son “Exportar”, donde podemos guardar diferentes vistas de la simulación en 3D. También está el apartado “Documentación” donde nos proporciona información utilizada en la simulación, como por ejemplo las luminarias utilizadas. Por último, está el apartado “Fabricante” donde podemos ver y escoger las luminarias o plugin de los diferentes fabricantes de luminarias.

2. Estudio de los posibles montajes

De todos los montajes vistos en los apartados anteriores tenemos que descartar los montajes en tubo y columna. Estos montajes solo serían eficaces para una cierta altura. Dado que nuestra fachada a iluminar es de una altura de unos 20 metros, solo servirían para iluminar la fachada correspondiente a la primera planta. En caso de querer iluminar más altura, no sería posible debido a que tendríamos luz intrusa dentro de las aulas.

También hay que comentar que aumentaría, aunque de en menor medida, el coste de la instalación debido a que habría que llevar cableado hasta el montaje de tubo o columna alejándolo de la fachada, donde se encontrarían las demás luminarias.

En cuanto a las luminarias de superficie para suelo, sería una opción para tener en cuenta. Aunque también la descartamos porque su instalación, aunque sería próxima a la fachada, tendría que ser a una cierta distancia. Esto provocaría que la luminaria debería instalarse en la zona de paso de viandantes por lo que podría provocar un accidente, o bien, en caso de alejarlo de la zona de paso e instalarla en la zona ajardinada, podría provocar sombras con la circulación de viandantes. Aunque también nos encontraríamos con la problemática de los montajes mencionados más arriba, encarecería el costo de la instalación.

Por lo que se optará por los montajes de empotrables de suelo, en brazo y luminaria en fachada. Con estas tres opciones haremos diferentes simulaciones para ver cuál será la más óptima tanto en iluminación como en coste y en facilidad de montaje.

3. Estudio de las luminarias a utilizar

Algunos tipos de proyectores o bañadores no serán adecuados debido a que necesitamos luminarias con una distribución luminosa con poca apertura. Porque con una apertura luz medianamente amplia tendríamos luz intrusa dentro de las aulas debido a la situación de las ventanas. Esto provocaría que haya molestias visuales dentro del edificio por lo que las luminarias que podemos utilizar se reducirán bastante.

También hay que tener en cuenta la gran mayoría de las luminarias para exterior en el mercado son monocromáticas y, uno de los objetivos de este TFG es el control de las luminarias tanto en intensidad y en color. Por lo que tendremos que escoger luminarias RGB, lo que provoca una disminución aún mayor de las posibilidades de elección.

Aunque podríamos utilizar luminarias monocromáticas utilizando filtros de colores para conseguir el color deseado.

Con estas restricciones comentadas podremos utilizar:

3.1 Bañadores/proyectores

Este tipo de luminarias es la óptima para el objetivo de este TFG puesto que se ilumina una gran cantidad de espacio con un ángulo de apertura mínimo. Además, hay varias opciones y son las principales luminarias de exterior con iluminación RGB.

Podremos utilizarlas tanto el montaje empotrable en suelo, en superficie para suelo, en tubo, columna, brazo e instalación en fachada. Aunque destacaremos su uso en instalación en la fachada.

Utilizaremos las luminarias del Anexo I y el Anexo V, donde tendremos toda la información de dichas luminarias. En los siguientes apartados veremos una simulación en DIALux EVO de ambas luminarias con distintos montajes.

3.2 Proyectores lineales

Este tipo de proyectores nos permite una iluminación tanto vertical como horizontal o una mixta entre ambas. Tenemos multitud de opciones tanto de potencia como ángulo de apertura, lo que nos hace una elección más versátil dentro de las luminarias estudiadas y, su instalación tendría que ser empotrada en la pared.

Dentro de estas luminarias tendríamos la opción de que fuesen RGB, RGBA (LEDs RGB, pero con un LED de color ámbar adicional) y RGBW (LEDs RGB, pero con un LED de color blanco frío o cálido adicional).

Utilizaremos las luminarias del Anexo II y del Anexo III, donde ahí tendremos toda la información de la luminaria. En los siguientes apartados veremos una simulación en DIALux EVO de estas luminarias.

3.3 Uplights y downlights

En el caso de uplights y downlights son más fáciles de instalar debido a que siempre van instaladas en la fachada.



(Por lo tanto, tendrían que ser de una luz monocromática ya sea luz blanca o luz cálida, para conseguir algún color en especial tendríamos que utilizar filtros de colores como hemos comentado al principio del apartado.)

Utilizaremos las luminarias del Anexo IV, donde ahí tendremos toda la información de la luminaria. En los siguientes apartados veremos una simulación en DIALux EVO de estas luminarias.

4. Estudio del sistema de control de iluminación

4.1 Sistema DALI

Ya hemos visto cómo funciona el sistema Dali ahora veremos que componentes necesitamos más detenidamente.

El master Dali es el encargado de controlar de forma fácil y sencilla todos los esclavos del sistema de control. Es posible su configuración mediante un software de ordenador, una tablet, un smartphone... También puede funcionar como un conmutador o un regulador. Tenemos muchas posibilidades para el master Dali.



Ilustración 44. Master Dali con panel táctil

Necesitaremos una fuente de alimentación para el master Dali. Es la encargada de proporcionar la tensión adecuada para el master Dali. Este componente se conecta directamente con la red de alimentación, por lo que es necesario que esté conectado a tierra. Hay algunos master Dali con fuente de alimentación incorporada.



Ilustración 45. Fuente de alimentación master Dali

Al maestro del sistema de control (master Dali) se conectan los dimmer o decodificadores Dali RGB. Es el encargado de regular y manipular las luminarias que haya detrás de este. Hablamos tanto de intensidad como de color.

Es importante que los dimmer sean RGB, debido a que son las luminarias que utilizaremos en las simulaciones de los siguientes apartados. A diferencia de los dimmer normales cuentan como mínimo de 3 canales correspondientes para el bus R, el bus G y el bus B, además del cable de alimentación. Estos dimmer funcionan como esclavos del sistema de control.



Ilustración 45. Dimer Dali RGB

Para los dimmer Dali también es necesario una fuente de alimentación muy similar a la alimentación del master Dali, a no ser que vengan incorporados en los dimmer.

La parte más importante de todo sistema de control es lo que queremos controlar. En este caso son las luminarias, las cuales tienen que ser compatibles con Dali. Las luminarias que vamos a utilizar en los apartados siguientes son compatibles con Dali y también regulables en color RGB/RGBW/RGBA.



Ilustración 46. Ejemplo de conexión Dimmer RGBW

En caso de que la instalación sea demasiado grande o con demasiada longitud necesitaremos un amplificador de señal Dali. En grandes instalaciones es probable que se produzcan grandes caídas de tensión o tengan mucho ruido, este amplificador nos puede proporcionar hasta unos 300 metros más de instalación sin ruido ni caídas de tensión.



Ilustración 47. Amplificador de señal Dali

Como ya hemos visto los diferentes componentes del sistema Dali vamos a ver un ejemplo por el que podremos referenciarlos para hacer el sistema de control definitivo.

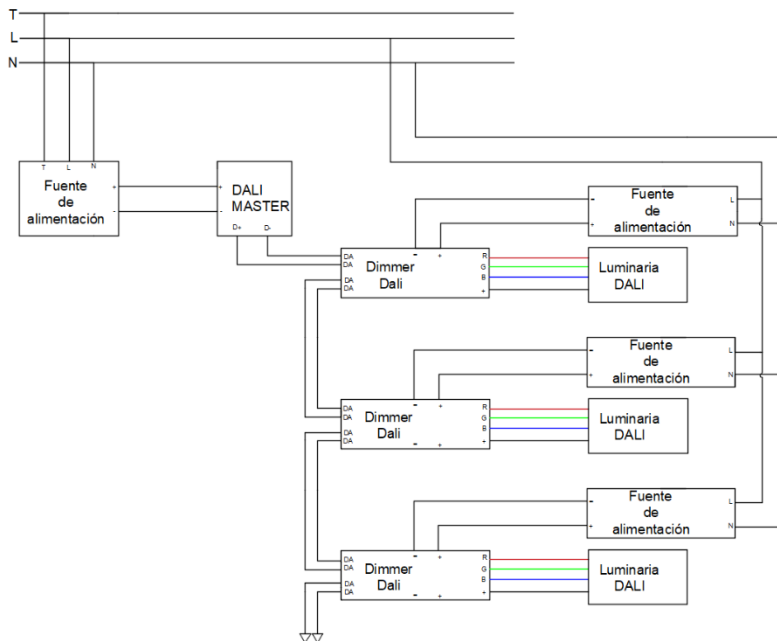


Ilustración 48. Esquema de sistema control Dali

En este caso cada luminaria está en paralelo con la siguiente de manera que se puede controlar de manera independiente cada luminaria con el master Dali.

Si realizáramos una conexión en serie, simplemente nos bastaría con un dimmer y se controlarían todos de manera igual y única. Simplemente se mandaría por el bus de control y recorrería cada luminaria con la misma información de regulación. Aunque tendríamos la limitación de intensidad que tiene el dimmer por canal.

4.2 Protocolo DMX

En la introducción hemos visto un poco del sistema DMX, ahora lo veremos en más profundidad, viendo cada uno de sus componentes. Es muy similar al sistema Dali.

Consta de un master DMX que nos controla y manda las órdenes a las luminarias controlables a través del cable XLR con 3 o 5 pines como vimos en la introducción. Tenemos muchos masters DMX donde elegir, desde masters táctiles hasta masters conmutables pasando por masters controlables por radiofrecuencia.



Ilustración 47. Master DMX USB

Evidentemente necesitaremos de una fuente de alimentación para este master DMX, similar al sistema Dali. Normalmente vienen incluidos dentro de los propios masters para conectar directamente a la red.

También necesitaremos un decodificador DMX RGB con mínimo 3 canales, o bien, de más canales para luminarias RGBW o RGBA. Es el encargado de recibir la información del master y enviarla a la luminaria Led. Esta información puede ser tanto en intensidad como en color del que queremos regular.



Ilustración 48. Decodificador DMX

Necesitaremos de una fuente de alimentación para este decodificador DMX que tiene que ir conectado a la red. Es la encargada transformar la corriente alterna de la red en corriente continua. Obviamente, necesitaremos una fuente de alimentación por decodificador.

Para cualquier sistema DMX necesitaremos luminarias compatibles con dicho sistema. Por lo que necesitaremos que cuenten con conexión para cable XLR ya sea de 3 o 5 pines.

En caso de que nuestra instalación sea demasiado grande, es probable que tengamos ruidos o no llegue la señal correctamente a las luminarias más lejanas. Por esto es necesario un amplificador DMX. Se opta, normalmente, por un amplificador DMX por cada 100 metros de instalación DMX para un correcto funcionamiento del sistema. Además, cabe destacar que los amplificadores DMX cuentan con la salida de diversos puntos de conexión con una sola entrada. Por lo que también funciona como un multiplicador de señal y protege a las luminarias de sobretensiones.



Ilustración 49. Amplificador DMX XLR-3

Finalmente, vamos a ver un ejemplo de un esquema de un sistema DMX con un cable XLR-3, por lo que tendremos 3 canales en total. Es muy similar al del sistema Dali.

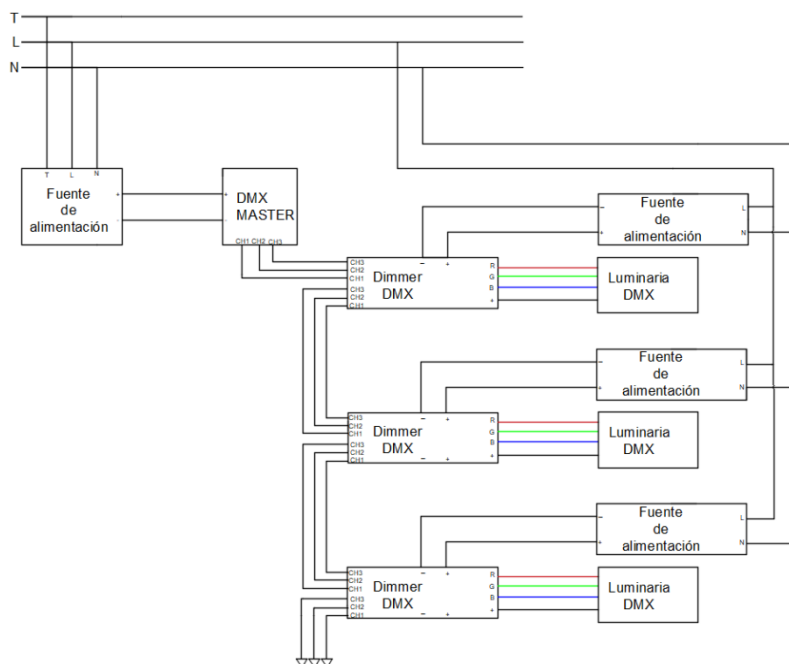


Ilustración 50. Esquema de ejemplo sistema DMX con 3 canales



5. Estudio de la configuración escogida

Para la realización de las diferentes simulaciones haremos una construcción 3D con DIALux EVO del edificio con la fachada a estudiar, con todos los posibles elementos que puedan dificultar la iluminación. Introducción las medidas proporcionadas por la Universidad de Valladolid en el plano y suponiendo una altura por planta de 3.3 metros tendremos:



Ilustración 51. Construcción 3D del edificio IndUva

Sobre esta construcción realizaremos las diferentes simulaciones introduciendo diferentes luminarias, disposiciones, montajes, etc.

En la simulación no se ha incluido las placas naranjas que se posicionan delante de la fachada para mayor facilidad de cálculo.

5.1 Simulación 1

Para esta simulación se quiere destacar la fachada de manera vertical.

5.1.1 Luminarias escogidas

Las luminarias escogidas para esta simulación son los bañadores ERCO 34539000 Lightscan Bañador 1xLED 30W RGBW:

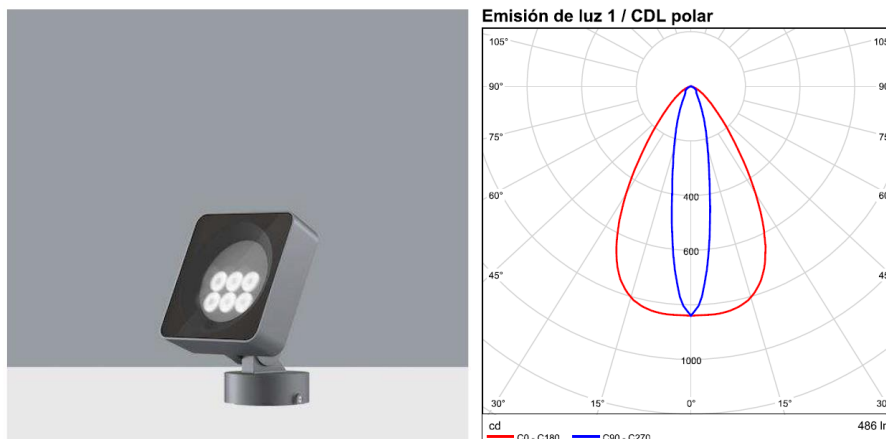


Ilustración 52. Luminaria ERCO 34539000 Lightscan Bañador 1xLED 30W RGB

En el Anexo I se encuentran todos los datos técnicos de esta luminaria, resumiendo los datos más relevantes para nosotros tenemos:

- Potencia instalada: 30 W
- Flujo luminoso: 1949 lm

5.1.2 Tipo de montaje escogido y ubicación de las luminarias LED

Hemos optado por escoger un montaje para todos los elementos de luminaria en fachada en combinación de luminaria empotrable de suelo. Cuya distribución es la correspondiente con la siguiente ilustración.

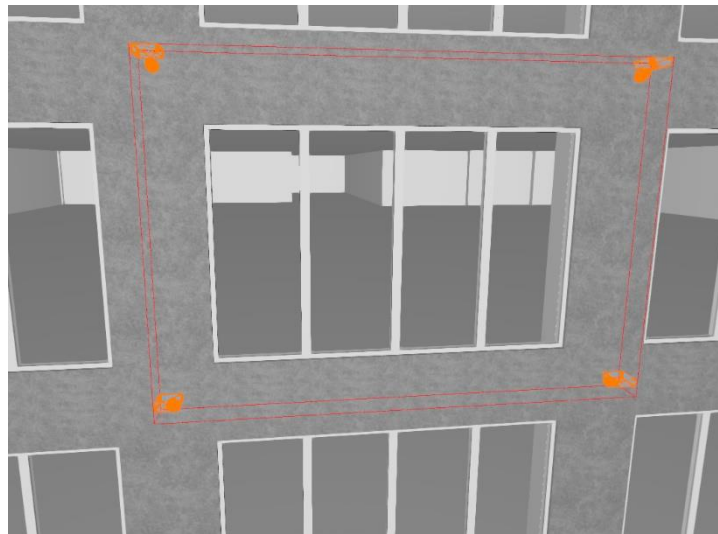


Ilustración 53. Distribución luminarias en Simulación 1

5.1.3 Sistema de control de iluminación escogido

Las luminarias escogidas son perfectamente compatibles con DALI por lo que escogeremos este sistema de control. Como el número total de luminarias es de 54, tendremos los esquemas unifilares similares a la ilustración 48 del apartado “Estudio del sistema de control de iluminación”. Como estas luminarias son RGBW necesitaremos dimmers Dali con 4 canales ya que tenemos que disponer de un 1 bus a mayores que los RGB debido a que es RGBW.

5.1.4 Simulación completa y potencia total necesaria

En la siguiente imagen podremos ver el resultado de la simulación con un tono de color que puede ser regulado:

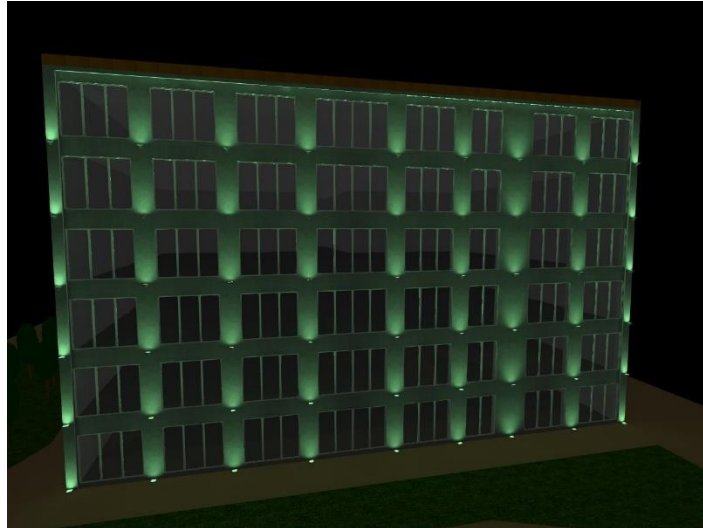


Ilustración 54. Resultado final de la Simulación 1

Cabe destacar la importancia del diagrama de colores falsos donde podemos observar el flujo luminoso en la fachada:

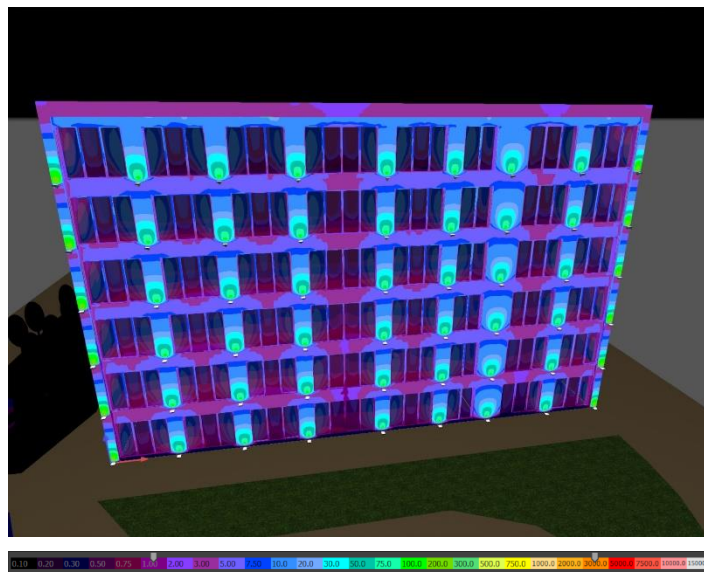


Ilustración 55. Colores falsos de la Simulación 1

Y como en total tenemos 54 luminarias con una potencia instalada de 30 W tendremos una potencia total necesaria de 1620 W.

5.2 Simulación 2

Para esta simulación se quiere destacar la fachada de manera horizontal.

5.2.1 Luminarias escogidas

Las luminarias escogidas para esta simulación son los proyectores lineales Philips Lighting BCS559 L609 1xLED-HB-9/RGB:

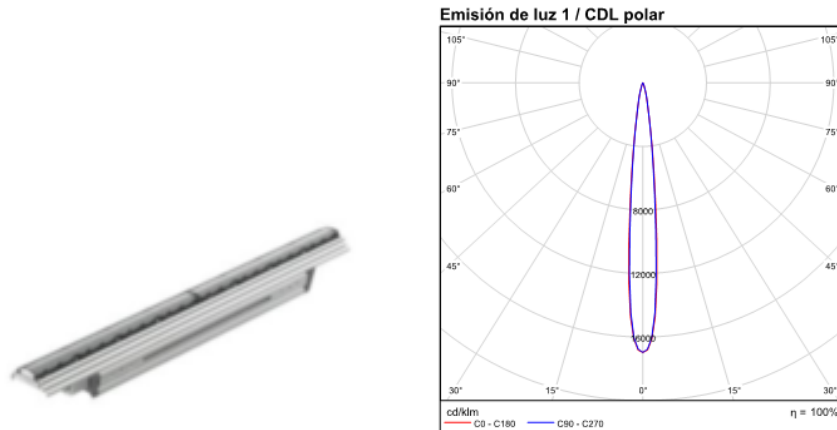


Ilustración 56. Luminaria Philips Lighting BCS559 L609 1xLED-HB-9/RGB

En el Anexo II se encuentran todos los datos técnicos de esta luminaria, resumiendo los datos más relevantes para nosotros tenemos:

- Potencia instalada: 40 W
- Flujo luminoso: 1009 lm

5.2.2 Tipo de montaje escogido y ubicación de las luminarias LED

Hemos optado por escoger un montaje para todos los elementos de luminaria en fachada. Cuya distribución es la correspondiente con la siguiente ilustración.

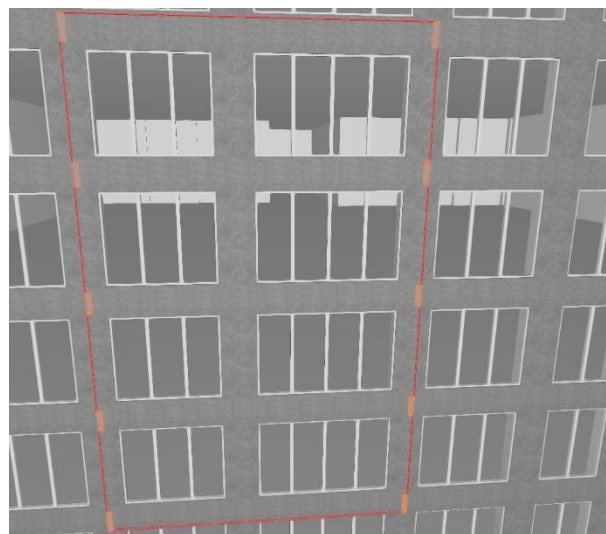


Ilustración 57. Distribución luminarias en Simulación 2

5.2.3 Sistema de control de iluminación escogido

Las luminarias escogidas son perfectamente compatibles con DALI por lo que escogeremos este sistema de control. Como el número total de luminarias es de 48, tendremos los esquemas similares a la ilustración 48 del apartado “Estudio del sistema de control de iluminación”.

5.2.4 Simulación completa y potencia total necesaria

En la siguiente imagen podremos ver el resultado de la simulación con un tono de color que puede ser regulado:

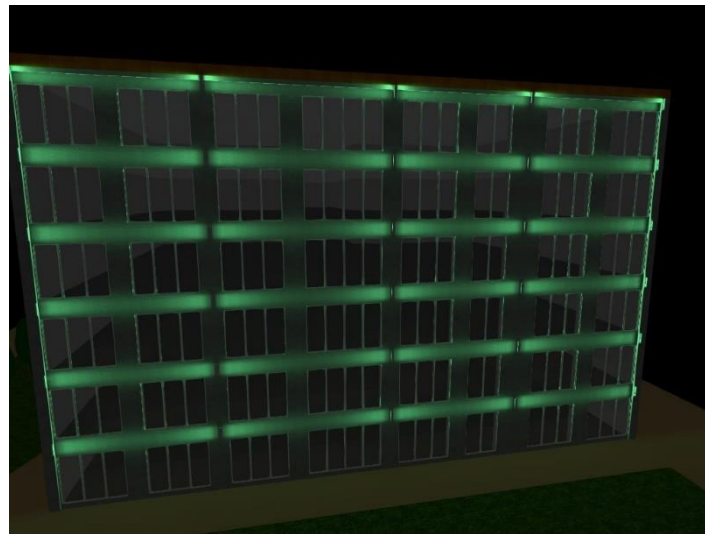


Ilustración 58. Resultado final de la Simulación 2

Cabe destacar la importancia del diagrama de colores falsos donde podemos observar el flujo luminoso en la fachada:

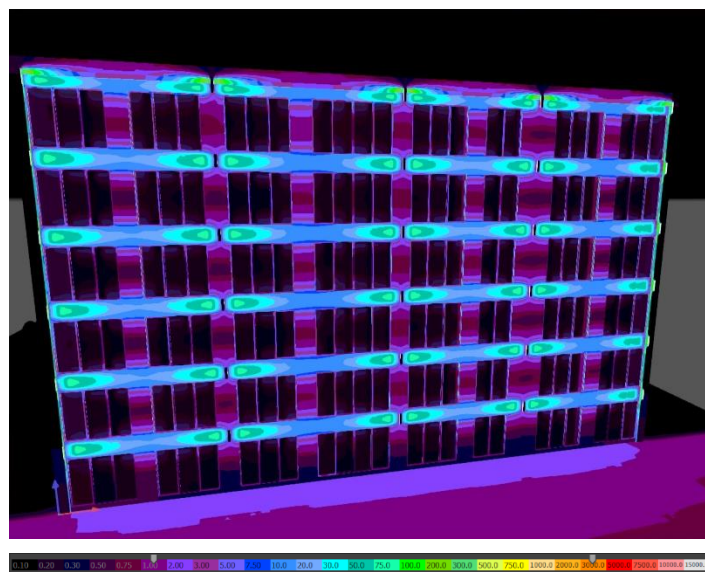


Ilustración 59. Colores falsos de la Simulación 2

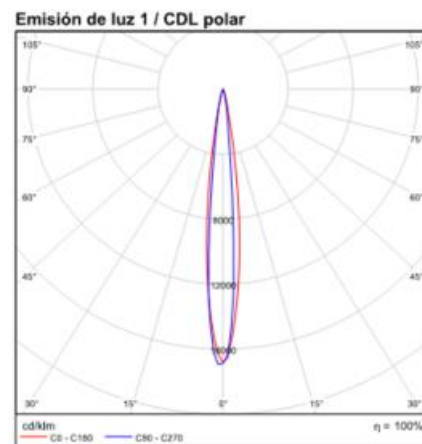
Y como en total tenemos 48 luminarias con una potencia instalada de 40 W tendremos una potencia total necesaria de 1920 W.

5.3 Simulación 3

Esta simulación es otra distribución de luminarias que la que estaban en la Simulación 2. En este caso se quiere destacar la fachada entera e iluminamos de manera vertical y horizontal para dar una distribución de luz más uniforme.

5.3.1 Luminarias escogidas

Las luminarias escogidas para esta simulación son los proyectores lineales Philips Lighting BCS559 L609 1xLED-HB-9/RGBW:



6. Ilustración 60. Luminaria Philips Lighting BCS559 L609 1xLED-HB-9/RGBW

En el Anexo III se encuentran todos los datos técnicos de esta luminaria, resumiendo los datos más relevantes para nosotros tenemos:

- Potencia instalada: 23 W
- Flujo luminoso: 655 lm

5.3.2 Tipo de montaje escogido y ubicación de las luminarias LED

Hemos optado por escoger un montaje para todos los elementos de luminaria en fachada en combinación de luminaria empotrable de suelo. Cuya distribución es la correspondiente con la siguiente ilustración.

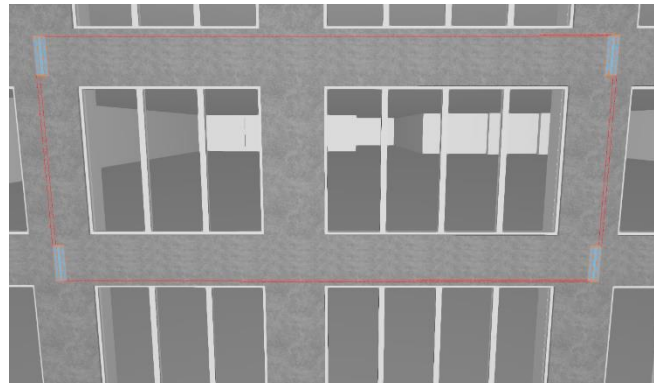


Ilustración 61. Distribución luminarias en Simulación 3

5.3.3 Sistema de control de iluminación escogido

Las luminarias escogidas son perfectamente compatibles con DALI por lo que escogeremos este sistema de control. Como el número total de luminarias es de 54, tendremos los esquemas unifilares similares a la ilustración 48 del apartado “Estudio del sistema de control de iluminación”.

5.3.4 Simulación completa y potencia total necesaria

En la siguiente imagen podremos ver el resultado de la simulación con un tono de color que puede ser regulado:

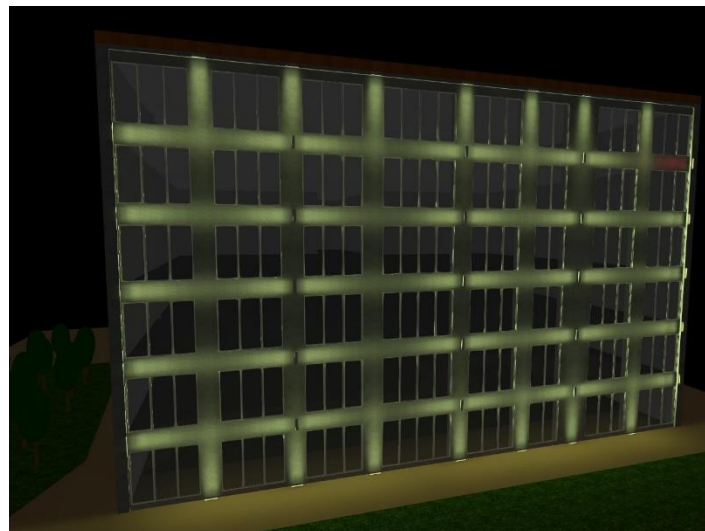


Ilustración 62. Resultado final de la Simulación 3

Cabe destacar la importancia del diagrama de colores falsos donde podemos observar el flujo luminoso en la fachada:

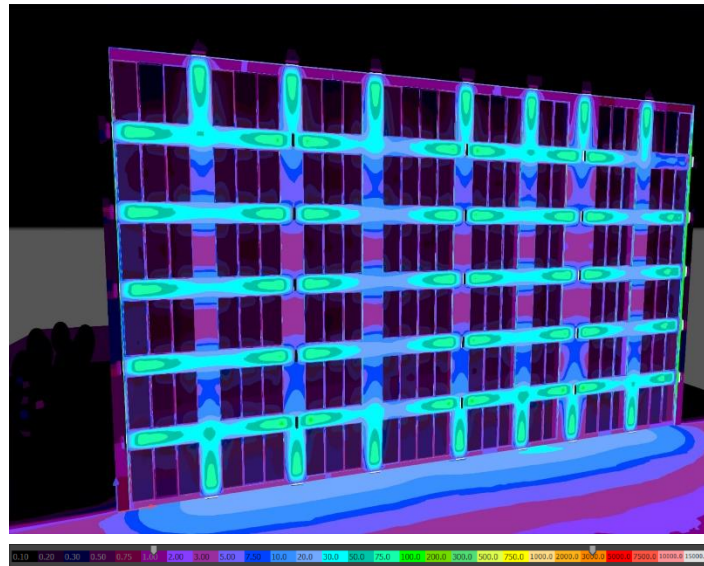


Ilustración 63. Colores falsos de la Simulación 3

Y como en total tenemos 54 luminarias con una potencia instalada de 23 W tendremos una potencia total necesaria de 1242 W.

5.4 Simulación 4

En este caso vamos a utilizar luminarias unicolor blanco. No son regulables, pero permiten la instalación de un filtro para que la luz emitida por la lámpara pueda ser de un determinado color.

5.4.1 Luminarias escogidas

Las luminarias escogidas para esta simulación son los downlights y uplights ERCO 85102000 Zylinder 1xLED 18W neutral white:

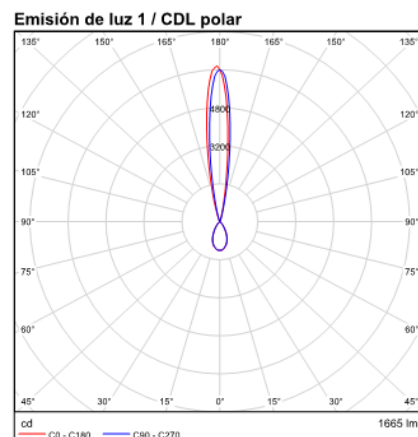


Ilustración 64. Luminaria ERCO 85102000 Zylinder 1xLED 18W neutral White

En el Anexo IV se encuentran todos los datos técnicos de esta luminaria, resumiendo los datos más relevantes para nosotros tenemos:

- Potencia instalada: 21 W
- Flujo luminoso: 1654 lm

5.4.2 Tipo de montaje escogido y ubicación de las luminarias LED

Hemos optado por escoger un montaje para todos los elementos de luminaria en fachada. Cuya distribución es la correspondiente con la siguiente ilustración.

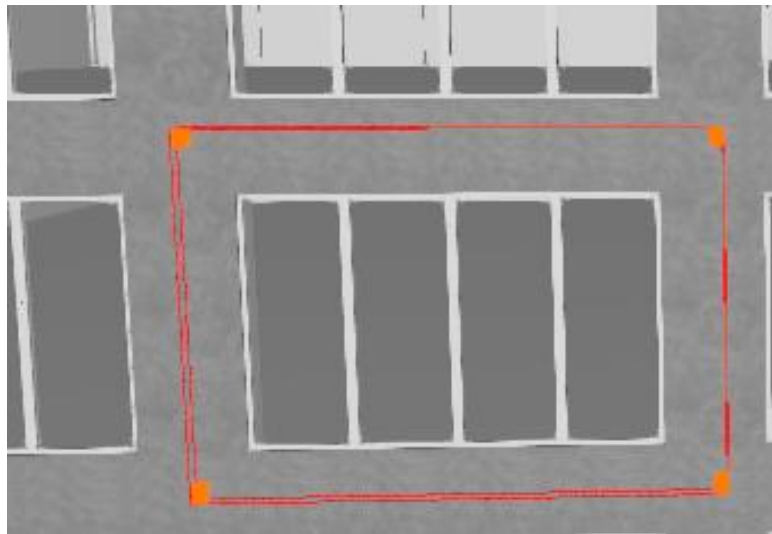


Ilustración 65. Distribución luminarias en Simulación 4

5.4.3 Sistema de control de iluminación escogido

Las luminarias escogidas en este caso no son regulables. Aunque es una gran desventaja para este tipo de luminarias, se incluye esta simulación para dar una visión más a la iluminación de la fachada y, tener más posibilidades de elección.

5.4.4 Simulación completa y potencia total necesaria

En la siguiente imagen podremos ver el resultado de la simulación:



Ilustración 66. Resultado final de la Simulación 4

Cabe destacar la importancia del diagrama de colores falsos donde podemos observar el flujo luminoso en la fachada:

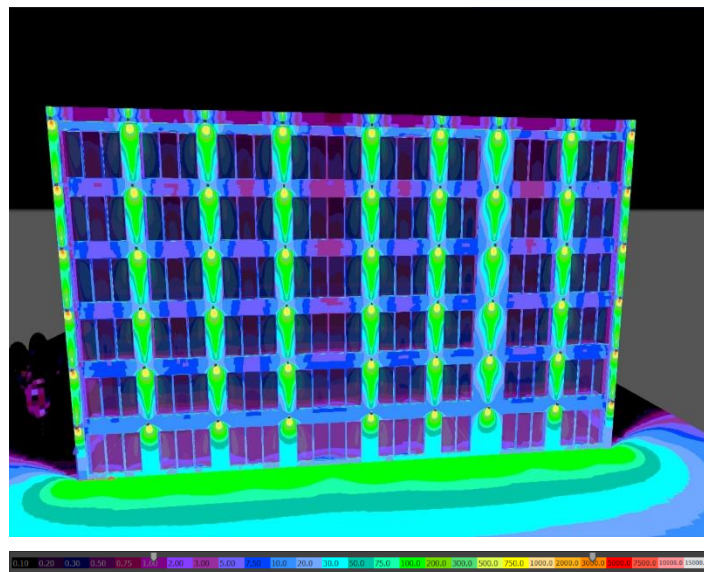


Ilustración 67. Colores falsos de la Simulación 4

Y como en total tenemos 54 luminarias con una potencia instalada de 21 W tendremos una potencia total necesaria de 1134 W.

5.5 Simulación 5

En este caso vamos a utilizar proyectores para iluminación de fachadas con un montaje en tubo.

5.5.1 Luminarias escogidas

Las luminarias escogidas para esta simulación son los proyectores Philips Lighting BCP463:

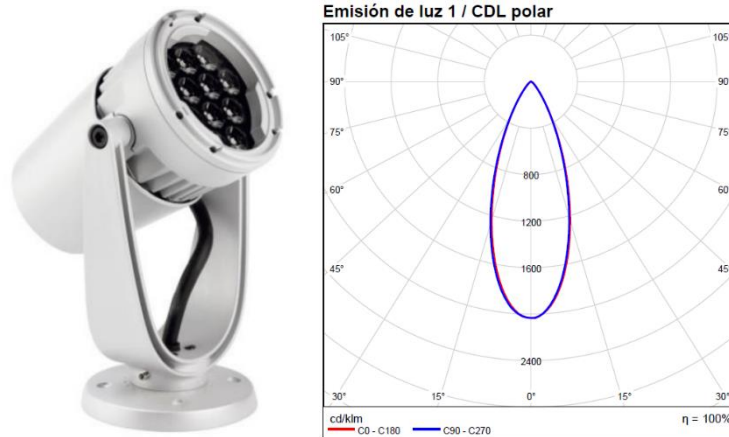


Ilustración 68. Luminaria Philips Lighting BCP463

En el Anexo I se encuentran todos los datos técnicos de esta luminaria, resumiendo los datos más relevantes para nosotros tenemos:

- Potencia instalada: 30 W
- Flujo luminoso: 1240 lm

5.5.2 Tipo de montaje escogido y ubicación de las luminarias LED

Hemos optado por escoger un montaje en brazo para todos los elementos. Cuya distribución es la correspondiente con la siguiente ilustración.

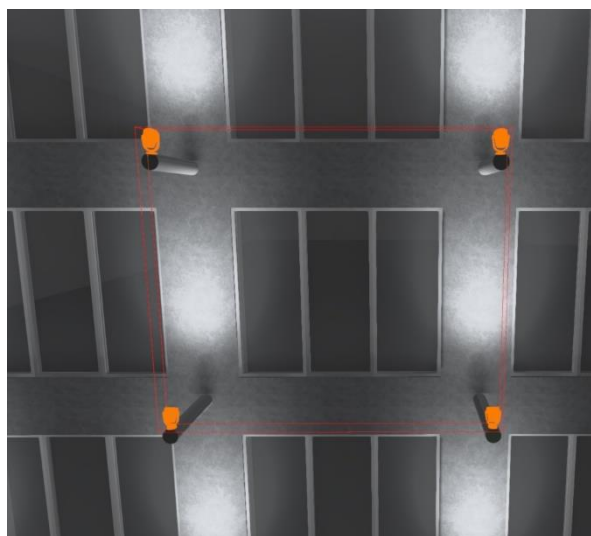


Ilustración 69. Distribución luminarias en Simulación 5

5.5.3 Sistema de control de iluminación escogido

Las luminarias escogidas son perfectamente compatibles con DALI por lo que escogeremos este sistema de control. Como el número total de luminarias es de 54, tendremos los esquemas unifilares similares a la ilustración 48 del apartado “Estudio del sistema de control de iluminación”.

5.5.4 Simulación completa y potencia total necesaria

En la siguiente imagen podremos ver el resultado de la simulación:

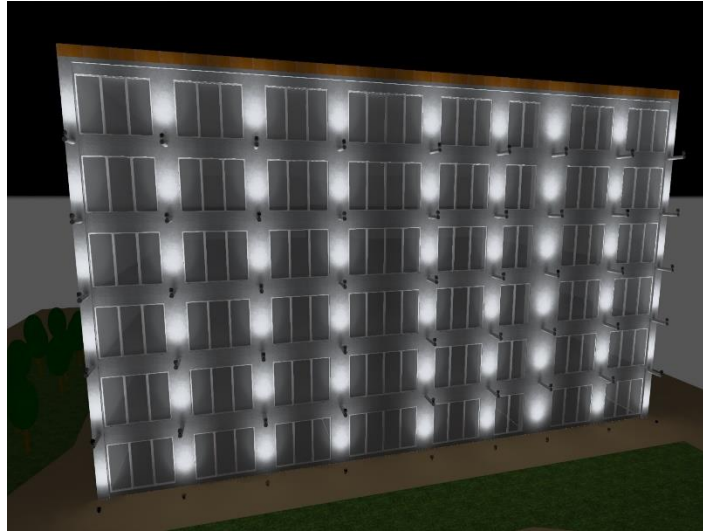


Ilustración 70. Resultado final de la Simulación 5

Cabe destacar la importancia del diagrama de colores falsos donde podemos observar el flujo luminoso en la fachada:

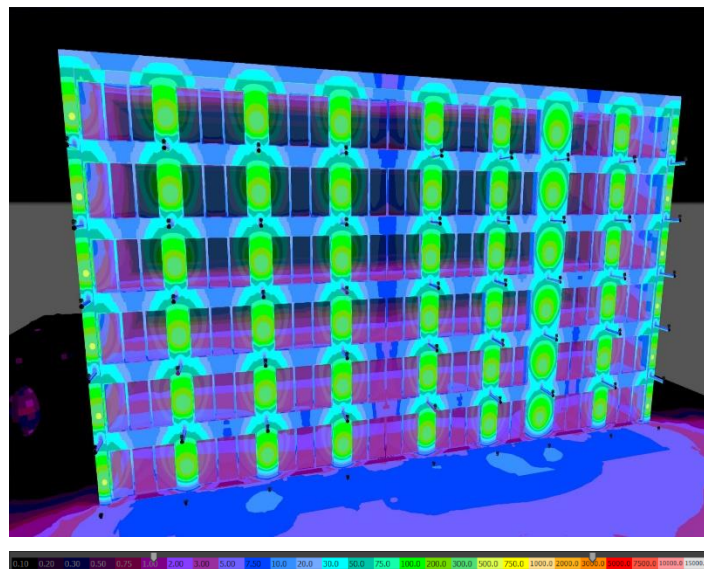


Ilustración 71. Colores falsos de la Simulación 5

Y como en total tenemos 54 luminarias con una potencia instalada de 30 W tendremos una potencia total necesaria de 1620 W.

5.6 Comparativa de las diferentes simulaciones

En este apartado vamos a ver una tabla comparativa de las simulaciones realizadas anteriormente:

	Sim. 1	Sim. 2	Sim. 3	Sim. 4	Sim. 5
Número	54	48	54	54	54
$P_{individual}$ (W)	30	40	23	21	30
P_{total} (W)	1620	1920	1242	1134	1620
Flujo luminoso (Lm)	1949	1009	655	1654	1240
Tipo de luminaria	Bañador	Proyector lineal	Proyector lineal	Uplight y downlight	Proyector
Control RGB	Si	SI	Si	No	Si
Luminancia media (Lx)	10.6	10.6	25.2	33.5	71.4
Luminancia vertical (Lx)	21	105	184	40.5	31.0

Tabla 3. Comparativa de simulaciones

En ninguno de los casos cumplimos las normativas mencionadas al principio de este apartado.

En cuanto a la ITC-EA-02, no llegamos en ningún caso al nivel de iluminancia medio recomendado para el alumbrado ornamental por inundación, excepto en la simulación 5. Ya que aun considerando que la zona donde se encuentra el edificio de la fachada a iluminar (Edificio IndUVa) fuese una zona con una iluminación de alrededores baja, tendríamos una iluminancia media recomendada de 60 lux.

En el caso de la ITC-EA-03, tampoco cumplimos con iluminancia vertical en ventanas en ningún caso debido a que nuestra zona se correspondería con la E3 como se ha comentado al principio del apartado. Por lo que la iluminación vertical máxima es de 10 lux. Para mejorar la iluminación vertical de nuestras simulaciones tendríamos que separar o inclinar las luminarias del edificio. Lo que provocaría tener mayor luz intrusa dentro de las aulas.



6. Cálculo de las secciones de cable

En este apartado vamos a calcular las secciones y canalizaciones de los cables que vamos a utilizar y las normativas que regulan la elección de dichas secciones y canalizaciones.

Contaremos con la ITC-BT-19, que nos dará las secciones e intensidades máximas admisibles en función del número de cables conductores y del aislamiento escogido.

También utilizaremos la ITC-BT-09 en la que se recoge en el apartado “5.2.3 Redes de control y auxiliares” que “se emplearán sistemas y materiales similares a los indicados para los circuitos de alimentación, la sección mínima de los conductores será de 2,5 mm²”.

Además, la ITC-BT-09 referente a la caída de tensión máxima nos dice que “la máxima caída de tensión entre en el origen de la instalación y cualquier otro punto de la instalación, será menor o igual que 3 %”, que en nuestro caso se corresponderá con 6.9 V.

También la ITC-BT-09 apartado “5.2.2 Redes aéreas” nos dice que “La sección mínima a emplear, para todos los conductores incluido el neutro, será de 4 mm²”.

Tendremos en cuenta la derivación individual para esta instalación, que está regulada por ITC-BT-15 que nos dice que “la caída de tensión máxima admisible será para el caso de derivaciones individuales en suministros para un único usuario en que no existe línea general de alimentación de 1,5 %”.

Por último, en lo correspondiente a las canalizaciones usaremos la ITC-BT-21. Donde cogemos los diámetros exteriores de los tubos en función del número y la sección de los conductores o cables a conducir.

Teniendo en cuenta todas las normativas anteriormente mencionadas, procedemos al cálculo.

Para todas las simulaciones, cada línea vertical de luminarias irá en una sola línea, es decir, tendremos 9 líneas de iluminación de una longitud muy similar. Supondremos una longitud para todas las líneas de 25 metros aproximadamente.

6.1 Secciones de la instalación

6.1.1 Simulación 1

Tendremos varias líneas monofásicas con alimentación a 230 V y, en este caso las luminarias son de 30W de potencia con un $\cos \varphi$ de 1.

6.1.1.1 Cálculo por línea

Tendremos 6 luminarias por línea, lo que nos hace una potencia de 180 W, por lo que con estos datos calcularemos la intensidad:

$$I = \frac{P}{U \cdot \cos \varphi} = \frac{180 \text{ W}}{230 \text{ V} \cdot 1} = 0.783 \text{ A}$$

Ecuación 3. Intensidad por línea de la sim. 1

Teniendo en cuenta la ITC-BT-19 y, que tendremos conductores aislados en tubos en montaje superficial (lo que nos da el tipo de instalación de cable no enterrado

B1) y que el número de conductores cargados es de 3 y tendremos un aislamiento de PVC, tendemos una sección de cable conductor de 1,5 mm².

Método de instalación*	Número de conductores cargados y tipo de aislamiento												
A1		3x PVC	2x PVC		3x XLPE	2x XLPE							
A2	3x PVC	2x PVC		3x XLPE	2x XLPE								
B1				3x PVC	2x PVC		3x XLPE		2x XLPE				
B2			3x PVC	2x PVC		3x XLPE	2x XLPE						
C					3x PVC		2x PVC	3x XLPE		2x XLPE			
E						3x PVC		2x PVC	3x XLPE		2x XLPE		
F							3x PVC		2x PVC	3x XLPE		2x XLPE	
Sección mm ² COBRE	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
1,5	11	11,5	13	13,5	15	16	16,5	19	20	21	24	--	
2,5	15	16	17,5	18,5	21	22	23	26	26,5	29	33	--	
4	20	21	23	24	27	30	31	34	36	38	45	--	
6	25	27	30	32	36	37	40	44	46	49	57	--	
10	34	37	40	44	50	52	54	60	65	68	76	--	
16	45	49	54	59	66	70	73	81	87	91	105	--	
25	59	64	70	77	84	88	95	103	110	116	123	140	
35	--	77	86	96	104	110	119	127	137	144	154	174	
50	--	94	103	117	125	133	145	155	167	175	188	210	
70	--	--	--	149	160	171	185	199	214	224	244	269	
95	--	--	--	180	194	207	224	241	259	271	296	327	
120	--	--	--	208	225	240	260	280	301	314	348	380	
150	--	--	--	236	260	278	299	322	343	363	404	438	
185	--	--	--	268	297	317	341	368	391	415	464	500	
240	--	--	--	315	350	374	401	435	468	490	552	590	
300	--	--	--	361	401	430	461	500	538	563	638	678	
400	--	--	--	431	480	515	552	609	645	674	770	812	
500	--	--	--	493	551	592	633	687	741	774	889	931	
630	--	--	--	565	632	681	728	790	853	890	1028	1071	

Se indican como 3x los circuitos trifásicos y como 2x los monofásicos.
A efecto de las intensidades admisibles los cables con aislamiento termoplástico a base de poliolefina (Z1) son equivalentes a los cables con aislamiento de policloruro de vinilo (V).

Ilustración 72. Tabla 1 del apartado 2.2.3 de la ITC-BT-19

Con esta sección de cable conductor tenderemos una caída de tensión de:

$$\Delta V = \frac{2 \cdot P \cdot \rho_{Cu} \cdot L}{U \cdot S} = \frac{2 \cdot 180 \text{ W} \cdot 25 \text{ m}}{230 \text{ V} \cdot 48 \cdot 1,5 \text{ mm}^2} = 0,543 \text{ V}$$

Ecuación 4. Diferencia de potencial por línea de la sim. 1

Considerando una conductividad del cobre a 70° de: $\rho_{Cu} = \frac{1 \cdot \Omega \cdot \text{mm}}{48 \text{ m}}$

Por lo que cumplimos la normativa de la caída de tensión ya que es menor que 6.9 V.

Con esta sección del cable conductor nos iremos al apartado 2.3 de la ITC-BT-19 para calcular la sección del cable de protección. Lo que en este caso nos da una sección igual que el cable conductor ya que es menor de 16 mm².

Secciones de los conductores de fase o polares de la instalación (mm ²)	Secciones mínimas de los conductores de protección (mm ²)
S ≤ 16	S (*)
16 < S ≤ 35	16
S > 35	S/2

(*) Con un mínimo de:
2,5 mm² si los conductores de protección no forman parte de la canalización de alimentación y tienen una protección mecánica
4 mm² si los conductores de protección no forman parte de la canalización de alimentación y no tienen una protección mecánica

Ilustración 73. Apartado 2.3 de la ITC-BT-19

Adicionalmente tendremos el cable de neutro que se corresponde con la misma sección de cable que el cable conductor, por lo que es de 1.5 mm².

6.1.1.2 Cálculo de línea unión

De igual manera, calcularemos la sección de la línea donde se unen todas las líneas individuales hasta la línea general de alimentación:

Tendremos una potencia total de 30 W por 54 luminarias, es decir, 1620 W, por lo que:

$$I = \frac{P}{U \cdot \cos \varphi} = \frac{1620 \text{ W}}{400 \text{ V} \cdot 1} = 4.05 \text{ A}$$

Ecuación 5. Intensidad de la línea total de la sim. 1

De igual modo que con las líneas individuales, vamos a la ITC-BT-19. Lo que nos proporciona una sección de cable de 1,5 mm².

Hacemos la comprobación de la caída de tensión:

$$\Delta V = \frac{2 \cdot P \cdot \rho_{Cu} \cdot L}{U \cdot S} = \frac{2 \cdot 1620 \text{ W} \cdot 15 \text{ m}}{400 \text{ V} \cdot 48 \cdot 1,5 \text{ mm}^2} = 1.687 \text{ V}$$

Ecuación 6. Diferencia de potencial de la línea total de la sim. 1

Como la caída de tensión es acumulativa, tendremos en cuenta las 9 líneas de 6 luminarias aguas abajo de la línea de unión, es decir:

$$\Delta V_{total} = 9 \cdot \Delta V_{línea} + \Delta V_{unión} = 9 \cdot 0.543 + 1.687 \text{ V} = 6.57 \text{ V}$$

Ecuación 7. Diferencia de potencial de la línea total de la sim. 1

Cumplimos con la normativa, pero muy justos, por lo que aumentares la sección de la línea de unión para mayor seguridad. Pasamos a la siguiente sección (2,5 mm²) y comprobamos:

$$\Delta V = \frac{2 \cdot P \cdot \rho_{Cu} \cdot L}{U \cdot S} = \frac{2 \cdot 1620 \text{ W} \cdot 15 \text{ m}}{400 \text{ V} \cdot 48 \cdot 2,5 \text{ mm}^2} = 1.013 \text{ V}$$

Ecuación 8. Diferencia de potencial de la línea total de la sim. 1

Comprobamos la caída de tensión acumulativa:

$$\Delta V_{total} = 9 \cdot \Delta V_{línea} + \Delta V_{unión} = 9 \cdot 0.543 + 1.013 \text{ V} = 5.9 \text{ V}$$

Ecuación 9. Diferencia de potencial de la línea total de la sim. 1

Como todo lo calculado anteriormente, que nos ha servido para ver que cumplimos la normativa respecto a la caída de tensión, nos da una sección menor que 4 mm², tenemos que quedarnos con la sección de 4 mm² para el conductor, el neutro y el cable de protección.

6.1.1.3 Cálculo de canalizaciones

Por último, calcularemos las dimensiones de la canalización tanto de la alimentación de las luminarias como de su sistema de control. Ambos pertenecen al apartado 1.2.1 de la ITC-BT-21 que se corresponde con “Tubos en canalizaciones fijas en superficie”:

Sección nominal de los conductores unipolares (mm ²)	Diámetro exterior de los tubos (mm)				
	Número de conductores				
	1	2	3	4	5
1,5	12	12	16	16	16
2,5	12	12	16	16	20
4	12	16	20	20	20
6	12	16	20	20	25
10	16	20	25	32	32
16	16	25	32	32	32
25	20	32	32	40	40
35	25	32	40	40	50
50	25	40	50	50	50
70	32	40	50	63	63
95	32	50	63	63	75
120	40	50	63	75	75
150	40	63	75	75	--
185	50	63	75	--	--
240	50	75	--	--	--

Ilustración 74. Tabla 2 del apartado 1.2.1 de la ITC-BT-21

Por lo que tendremos:

- Para la alimentación de las luminarias tendremos un tubo de un diámetro de 20 mm, ya que tenemos 3 cables (1 conductor + 1 neutro + 1 protección). Tanto para la línea de unión como para las líneas individuales.
- Para el sistema de control tendremos un tubo de diámetro de 16 mm, ya que también tenemos 3 cables de control de 2.5 mm² correspondientes con los RGB (1 Red + 1 Green + 1 Blue).
- Resumiendo, tendremos:

	Cable	Sección	Diámetro de tubo
Líneas individuales	Conductor	4 mm ²	20 mm
	Neutro	4 mm ²	
	Protección	4 mm ²	
Línea unión	Conductor	4 mm ²	20 mm
	Neutro	4 mm ²	
	Protección	4 mm ²	
Sistema de control	Control R	2.5 mm ²	16 mm
	Control G	2.5 mm ²	
	Control B	2.5 mm ²	

6.1.2 Simulación 2

En esta simulación las luminarias son de 23 W de potencia. Tendremos 2 líneas de 6 luminarias con una potencia de 138 W y, 3 líneas de 12 luminarias con 276 W.

6.1.2.1 Cálculo de línea tipo 1

Empezaremos por la primera línea de 5 luminarias (Línea tipo 1):

$$I_{Línea\ 1} = \frac{P}{U \cdot \cos \varphi} = \frac{138\ W}{230\ V \cdot 1} = 0.6\ A$$

Ecuación 12. Intensidad por la línea de tipo 1 de la sim. 2

Por lo que tendremos también la sección mínima según la ITC-BT-19. Realizamos la comprobación de la caída de tensión:

$$\Delta V_{Línea\ 1} = \frac{2 \cdot P \cdot \rho_{Cu} \cdot L}{U \cdot S} = \frac{2 \cdot 138\ W \cdot 25\ m}{230\ V \cdot 48 \cdot 1,5\ mm^2} = 0.417\ V$$

Ecuación 13. Diferencia de potencial por la línea de tipo 1 de la sim. 2

Cumplimos la normativa, por lo que las secciones serán iguales que la anterior simulación. Nos iremos a las secciones mínimas, es decir 1,5 mm².

6.1.2.2 Cálculo de línea tipo 2

Ahora veamos la línea de 12 luminarias (Línea tipo 2):

$$I_{Línea\ 2} = \frac{P}{U \cdot \cos \varphi} = \frac{276\ W}{230\ V \cdot 1} = 1.2\ A$$

Ecuación 14. Intensidad por la línea de tipo 2 de la sim. 2

Por lo que tendremos también la sección mínima según la ITC-BT-19. Realizamos la comprobación de la caída de tensión:

$$\Delta V_{Línea\ 2} = \frac{2 \cdot P \cdot \rho_{Cu} \cdot L}{U \cdot S} = \frac{2 \cdot 276\ W \cdot 25\ m}{230\ V \cdot 48 \cdot 1,5\ mm^2} = 0.833\ V$$

Ecuación 15. Diferencia de potencial por la línea de tipo 2 de la sim. 2

Por lo que las secciones serán iguales que en el anterior apartado. Nos iremos a las secciones mínimas, 1,5 mm².

6.1.2.3 Cálculo de la línea de unión

Por último, calcularemos la línea de unión, que une todas las líneas anteriores. Tendremos un total de 48 luminarias con una potencia de 23 W, lo que nos da un total de 1104 W:

$$I = \frac{P}{U \cdot \cos \varphi} = \frac{1104\ W}{400\ V \cdot 1} = 2.76\ A$$

Ecuación 16. Intensidad por línea total de la sim. 2

Por lo que tendremos también la sección mínima según la ITC-BT-19. Realizamos la comprobación de la caída de tensión:

$$\Delta V_{Línea\ unión} = \frac{2 \cdot P \cdot \rho_{Cu} \cdot L}{U \cdot S} = \frac{2 \cdot 1104\ W \cdot 15\ m}{400\ V \cdot 48 \cdot 1,5\ mm^2} = 1.15\ V$$

Ecuación 17. Diferencia de potencial por línea total de la sim. 2

Como la caída de tensión es acumulativa, tendremos en cuenta todas líneas aguas abajo de la línea de unión, es decir:

$$\Delta V_{total} = 2 \cdot \Delta V_{Línea 1} + 3 \cdot \Delta V_{Línea 2} + \Delta V_{unión} =$$

$$2 \cdot 0.417 + 3 \cdot 0.833 + 1.15 = 4.48 V$$

Ecuación 18. Diferencia de potencial de la línea total de la sim. 1

Cumplimos con la normativa, por lo que la caída de potencial total es menor que 6.9 V, por lo que nos iremos a una sección mínima.

Como todo lo calculado anteriormente, que nos ha servido para ver que cumplimos la normativa respecto a la caída de tensión, nos da una sección menor que 4 mm², tenemos que quedarnos con la sección de 4 mm² para el conductor, el neutro y el cable de protección.

6.1.1.4 Cálculo de canalizaciones

En cuanto a las canalizaciones tendríamos el diámetro de los tubos que la simulación 1, sería de 16 mm². Correspondiente con las secciones mínimas.

- Entonces, resumiendo, tendremos:

	Cable	Sección	Diámetro de tubo
Líneas individuales tipo 1	Conductor	4 mm ²	20 mm ²
	Neutro	4 mm ²	
	Protección	4 mm ²	
Líneas individuales tipo 2	Conductor	4 mm ²	20 mm ²
	Neutro	4 mm ²	
	Protección	4 mm ²	
Línea unión	Conductor	4 mm ²	20 mm ²
	Neutro	4 mm ²	
	Protección	4 mm ²	
Sistema de control	Control R	2.5 mm ²	16 mm ²
	Control G	2.5 mm ²	
	Control B	2.5 mm ²	

6.1.3 Simulación 3

En esta simulación las luminarias son de 23 W de potencia. Tendremos 2 líneas de 2 luminarias con una potencia de 46 W, 3 líneas de 12 luminarias con 276 W y, 2 línea de 7 luminarias con 161 W.

6.1.3.1 Cálculo por línea tipo 1

Empezaremos por la primera línea de 2 luminarias (Línea tipo 1):

$$I_{Línea 1} = \frac{P}{U \cdot \cos \varphi} = \frac{46 W}{230 V \cdot 1} = 0.2 A$$

Ecuación 18. Intensidad por la línea de tipo 1 de la sim. 3

Por lo que tendremos también la sección mínima según la ITC-BT-19. Realizamos la comprobación de la caída de tensión:

$$\Delta V_{Línea 1} = \frac{2 \cdot P \cdot \rho_{Cu} \cdot L}{U \cdot S} = \frac{2 \cdot 46 W \cdot 25 m}{230 V \cdot 48 \cdot 1,5 mm^2} = 0.139 V$$

Ecuación 19. Diferencia de potencial por la línea de tipo 1 de la sim. 3

Cumplimos con la normativa de la caída de tensión de 6,9 V.

6.1.3.2 Calculo por línea tipo 2

Seguiremos con la línea de 12 luminarias (luminaria tipo 2), que es el mismo caso que la línea tipo 2 de la simulación 2. Es decir, una caída de tensión de 0,883 y una sección de cable de 1.5 mm².

6.1.3.3 Calculo por línea tipo 3

Empezaremos por la primera línea de 7 luminarias (Línea tipo 3):

$$I_{Línea 3} = \frac{P}{U \cdot \cos \varphi} = \frac{161 W}{230 V \cdot 1} = 0.7 A$$

Ecuación 20. Intensidad por la línea de tipo 3 de la sim. 3

Por lo que tendremos también la sección mínima según la ITC-BT-19. Realizamos la comprobación de la caída de tensión:

$$\Delta V_{Línea 3} = \frac{2 \cdot P \cdot \rho_{Cu} \cdot L}{U \cdot S} = \frac{2 \cdot 161 W \cdot 25 m}{230 V \cdot 48 \cdot 1,5 mm^2} = 0.486 V$$

Ecuación 21. Diferencia de potencial por la línea de tipo 1 de la sim. 3

Cumplimos con la normativa de la caída de tensión de 6,9 V.

6.1.3.4 Calculo de línea unión

Tendremos un total de 54 luminarias con una potencia de 23 W, lo que nos da un total de 1242 W:

$$I = \frac{P}{U \cdot \cos \varphi} = \frac{1242 W}{230 V \cdot 1} = 5.4 A$$

Ecuación 22. Intensidad por línea total de la sim. 2

Por lo que tendremos también la sección mínima según la ITC-BT-19. Realizamos la comprobación de la caída de tensión:

$$\Delta V_{Línea unión} = \frac{2 \cdot P \cdot \rho_{Cu} \cdot L}{U \cdot S} = \frac{2 \cdot 1242 W \cdot 15 m}{230 V \cdot 48 \cdot 1,5 mm^2} = 2.25 V$$

Ecuación 23. Diferencia de potencial por línea total de la sim. 2

Como la caída de tensión es acumulativa, tendremos en cuenta las 9 líneas de 6 luminarias aguas debajo de la línea de unión, es decir:

$$\Delta V_{total} = 2 \cdot \Delta V_{Línea 1} + 3 \cdot \Delta V_{Línea 2} + 2 \cdot \Delta V_{Línea 3} + \Delta V_{unión} = \\ 2 \cdot 0.2 + 3 \cdot 0.833 + 2 \cdot 0.486 + 2.25 = 6.12 V$$

Ecuación 24. Diferencia de potencial de la línea total de la sim. 1

Cumplimos con la normativa, por lo que la caída de potencial total es menor que 6.9 V, por lo que nos iremos a una sección mínima.

Como todo lo calculado anteriormente, que nos ha servido para ver que cumplimos la normativa respecto a la caída de tensión, nos da una sección menor que 4 mm², tenemos que quedarnos con la sección de 4 mm² para el conductor, el neutro y el cable de protección.

6.1.3.5 Cálculo de canalizaciones

En cuanto a las canalizaciones tendríamos el diámetro de los tubos que las simulaciones anteriores, sería de 20 mm. Correspondiente con las secciones mínimas.

- Entonces, resumiendo, tendremos:

	Cable	Sección	Diámetro de tubo
Líneas individuales	Conductor	4 mm ²	20 mm ²
	Neutro	4 mm ²	
	Protección	4 mm ²	
Línea unión	Conductor	4 mm ²	20 mm ²
	Neutro	4 mm ²	
	Protección	4 mm ²	
Sistema de control	Control R	2.5 mm ²	16 mm ²
	Control G	2.5 mm ²	
	Control B	2.5 mm ²	

6.1.4 Simulación 4

En esta simulación las luminarias son de 18 W y contamos con un total de 54 luminarias y, las líneas individuales son de 6 luminarias.

Como tanto en las líneas individuales como en la línea de unión tienen menor potencia podemos decir que tendremos secciones mínimas, como en los anteriores apartados.

Entonces tendremos igual que en los anteriores apartados:

	Cable	Sección	Diámetro de tubo
Líneas individuales	Conductor	4 mm ²	20 mm ²
	Neutro	4 mm ²	
	Protección	4 mm ²	
Línea unión	Conductor	4 mm ²	20 mm ²
	Neutro	4 mm ²	
	Protección	4 mm ²	
Sistema de control	Control R	2.5 mm ²	16 mm ²
	Control G	2.5 mm ²	
	Control B	2.5 mm ²	

6.1.5 Simulación 5

Evidentemente, para esta última simulación como tenemos la misma potencia que la simulación 1, es decir 1620 W, y un montaje muy similar tendremos las mismas secciones mínimas. Las líneas individuales son también de 6 luminarias.

Entonces tendremos igual que en los anteriores apartados:

	Cable	Sección	Diámetro de tubo
Líneas individuales	Conductor	4 mm ²	20 mm ²
	Neutro	4 mm ²	
	Protección	4 mm ²	
Línea unión	Conductor	4 mm ²	20 mm ²
	Neutro	4 mm ²	
	Protección	4 mm ²	
Sistema de control	Control R	2.5 mm ²	16 mm ²
	Control G	2.5 mm ²	
	Control B	2.5 mm ²	

6.2 Derivación individual

Como hemos mencionado al principio del apartado principal la caída de tensión máxima para una derivación individual de un único usuario es de 1,5 %, por lo que procederemos con este dato calculamos la máxima caída de tensión:

$$\Delta V_{m\acute{a}x} = 0.015 \cdot 400 V = 6 V$$

Ecuación 25. Diferencia de potencial máximo en la derivación individual

Como solo vamos a utilizar iluminación para este proyecto utilizaremos una electrificación básica con 5750 W a 230 V. Calculamos la sección con estos datos:

$$S_{DI} = \frac{2 \cdot P \cdot \rho_{Cu} \cdot L}{U \cdot \Delta V_{m\acute{a}x}} = \frac{2 \cdot 5750 W \cdot 25 m}{230 V \cdot 48 \cdot 6 V} = 4.34 mm^2$$

Ecuación 26. Sección de la derivación individual de la sim. 1

Por lo que según la ITC-BT-19, tendremos una sección de 6 mm².

Respecto a la canalización según la ITC-BT-21, tendríamos un diámetro de tubo de 20 mm.



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

7. Protecciones de la instalación

En este apartado veremos las protecciones que utilizaremos en la instalación. Tanto que protecciones como cuál es su función.

7.1 Interruptor magnetotérmico

Es el dispositivo encargado de proteger la instalación eléctrica tanto de sobrecargas como de cortocircuitos. El interruptor magnetotérmico tiene dos protecciones frente al paso de corriente: una de tipo magnético y otra de tipo térmico.



Ilustración 75. Interruptor magnetotérmico

7.2 Interruptor diferencial

Este dispositivo tiene que proteger a las personas de accidentes con contactos directos e indirectos de elementos con cierta diferencia de potencial. Cuando exista un defecto a tierra o una derivación es el encargado de desconectar el circuito.



Ilustración 76. Interruptor diferencial

7.3 Descargador de sobretensiones

Este dispositivo se encarga de proteger la instalación contra sobretensiones de origen atmosférico que pueden afectar a la instalación de forma directa o indirecta. De manera sencilla, es el encargado de derivar a tierra si cae un rayo en la instalación (si está en intemperie) por ejemplo.



Ilustración 77. Descargador de sobretensiones

7.4 Interruptor general automático (IGA)

Es un dispositivo de corte que puede soportar, interrumpir y establecer corrientes. Evidentemente también es un dispositivo de protección que puede interrumpir automáticamente sobreintensidades cuando hay un fallo en la instalación. Este elemento protege toda la instalación.



Ilustración 78. Interruptor general automático

7.5 Pequeño interruptor automático (PIA)

Este dispositivo es una medida de protección más pues es el encargado de proteger la instalación de posibles cortocircuitos o sobrecargas que se puedan producir tanto en la instalación como en el cableado. Los PIAs protegen circuitos en concreto, en nuestro caso, cada línea de luminarias.

7.6 Otros componentes

Las protecciones y componentes que veremos en este apartado no pertenecen a la propia instalación íntegra, pero si a la instalación total desde la acometida hasta la instalación propiamente dicha.

7.6.1 Acometida

La acometida es la derivación desde la red de distribución de la empresa suministradora hasta la instalación del usuario.

7.6.2 Contador inteligente

Es un medidor que calcula el consumo eléctrico de una instalación. Este componente tiene la posibilidad de comunicar la información a través de la red. También permite configurar la medida o interrumpir el servicio de manera remota.



Ilustración 79. Contador inteligente





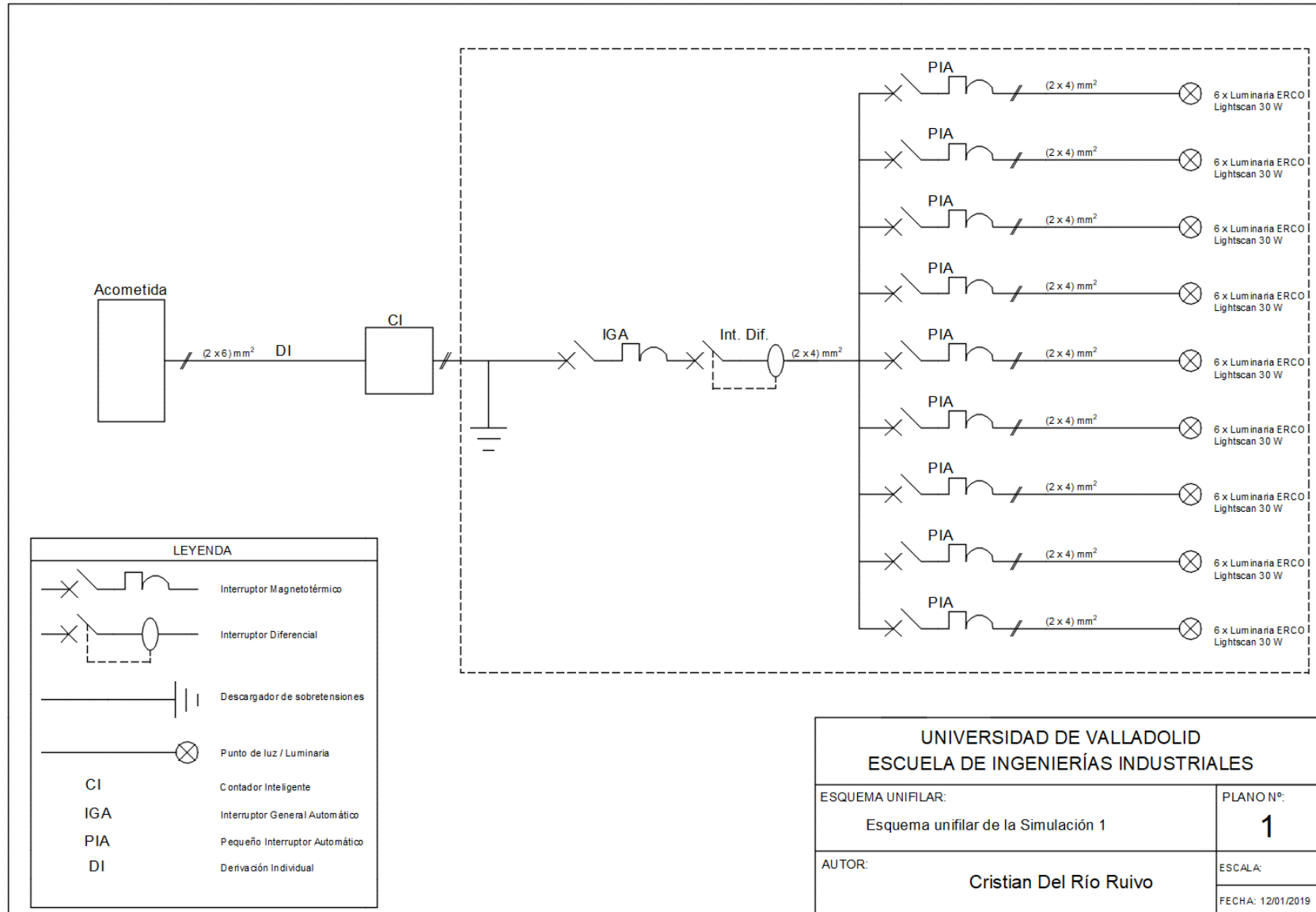
8. Esquemas unifilares

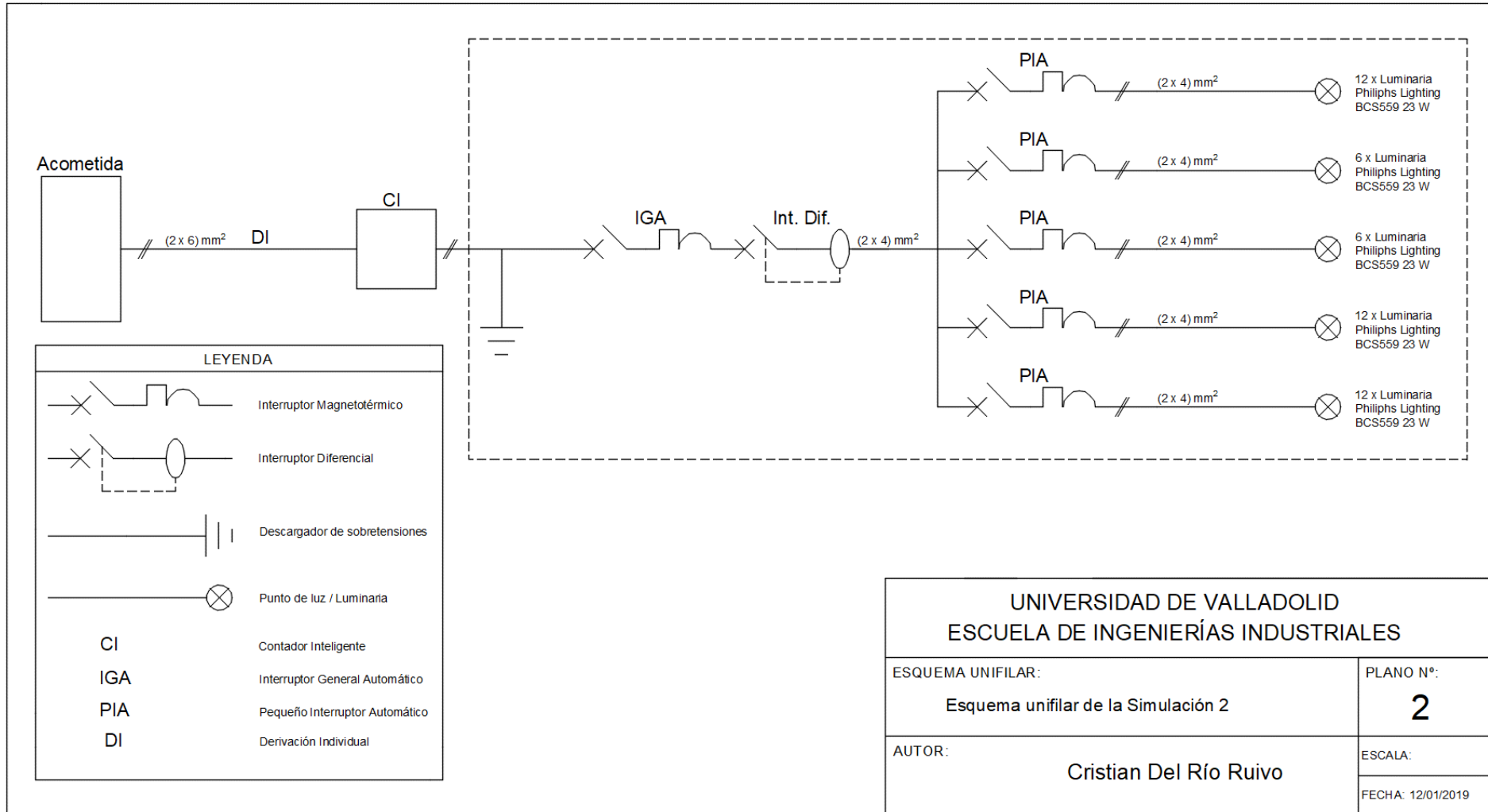
En todos los esquemas unifilares veremos ciertos componentes rodeados de una línea de puntos. Esto quiere decir que esta es la instalación de la iluminación de la fachada. Es decir, en este caso la instalación está alimentada por la propia red, pero se va a intentar dentro de lo posible que se alimenten con las placas fotovoltaicas que dispone el edificio.

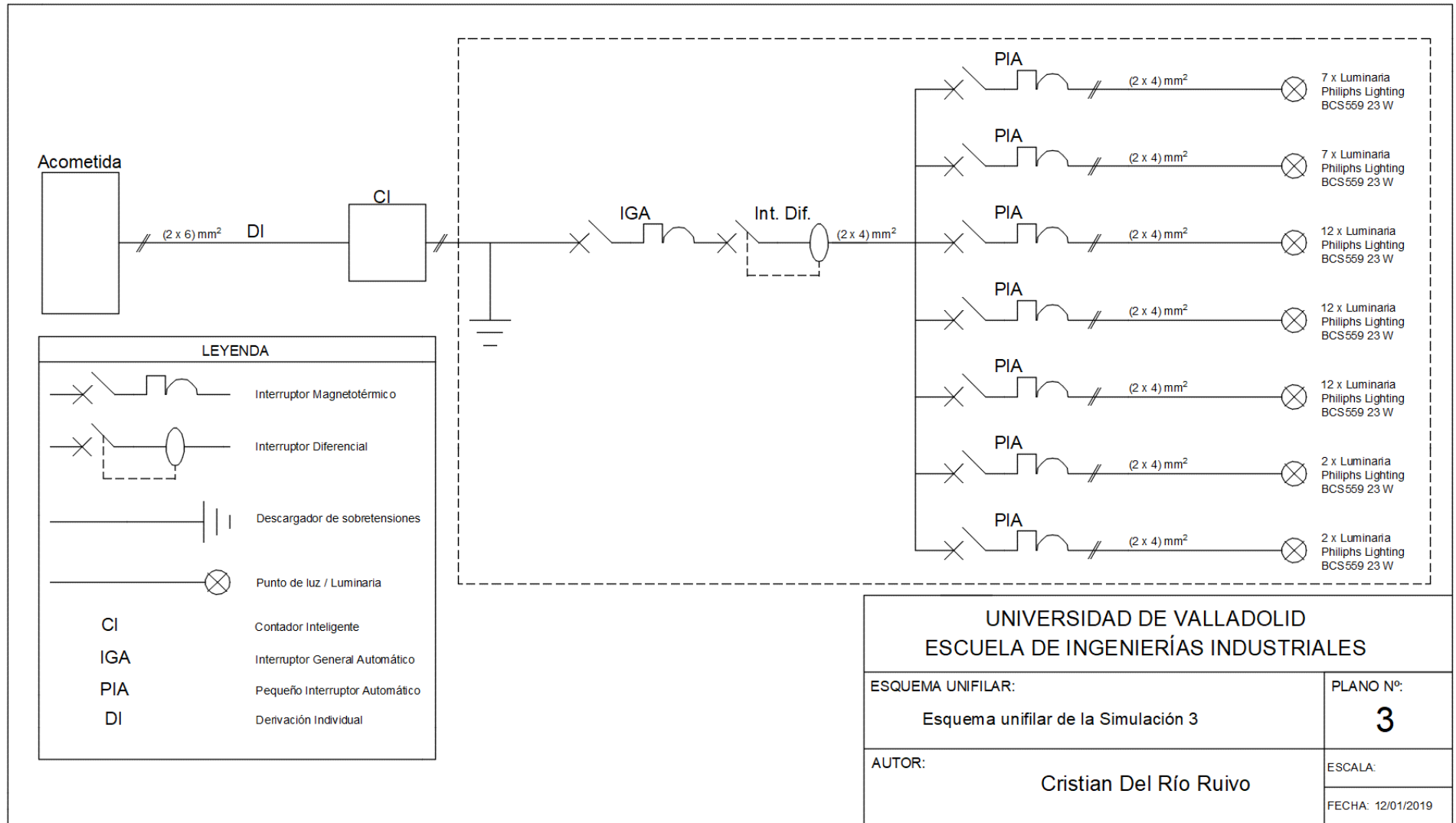
De esta manera simplemente habría que desconectar la alimentación de la red y conectar la instalación a las placas fotovoltaicas, manteniendo los elementos dentro de las líneas de puntos.

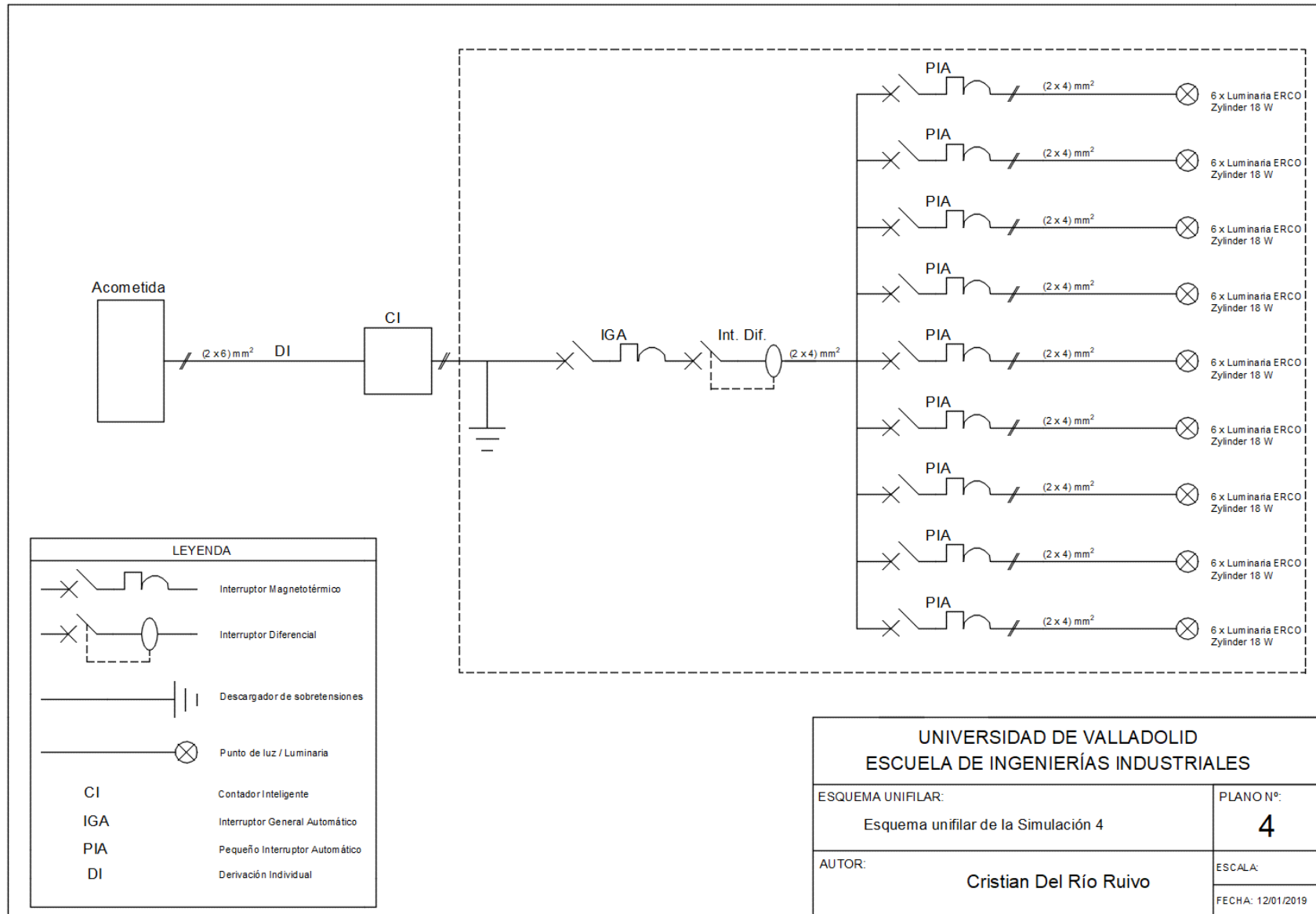
Los planos se corresponden numéricamente:

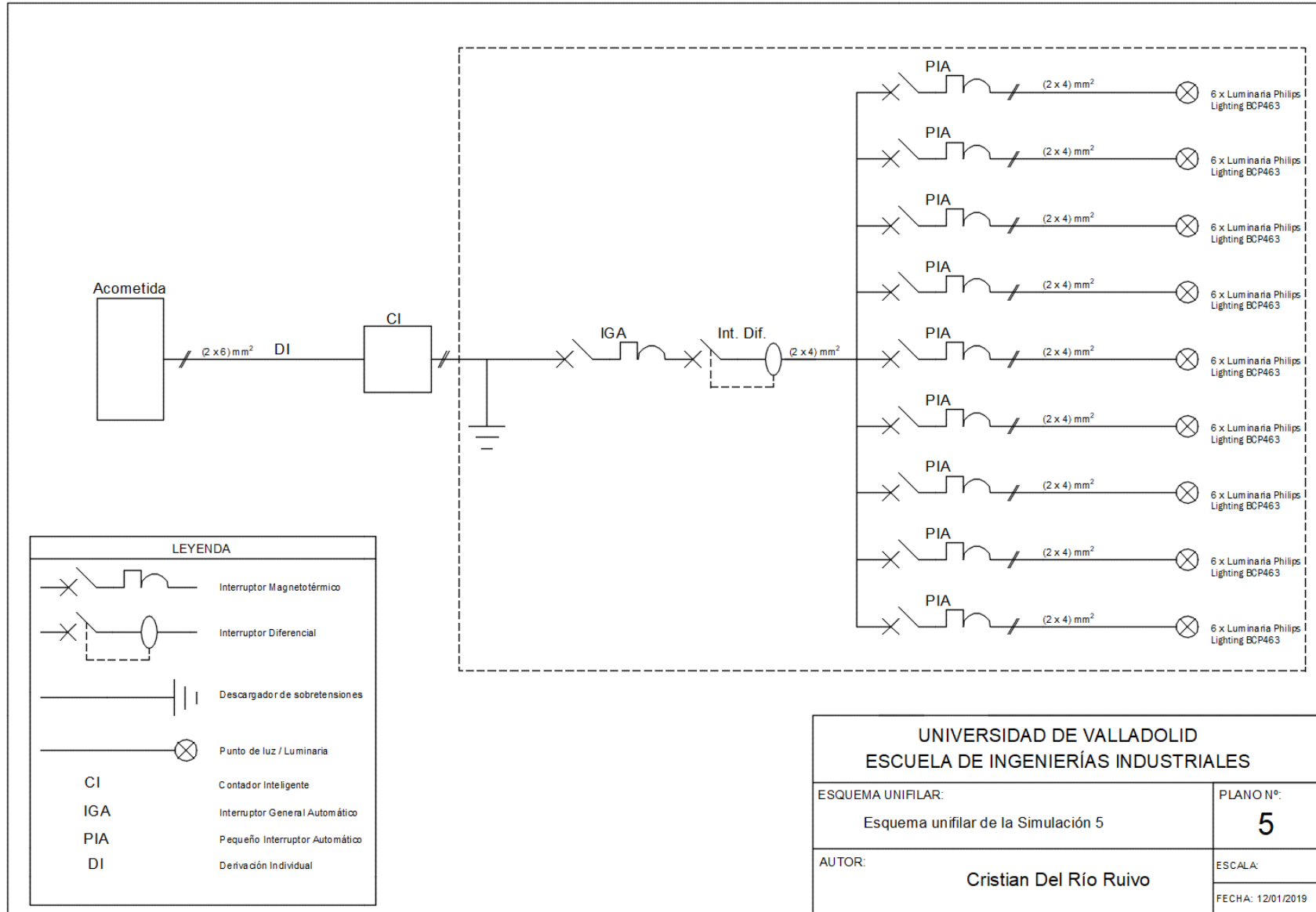
- Plano 1: Simulación 1
- Plano 2: Simulación 2
- Plano 3: Simulación 3
- Plano 4: Simulación 4
- Plano 5: Simulación 5











9. Conclusiones

Viendo lo estudiando a lo largo del documento, hemos visto las viabilidades técnicas, descartando o escogiendo las configuraciones más favorables. De igual manera con la viabilidad económica, lo que nos ha llevado a descartar algunos de los montajes de las luminarias.

Se han realizado 5 simulaciones diferentes, viendo tanto su iluminación como la disposición de las luminarias, su potencia, número de luminarias, etc.

En cuanto al control de la iluminación como en todas las simulaciones se han llevado a cabo con luminarias compatibles con Dali ha sido el motivo de elección de este sistema.

Por motivos de reglamento, explicado anteriormente, no se podría llevar a cabo dicha instalación. Las limitaciones de luminancia media y vertical de las respectivas Instrucciones Técnicas Complementarias (ITC) no nos permiten llevar a cabo la instalación. Esto es debido a que la fachada cuenta con multitud de ventanas, dejando poco espacio para la iluminación de la fachada, haciendo difícil conseguir la iluminación media y vertical.

Una iluminación vertical demasiado alta, como la que tenemos en nuestras simulaciones, provocaría una gran contaminación lumínica, además de una gran iluminación intrusa.

Como hemos visto, otros de los aspectos que nos limita la instalación es la iluminación intrusa dentro de las aulas, lo que provocaría molestias visuales para los posibles alumnos y profesorado que se encuentre dentro de dichas aulas.

Finalmente, viendo las simulaciones realizadas, con diferentes configuraciones, luminarias, montajes, potencias, flujos luminosos, etc, podríamos decir que no hay ninguna configuración por la que fuese posible la iluminación de esta fachada que cumpliera con las normativas vigentes.





10. Bibliografía

- [1] “Iluminación con tecnología LED, Alfonso Gago Calderón y Jorge Fraile, 2012”
- [2] “Guía sobre tecnología LED en el alumbrado – Campaña Madrid Ahorra con Energía, 2015”
- [3] La iluminación con led y el problema de la contaminación lumínica, Carlos Herranz Dorremochea, Josep M.ª Ollé Martorell y Fernando Jáuregui Sora, 2011
- [4] “Aplicaciones de los LED en diseño de iluminación, Alfred Sá Lago, 2015”
- [5] <https://www.erco.com/guide/outdoor-lighting/facade-1857/es/#pkm1859>
- [6] “luxCONTROL DALI manual, TRIDONIC”
- [7] “Controlador Digital Mediante el Protocolo DMX-512, Francisco Rafael Trejo-Macotela, Luis Abraham Sánchez Gaspariano, Abel García-Barrientos, Carlos Muñoz-Montero, 2013”
- [8] “DIALux evo manual, 2016”



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

11. Anexos

11.1 Anexo I

Proyecto IndUva

02/12/2018

DIALux

Tiempo 1 / ERCO 34539000 Lightscan Bañador 1xLED 30W red green blue warm white 1xLED, 1xLED, 1xLED, 1xLED / ERCO - Lightscan Bañador 1xLED 30W red green blue warm white (1xLED, 1xLED, 1xLED, 1xLED)

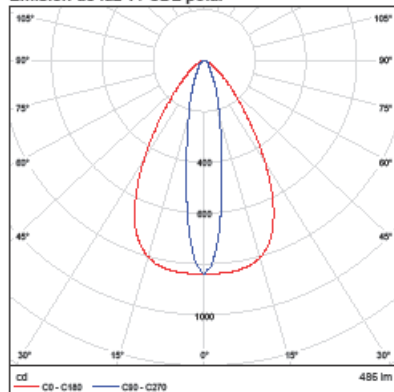
ERCO 34539000 Lightscan Bañador 1xLED 30W red green blue warm white 1xLED, 1xLED, 1xLED, 1xLED



Fotometría absoluta
Flujo luminoso de las luminarias: 486 lm
Potencia: 48,0 W
Rendimiento lumínico: 10,1 lm/W

Indicaciones colorimétricas
1xLED 12W blanco cálido: CCT 2957 K, CRI 91
1xLED 6W rojo: CCT -, CRI -
1xLED 12W verde: CCT 7810 K, CRI -22
1xLED 12W azul: CCT -, CRI -

Emisión de luz 1 / CDL polar



34539.000
ERCO Lightscan Bañador
Graphit, m
LED 30W 1900lm rojo, verde, azul, blanco cálido
DALI
Versión 3
Lente Spherolit oval flood
Cuerpo, articulación y base: fundición de aluminio resistente a la corrosión, tratamiento de superficie No-Rinse. Dos capas de pintura en polvo. Superficie optimizada para reducir la acumulación de la suciedad. Articulación con conducto de cables inferior, orientable 90°. Cuadrante: aluminio resistente a la corrosión. Base girable 300°. Equipo auxiliar DALI de ERCO para mezcla de colores ERCO RGBW.
Compensación cromática para color de luz preciso.
2 entradas de cable. Cableado continuo posible. Clima de conexión de 5 polos.
Módulo LED: high power LEDs sobre circuito impreso de núcleo metálico. Mezclador de colores altamente reflectante. Óptica colimadora de polímero óptico. Lente girable 360°. Marco de recubrimiento atomizado con cristal de protección: fundición de aluminio, negro pintura en polvo.
Tipo de protección IP65: estanco al polvo y protegido contra chorros de agua.
Datos técnicos
Potencia instalada 36W
Tolerancia cromática 2 SDCM
Mantenimiento del flujo luminoso (LM-80/TM-21) L80/B10 <=>50000h
Margen de regulación 0,1%-100%
Método de regulación CCR
Potencia en Standby por equipo auxiliar 0,40W
Luminarias por cada fusible automático B16 máx. 28
Temperatura del cuerpo 45°C
Superficie de referencia para carga debida al vien 0,1m²
Longitud 228mm
Anchura 250mm
Altura 313mm
Peso 6,20kg
ENEC05, EAC, CE, IP65

Nº de pedido: 34539000

11.2 Anexo II

Proyecto IndUva

02/12/2018

Terreno 1 / Edificación 1 / Planta (HIVE) 3 / Philips Lighting BCS459 L609 1xLED-HB-9-RGB 1xLED-HB-9-RGB / Philips Lighting - BCS459 L609 1xLED-HB-9-RGB (1xLED-HB-9-RGB)

DIALux

Philips Lighting BCS459 L609 1xLED-HB-9-/RGB 1xLED-HB-9-/RGB

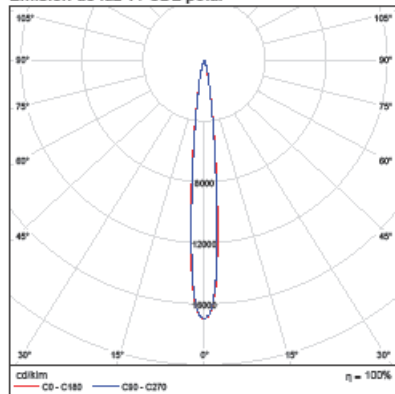
Graze MX Powercore: Iluminación de alta intensidad para fachadas de varios pisos y superficies. Muchas estructuras arquitectónicas requieren una luminaria lineal capaz de iluminar varios pisos sin apenas crear sombras. Los propietarios o usuarios finales de negocios necesitan un producto que se pueda controlar y ofrezca una iluminación dinámica para atraer la atención hacia su establecimiento y destacar su marca. Graze MX Powercore puede iluminar hasta 20 metros con distancias de separación muy cortas. La tecnología Powercore simplifica la instalación y permite utilizar grandes longitudes de producto.



Grado de eficacia de funcionamiento: 100.33%
Flujo luminoso de lámparas: 347 lm
Flujo luminoso de las luminarias: 348 lm
Potencia: 40.0 W
Rendimiento lumínico: 8.7 lm/W

Indicaciones colorimétricas
1xLED-HB-9-/RGB: CCT 3000 K, CRI 100

Emisión de luz 1 / CDL polar



11.3 Anexo III

Proyecto IndUva

02/12/2016

Terrero 1 / Edificación 1 / Planta (nivel) 3 / Philips Lighting BCS559 L609 1xLED-HB-9-RGBW 1xLED-HB-9-RGBW / Philips Lighting - BCS559 L609 1xLED-HB-9-RGBW (1xLED-HB-9-RGBW)

DIALux

Philips Lighting BCS559 L609 1xLED-HB-9-/RGBW 1xLED-HB-9-/RGBW

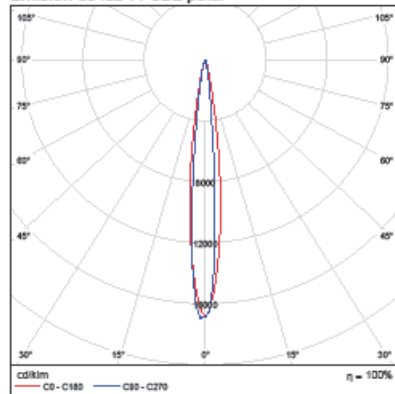
ColorGrazo MX4 Powercore: cualquier color es posible. Proyectores de alta potencia para iluminación de superficies y fachadas. Las opciones RGBW y RGBA proporcionan una paleta de colores muy amplia y luz blanca en una sola luminaria.



Grado de eficacia de funcionamiento: 100%
Flujo luminoso de lámparas: 560 lm
Flujo luminoso de las luminarias: 560 lm
Potencia: 23.0 W
Rendimiento lumínico: 24.4 lm/W

Indicaciones colorimétricas
1xLED-HB-9-/RGBW: CCT 3000 K, CRI 100

Emisión de luz 1 / CDL polar



11.4 Anexo IV

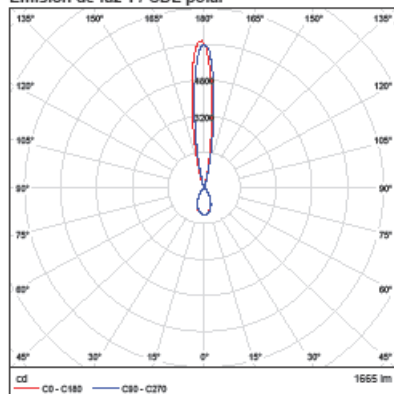
Proyecto IndUVA

02/12/2018

Terreno 1 / Edificación 1 / Planta (nivel) 3 / ERCO 85102000 Zylinder Luminaria de fachadas 1xLED 18W neutral white 1xLED /
ERCO - Zylinder Luminaria de fachadas 1xLED 18W neutral white (1xLED)**DIALux****ERCO 85102000 Zylinder Luminaria de fachadas 1xLED 18W neutral white 1xLED**

Fotometría absoluta
Flujo luminoso de las luminarias: 1665 lm
Potencia: 21.0 W
Rendimiento lumínico: 79.3 lm/W

Indicaciones colorimétricas
1xLED 18W blanco neutro: CCT 4000 K, CRI 80

Emisión de luz 1 / CDL polar

85102.000
ERCO Zylinder Luminaria de fachadas
Tamaño 3 30°
Graphit m
LED 18W 2475lm 4000K blanco neutro
Conmutable
Versión 5
Lente Spherolit spot
Cuerpo y base de pared: fundición de aluminio resistente a la corrosión, tratamiento de superficie No-Rinse. Dos capas de pintura en polvo. Superficie optimizada para reducir la acumulación de la suciedad. Tornillo de seguridad.
Equipo auxiliar. 2 entradas de cable. Cableado continuo posible.
Clima de conexión de 3 polos.
Módulo LED: high power LEDs sobre circuito impreso de núcleo metálico. Óptica colimadora de polímero óptico.
Salida de luz arriba: lente Spherolit spot. Cristal de protección con tratamiento antirreflexivo superior.
Salida de luz abajo: Reflector Darklight: aluminio, plateado anodizado, brillante. Ángulo de apantallamiento 30°. Difusor: cristal, mate.
Anillo de remate con cristal de protección con tratamiento antirreflexivo: fundición de aluminio resistente a la corrosión, dos capas de pintura en polvo. Tornillo de seguridad.
Tipo de protección IP65: estanco al polvo y protegido contra chorros de agua.
Datos técnicos
Flujo luminoso 1665lm
Potencia Instalada 21W
Eficiencia luminaria 79lm/W
Tolerancia cromática 2 SDCM
Índice de reproducción cromática CRI >= 80
Mantenimiento del flujo luminoso (LM-80/TM-21) L90/B10 <=50000h
Mantenimiento del flujo luminoso (datos del fabricante de los LEDs) L90 <=100000h
Índice de fallo los LEDs 0,1% <=50000h
Clase de eficiencia energética EEI A++
Luminarias por cada fusible automático B16 máx. 65
Longitud 172mm
Anchura 122mm
Altura 167mm
Peso 2,40kg
ENEC15, EAC, CE, IP65
N° de pedido: 85102000

11.5 Anexo V

Proyecto IndUva

02/12/2018

Tirreno 1 / Philips Lighting BCP463 1xLED-HB-4000 +ZCP462 BSP A41 1xLED-HB-4000 / Philips Lighting - BCP463 1xLED-HB-4000 +ZCP462 BSP A41 (1xLED-HB-4000)

DIALux

Philips Lighting BCP463 1xLED-HB-4000 +ZCP462 BSP A41 1xLED-HB-4000



Iluminación direccional LED paisajística y arquitectónica con luz de color sólido eColor Burst Powercore es una luminaria de iluminación mediante LED de alto rendimiento para exteriores diseñada para la iluminación de acento y monumental. Las versiones Architectural y Landscape aportan una potencia lumínica de alta calidad en rojo, verde, azul y ámbar que resulta adecuado para una gran variedad de aplicaciones de iluminación ascendente, proyección de luz e iluminación decorativa.

Grado de eficacia de funcionamiento: 100%
Flujo luminoso de lámparas: 1240 lm
Flujo luminoso de las luminarias: 1240 lm
Potencia: 30.0 W
Rendimiento lumínico: 41.3 lm/W

Indicaciones colorimétricas
1xLED-HB-4000: CCT 3000 K, CRI 100

Emisión de luz 1 / CDL polar

