



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

Máster en Ingeniería Industrial

MASTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL
ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES
UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

TRABAJO FIN DE MÁSTER

*Análisis del impacto energético del
cambio en el sistema de
iluminación y su control en pasillos
hospitalarios*

Autor: D. Cristian Gómez García

Tutor: D. Óscar Duque Pérez

Tutor: D. Fernando Espí García

Valladolid, Septiembre, 2016

RESUMEN

En la sociedad actual, la conciencia sobre el medioambiente va en aumento, y por ello, cada vez se busca más no solo por parte de los gobiernos e instituciones, sino por parte de las empresas y los usuarios finales, un aprovechamiento mayor de la energía, aprovechando los recursos para reducir el impacto que nuestras actividades generan.

En este trabajo, nos centramos en un análisis del sistema de iluminación del edificio de consultas del Hospital Universitario Río Hortega, con vistas a una mejora de su eficiencia, mediante la sustitución del sistema antiguo por uno nuevo de iluminación LED, así como su control a través de un sistema basado en el protocolo DALI.

Para lograr un control óptimo y corroborar que con el cambio de sistema no reducimos las condiciones de confort ni la calidad de la iluminación que tan importante función tiene en un complejo hospitalario, nos basaremos en un modelo realizado con el software de iluminación DIALUX EVO

ABSTRACT

The environment concern is growing nowadays in our society. Hence, governments, companies, and final users are looking for solutions for reducing the impact that our activities generate in the environment.

In this project, we analyze how to increase the efficiency of the illumination system in the University Hospital Río Hortega, through the change of the illumination system to a LED technology and controlling it with a DALI illumination communication protocol.

Also, we need to check that the new conditions of the illumination system, control and quality conditions are the same conditions than with the old system or even better. Therefore, we use a model and simulate it. That model was made with the illumination software DIALUX EVO.

PALABRAS CLAVE

Centro sanitario, ahorro energético, iluminación LED, protocolo DALI, Dialux.

A todas aquellas personas que me han ayudado y aguantado durante la realización de este trabajo, especialmente a mis tutores Oscar Duque y Fernando Espí, y de una manera mucho más especial a las personas importantes de mi vida, sin las cuales no podría haber llegado donde me encuentro, y que quiero que me sigan acompañando en mi camino para poder tan lejos como me proponga y convertirme en la persona que realmente quiero y deseo ser.

Índice General

<i>INTRODUCCIÓN. OBJETIVOS</i>	1
Contexto actual	1
Objetivos.....	3
Planificación temporal.....	3
1. EMPLAZAMIENTO OBJETO DE ESTUDIO	7
1.1 Descripción del complejo hospitalario	7
1.2 Edificio de servicios ambulatorios. Consultas externas.....	10
1.3 Descripción de la situación inicial	12
1.4 Programa LIFE+.....	13
2. ILUMINACIÓN. CONCEPTOS FUNDAMENTALES Y TECNOLOGÍAS DE ILUMINACIÓN	17
2.1 Conceptos fundamentales	17
2.1.1 Magnitudes luminosas y representación	19
2.1.2 Factores a tener en cuenta en los sistemas de iluminación	22
2.2 Descripción de las tecnologías de iluminación.....	25
2.2.1 Sistemas de iluminación	25
2.2.2 Tecnologías utilizadas en el HURH	30
2.2.3 Comparativa teórica entre tecnologías de iluminación.....	40
2.3 Normativa aplicable.....	44
3. METODOLOGÍA DE TRABAJO Y HERRAMIENTAS UTILIZADAS	49
3.1 Toma de datos. Metodología.....	49
3.2 Modelado y análisis por ordenador. Dialux Evo.....	51
3.2.1 Modelo en Dialux	51
3.2.2 Ajuste de los parámetros del modelo.....	55
3.2.3 Simulación	57
3.3 Herramientas de la instalación.....	59
3.3.1 Protocolo DALI	60
3.3.2 Sistema LUTRON	62
3.3.3 Estrategia de control.....	68
4. AHORROS Y VIABILIDAD ECONÓMICA	71
4.1 Ahorro por cambio de tecnología.....	71
4.2 Ahorro por sistema de control.....	75
4.3 Costes de la instalación	86

4.3.1	VAN.....	88
4.3.2	TIR.....	91
4.3.3	PB*.....	92
5.	<i>CONCLUSIONES</i>	95
	<i>BIBLIOGRAFÍA</i>	99
	<i>ANEXOS</i>	103

Índice de figuras

Figura 1. Diagrama de Gantt. Fuente: Elaboración propia	4
Figura 2. Situación del HURH. Fuente: Google Maps.....	7
Figura 3. Ejemplo de tratamiento paisajístico patio interior. Fuente: [27].....	8
Figura 4. Ejemplo aprovechamiento de luz natural mediante cristaleras. Fuente: [27]	8
Figura 5. Distribución en planta HURH. Fuente: El mundo Diario de Valladolid.....	10
Figura 6. Vista en planta Edificio Este, 2º Planta. Fuente: Dpto. Mantenimiento HURH	11
Figura 7. Fachada Sur Edificio Este. Fuente: Elaboración propia	11
Figura 8. Downlight compacto sistema de iluminación. Fuente: Elaboración propia	12
Figura 9. Espectro electromagnético. Fuente: [5].....	18
Figura 10. Distribución espectral luz diurna. Fuente [5]	18
Figura 11. Curvas isolux. Fuente: [25]	21
Figura 12. Diagrama Polar. Fuente: [25]	21
Figura 13. Curvas Isocandelas. Fuente: [5].....	21
Figura 14. Sistemas de iluminación en relación a la distribución luminosa de la luminaria. Fuente: [12]	26
Figura 15. Sistemas de iluminación en relación a la distribución luminosa sobre el área a iluminar. Fuente: [12]	26
Figura 16. Elementos de un sistema de iluminación. Fuente: [4]	27
Figura 17. Lámpara incandescente convencional. Fuente: [5].....	28
Figura 18. Lámpara incandescente halógena. Fuente: [31].....	28
Figura 19. Lámpara de vapor de mercurio a alta presión. Fuente: [5].....	29
Figura 20. Lámpara de vapor de mercurio mezcla. Fuente: [5].....	29
Figura 21. Lámpara de vapor de mercurio con halogenuros. Fuente: [5].....	29
Figura 22. Partes de un fluorescente. Fuente: [10].....	31
Figura 23. Conexión eléctrica de un fluorescente. Fuente: [10].....	32
Figura 24. Distribución espectral lámpara fluorescente. Fuente: [26]	33
Figura 25. Polarización de un diodo led. Fuente: [1]	34
Figura 26. Construcción interna de un LED. Fuente: Dpto. Ing. Eléctrica UPC	34
Figura 27. Posibles espectros de las lámparas LED. Fuente: Dpto. Ing. Eléctrica UPC	35
Figura 28. Obtención de luz blanca con LED. Fuente: [1]	36
Figura 29. Conexión eléctrica de un LED. Fuente: [15]	37
Figura 30. Driver para iluminación LED. Fuente: [32]	38
Figura 31. Ejemplo luminaria LED similar a un tubo fluorescente. Fuente: [31].....	39
Figura 32. Ejemplo iluminación LED empotrada. Fuente: [31]	39
Figura 33. Comparativa sistemas de iluminación (1). Fuente [1].....	42
Figura 34. Comparativa entre sistemas de iluminación (2). Fuente: Silberstone LED System.....	42
Figura 35. Luxómetro analógico. Fuente: Elaboración propia	50
Figura 36. Pinza amperimétrica. Fuente: Catálogo Fluke	50
Figura 37. Modelo 3D completo, planta 2º y 3º (1). Fuente: Elaboración propia	52

Figura 38. Modelo 3D completo, planta 2º y 3º (2). Fuente: Elaboración propia	53
Figura 39. Situación real HURH, planta 2ª y 3ª (2). Fuente: Elaboración propia.....	53
Figura 40. Modelo 3D completo, planta 2º y 3º (3). Fuente: Elaboración propia	54
Figura 41. Situación real HURH, planta 2ª y 3ª (3). Fuente: Elaboración propia.....	54
Figura 42. Modelo 3D completo, planta 2º y 3º (4). Fuente: Elaboración propia	55
Figura 43. Logo Protocolo DALI. Fuente: [26].....	60
Figura 44. Sistema conjunto, bus DALI + alimentación equipo. Fuente: [26]	60
Figura 45. Modelo de conexión maestro-esclavo DALI. Fuente: [26]	61
Figura 46. HUB (QP3-1PL-100-240). Fuente: [29].....	63
Figura 47. Bus QS propietario, marca LUTRON. Fuente:[29]	64
Figura 48. Energy Savr Node QS, marca LUTRON. Fuente [29].....	65
Figura 49. Detector de presencia, marca LUTRON. Fuente [29]	66
Figura 50. Sonda de iluminación, marca LUTRON. Fuente [29]	66
Figura 51. Antena inalámbrica, marca LUTRON. Fuente: [29].....	67
Figura 52. Luminaria LED 18W, fabricante LLEDO. Fuente: Elaboración propia.....	67
Figura 53. Zonificación para el control de la iluminación. Fuente: Elaboración propia	68
Figura 54. Representación en colores falsos del nivel de iluminación sistema fluorescencia. Fuente: Elaboración propia	72
Figura 55. Representación en colores falsos del nivel de iluminación sistema LED. Fuente: Elaboración propia.....	73
Figura 56. Representación en colores falsos, nivel iluminación, Abril 8:45h. Fuente: Elaboración propia.....	80
Figura 57. Representación en colores falsos, nivel iluminación, Agosto 12:00h. Fuente: Elaboración propia.....	80
Figura 58. Representación en colores falsos, nivel iluminación, Diciembre 15:45h. Fuente: Elaboración propia.....	81
Figura 59. Consumo diario con el sistema LED + control. Fuente: Elaboración propia	83
Figura 60. Comparativa consumo sistemas de iluminación, Zona 1. Fuente: Elaboración propia.....	83
Figura 61. Comparativa consumo sistemas de iluminación, Zona 2. Fuente: Elaboración propia.....	84
Figura 62. Comparativa consumo sistemas de iluminación, Zona 3. Fuente: Elaboración propia.....	84
Figura 63. Ahorro estimado de energía en comparación con el sistema actual. Fuente: Elaboración propia.....	85
Figura 64. Comparativa de consumo diferentes sistemas de iluminación. Fuente: Elaboración propia.....	85
Figura 65. VAN a 20 años. Fuente: Elaboración propia.....	91

Índice de tablas

Tabla 1. Resumen magnitudes luminosas. Fuente: elaboración propia	20
Tabla 2. Clasificación en función de la TC. Fuente: Elaboración propia.....	22
Tabla 3. Grupos de rendimiento de color. Fuente: Elaboración propia	23
Tabla 4. Resumen características LED. Fuente: Elaboración propia.....	37
Tabla 5. Comparativa sistemas de iluminación. Fuente: elaboración propia	41
Tabla 6. Valores de VEEI. Fuente [16]	47
Tabla 7. Medida de potencia del sistema de iluminación. Fuente: Elaboración propia	50
Tabla 8. Valores de los parámetros ajustados en Dialux. Fuente: Elaboración propia	56
Tabla 9. Correlación de valores entre la situación real y la simulación. Fuente: Elaboración propia.....	56
Tabla 10. Día medio mensual. Fuente: elaboración propia	57
Tabla 11. Promedio mensual de horas de luz. Fuente: Elaboración propia	57
Tabla 12. Frecuencia media mensual de cielo soleado. Fuente: Elaboración propia	58
Tabla 13. Frecuencia media mensual de cielo parcialmente nublado. Fuente: Elaboración propia.....	58
Tabla 14. Frecuencia media mensual de cielo nublado. Fuente: Elaboración propia	59
Tabla 15. Ahorro por cambio del sistema de iluminación (1). Fuente elaboración propia	74
Tabla 16. Ahorro por cambio del sistema de iluminación (2). Fuente elaboración propia	75
Tabla 17. Resumen ahorro energético por cambio de sistema de iluminación. Fuente: Elaboración propia.....	75
Tabla 18. Estrategia de control, mes de Abril. Fuente: Elaboración propia	76
Tabla 19. Estrategia de control, mes de Junio. Fuente: Elaboración propia.....	77
Tabla 20. Estrategia de control, mes de Octubre. Fuente: Elaboración propia	78
Tabla 21. Estrategia de control, mes de Diciembre. Fuente: Elaboración propia	79
Tabla 22. Comparativa de consumo de energía en sistemas de iluminación. Fuente: Elaboración propia.....	82
Tabla 23. Coste de material. Fuente: Elaboración propia	87
Tabla 24. Costes directos e indirectos de la mano de obra. Fuente: Elaboración propia	87
Tabla 25. Horas de funcionamiento y sustitución de luminarias. Fuente: Elaboración propia	89
Tabla 26. Desglose anual del VAN. Fuente: Elaboración propia	90

INTRODUCCIÓN. OBJETIVOS

Contexto actual

La luz, ya sea de manera natural, mediante la radiación que nos llega proveniente del sol, o de manera artificial, a través de la radiación que emiten las lámparas conectadas a la red eléctrica, es una necesidad primordial y social, ya que posibilita que llevemos a cabo todas las actividades necesarias de nuestra vida. Ahora mismo, sería imposible para el ser humano actual concebir una sociedad en la que no haya posibilidad de iluminación, en la que no se puedan utilizar dispositivos con pantallas retro iluminadas, que una vez que se ponga el sol no se pueda llevar a cabo ninguna actividad debido a la falta de luz, por todo esto la iluminación es un factor esencial y primordial para la sociedad actual.

En estas últimas décadas, la sociedad ha ido adquiriendo con fuerza un pensamiento de preocupación por el medio ambiente. Este pensamiento ha ido impulsando a las empresas, sociedades y a los gobiernos a realizar esfuerzos importantes tanto en investigación como en implantación de medidas que supongan un beneficio al medio ambiente. En base a estas acciones se han ido desarrollando planes de actuación internacionales, empezando por el *Protocolo de Kioto*, que suponen para los países firmantes un compromiso de reducción de los gases de efecto invernadero (CO₂, CH₄, NO₂,...). Esta es la “primera piedra” que se ponía en este aspecto en el ámbito internacional, y que supuso la aparición de una serie de normativas para poder reducir estas emisiones.

En UE destaca la estrategia energética 20/20/20, que es un conjunto de actuaciones para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero un 20%, una reducción del consumo energético un 20%, y que el 20% de la energía primaria proceda de fuentes renovables. Este plan supone la aprobación por parte de la UE de una serie de directrices, como por ejemplo: *Directiva 2010/31*, *Directiva 2012/27*,..., que buscan reducir el consumo o aumentar el ahorro energético de cualquier instalación que consuma energía, en especial atención a los grandes consumidores y también un mayor impulso por la investigación de productos y tecnologías más eficientes.

Por tanto, la gestión de la energía en todos sus ámbitos es uno de los temas fundamentales de cualquier país, a fin de poder reducir su dependencia energética del exterior, ya que si bien es cierto que hay países que son ricos en recursos energéticos naturales, la mayoría de los países necesitan importar estos recursos para poder producir energía y tener un crecimiento y un desarrollo sostenible.

En concreto España es un país importador de recursos energéticos, se calcula que cerca del 80% de los recursos energéticos que necesitamos, los importamos por lo que se deduce que somos un país con una dependencia energética exterior excesivamente elevada. La incorporación al sistema energético, de manera importante en esta última década, de fuentes de energía renovable para la obtención de electricidad de manera principal, la mejora de la eficiencia del sistema de transporte eléctrico, unido a la utilización de otras fuentes de energía para la producción no solo de electricidad sino de calor, ha supuesto una reducción importante en cuanto al PIB energético de nuestro país, pero aun así seguimos teniendo una dependencia energética exterior demasiado importante.

Unos de los objetivos marcados es la reducción del consumo de edificios públicos a fin de poder cumplir con los acuerdos en cuanto a eficiencia y emisiones de CO₂. En este contexto podemos hablar de que grandes edificios públicos, como centros sanitarios, tienen consumos energéticos muy elevados, debido a su funcionamiento continuo y a las condiciones de confort necesarias para poder albergar las actividades que en ellos se desarrollan.

Centrándonos un poco en los centros sanitarios, en cuanto a los consumos energéticos principales que tienen, podemos destacar dos fundamentalmente, por una parte tenemos un consumo de energía eléctrica, muy importante, para su uso en iluminación, climatización, equipos médicos (radiología, quirófanos, etc.) y por otro lado un consumo de combustibles fósiles, de manera genérica el gas natural, para todo lo relacionado con la obtención de energía calorífica mediante su combustión en calderas, para la obtención de agua caliente sanitaria (A.C.S.), calefacción, etc. La energía consumida por tanto es muy importante, diversos estudios hablan de que el conjunto de hospitales en España consumen, aproximadamente un 2% de la energía total consumida por el país, lo que significa que aunque hagamos pequeñas acciones podemos reducir una gran cantidad de energía ya que la energía total consumida es elevada.

Con estos antecedentes resulta interesante ahondar en la realización de estudios energéticos no sólo para certificar los edificios e instalaciones, sino para poder estimar consumos, analizar y descubrir equipos/instalaciones ineficientes y detectar las pérdidas energéticas de nuestros sistemas y así poder actuar en la reducción de dichos consumos, ya que como estamos hablando de potencias elevadas, las reducciones producidas pueden llegar a ser importantes con los beneficios que esto conlleva, no solo en cuanto a aspectos medioambientales (reducción de huella de carbono, de CO₂ equivalente, etc.) sino también de reducciones de los costes asociados a esta energía que dejamos de consumir, y en tiempos como los actuales en los que la crisis que se ha producido estos últimos años y de la cual parece que mejora aunque bien es cierto que lentamente, ha significado que cualquier ahorro económico que se lleve a cabo, supone que una

instalación, complejo industrial o cualquier otra actividad pueda resultar rentable y sobreviva a esta situación.

Por todo lo anterior, y por resultar un tema actual e interesante me decidí a realizar el presente trabajo.

Objetivos

El objetivo fundamental que nos planteamos es, no sólo el aprovechamiento de la luz natural sino también un cambio del sistema de iluminación actual por otro más eficiente como base para la elaboración de una estrategia de control del sistema de iluminación de los pasillos de circulación del Hospital Universitario Río Hortega, con vistas a la mejora de su eficiencia energética.

Esta estrategia de control será importante a la hora de obtener un ahorro energético, y, en consecuencia, económico, en el área objeto de estudio. De esa manera lograremos una eficiencia óptima en el aprovechamiento de los recursos disponibles sin un detrimento de las condiciones básicas lumínicas necesarias en dicha área.

Como ayuda para la consecución del objetivo fundamental planteado, contaremos con un software de simulación libre (Dialux) del Instituto Alemán de Luminotecnia y con los datos estadísticos de comportamiento del clima proporcionados por el centro de datos científicos atmosféricos de la NASA.

Con la obtención de esta estrategia también se pretende llegar a conclusiones para poder extrapolar el estudio realizado en esta zona, para su aplicación en otras zonas de similar uso o condiciones e incluso que sirva de base para otras zonas cuyo características o uso no tengan por qué ser similares a las aquí estudiadas

Finalmente, se propondrá la implementación de la estrategia de control elaborada, integrándola en el sistema de control del Hospital Universitario Río Hortega.

Planificación temporal

En este apartado se procede a exponer cuál ha sido el desarrollo temporal del proyecto que nos ocupa. Para ello, se presentan a continuación las distintas etapas que se han planteado y el tiempo que se ha dedicado a cada una de ellas.

- Etapa 1: Preparación y planificación del proyecto (2 semanas).
- Etapa 2: Documentación previa (2 semanas).
- Etapa 3: Visita y análisis de la instalación inicial (2 semanas).
- Etapa 4: Estudio y planteamiento de posibles soluciones (4 semanas).
- Etapa 5: Preparación del software Dialux para el desarrollo de la implementación y aprendizaje de su manejo y cálculos (4 semanas).

- Etapa 6: Obtención de los datos en Dialux y análisis de los mismos (5 semanas).
- Etapa 7: Valoración económica y conclusiones (1 semana).
- Etapa 8: Redacción de la memoria (continuo).

Una vez planteadas las tareas que se han de llevar a cabo y teniendo en cuenta que algunas de ellas se pueden desarrollar de manera paralela en el tiempo, se realiza una planificación temporal gráfica como la que se muestra en el siguiente Diagrama de Gantt (figura 1)

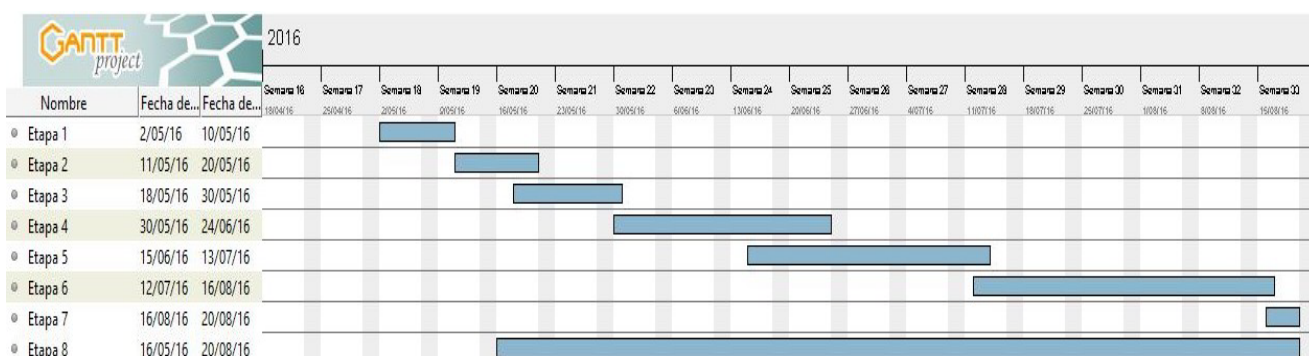


Figura 1. Diagrama de Gantt. Fuente: Elaboración propia

A la hora de estructurar este trabajo para poder abordar los diferentes objetivos marcados. A continuación, se describe brevemente el contenido de los capítulos que componen este trabajo:

En el primer capítulo se realiza una descripción del emplazamiento donde se va a desarrollar el trabajo, Hospital Universitario Rio Hortega, en cuanto a su distribución física y posteriormente, se describe la zona y el sistema de iluminación que estudiaremos en detalle posteriormente, comentando el estado inicial del mismo.

En el segundo capítulo se expone una breve revisión teórica de los sistemas de iluminación, así como de las magnitudes fundamentales en iluminación, los condicionantes que deben cumplir estos sistemas y la normativa vigente que aplica sobre los sistemas de iluminación. De igual forma se exponen con más detalle los sistemas de iluminación que predominan en el emplazamiento que vamos a estudiar y sobre los cuales realizaremos el análisis.

En el capítulo tercero, se expondrá la parte central del proyecto, describiendo qué se va a necesitar para su realización en cuanto a obtención de datos y herramientas que se van a usar para el tratamiento de los datos que utilizaremos en capítulos posteriores a la hora de hablar de resultados.

El capítulo cuarto, desarrollará por una parte los resultados obtenidos en el capítulo anterior, centrándonos en la implantación de un nuevo sistema de iluminación, una justificación de esta implantación mediante una comparativa con el sistema anterior y por otra realizaremos un pequeño estudio económico que nos dará una idea más clara de la viabilidad de la realización del mismo.

Por último, en el capítulo quinto se expondrán las diferentes conclusiones a las que se ha llegado en la realización de este estudio, y se comentarán las posibles líneas de actuación futuras.

Capítulo 1

EMPLAZAMIENTO OBJETO DE ESTUDIO

Como ya he indicado anteriormente, el trabajo se llevará a cabo en el Hospital Universitario Río Hortega, a partir de ahora “HURH”, en el cual se va a estudiar una serie de actuaciones con vistas a la mejora del sistema de iluminación en cuanto al ahorro y su eficiencia, por tanto, es necesario describir cómo es el complejo en su conjunto, para hacernos una visión general del mismo, y en particular del edificio de consultas donde nos centraremos para el estudio.

1.1 Descripción del complejo hospitalario

Es un complejo de reciente construcción, su inauguración data de 2008 y cuenta con una superficie construida de más de 127.000 m² casi cuadruplicando la superficie que tenía el antiguo hospital al que sustituye y se encuentra situado en la calle Dulzaina 2, Valladolid, España (figura 2).



Figura 2. Situación del HURH. Fuente: [Google Maps](#)

A diferencia con el antiguo Hospital Río Hortega, este nuevo complejo se basa en una distribución horizontal abandonando la construcción vertical de su antecesor, de tal manera que se puede mejorar la flexibilidad de los espacios para poder aportar un mayor número de soluciones.

Su diseño se ha cuidado especialmente para poder ofrecer un mejor servicio a sus usuarios, priorizando aspectos como la seguridad, confort y calidad de las instalaciones, así como todo lo relacionado con la estancia no solo de pacientes sino de familiares/acompañantes de los mismos.

Con el fin de dotar al complejo de una mayor calidad para sus ocupantes, cabe destacar por un lado el especial cuidado que se ha llevado a cabo a la hora del tratamiento paisajístico de las diferentes zonas verdes que nos encontramos en el complejo, ya sean patios interiores (figura 3) o zonas verdes exteriores o interiores, y por otro el aprovechamiento que se hace en los espacios interiores de la luz natural (figura 4), lo que proporciona una mayor habitabilidad de los espacios.



Figura 3. Ejemplo de tratamiento paisajístico patio interior. *Fuente:* [27]



Figura 4. Ejemplo aprovechamiento de luz natural mediante cristaleras. *Fuente:* [27]

Si hablamos de su distribución en planta, el hospital comienza en una plaza o vestíbulo principal del que surgen edificios con su calle correspondiente, cada uno con su diseño propio y con funcionalidades diferentes (figura 5):

- **Cuatro Bloques de Hospitalización** similares acogen las unidades de hospitalización. Destacando como unidades especiales; la unidad de Trasplante Hepático, y la unidad de Neonatología. Cada uno de los bloques tiene 4 niveles o plantas (0, 1, 2, 3) y se accede y sale de los mismos a través del nivel 1.
- **Edificio Norte** en el que se encuentra las unidades administrativas del hospital (Servicio de Admisión, Servicio de Atención al Paciente, RRHH, zona de Dirección...), la capilla, la biblioteca y el salón de actos.
- **Edificio Central** en el que tenemos la sala de extracciones, las salas de espera quirúrgicas, la Unidad de Trasplante de Médula Ósea, el Hospital de Día Oncohematológico y el Hospital de Día Médico.
- **Edificio Sur** en el que cabe destacar el bloque de radiodiagnóstico, el bloque quirúrgico con 18 quirófanos (frente a los 11 anteriores) de los cuales cinco son quirófanos integrados en los que se puede consultar por videoconferencia con otros centros o con el mismo hospital y cuatro están destinados a cirugía mayor ambulatoria; la Zona de Reanimación Postanestésica y la Zona Perquirúrgica; la UCI; la Central de Esterilización, la Unidad de Quemados que cuenta con un quirófano específico además de 5 camas de hospitalización, el Servicio de Farmacia, la Unidad de Investigación, y la Unidad de Prevención de Riesgos Laborales.
- **Edificio Industrial** en el que se encuentran por ejemplo los Servicios de Cocina, Lencería, Mantenimiento, Almacén General, Ascensor, ...

Cerrando a todos los demás edificios por el este y oeste nos encontramos dos edificios en forma de peine que gracias a unos largos pasillos distribuyen de formas paralelas, regulares y separadas por patios interiores las púas del peine:

- **Edificio Este** están situadas las Urgencias Generales y la Sala de Observación; las Urgencias Pediátricas; el Servicio de Rehabilitación; el Bloque Obstétrico. Se encuentran también en este edificio el Área Ambulatoria que cuenta con 69 consultas y 64 gabinetes de exploración.
- **Edificio oeste** se sitúan los laboratorios de Hematología, Análisis Clínicos, Microbiología, el Servicio de Anatomía Patológica, la Unidad de Dietética además de la Unidad de Hemodiálisis así como los espacios dedicados a Diálisis.

El HURH cuenta además con 41 ascensores y 6 escaleras mecánicas para la circulación interna de personas y 8 ascensores para la circulación de robots, así como con un helipuerto que da cobertura al Servicios de Emergencias Sanitarias de la Junta de Castilla y León [27]



Figura 5. Distribución en planta HURH. Fuente: El mundo Diario de Valladolid

1.2 Edificio de servicios ambulatorios. Consultas externas

Dentro de todo este complejo, nos vamos a centrar en el estudio del edificio correspondiente a “Servicios Ambulatorios”, correspondiente al edificio Este anteriormente comentado.

En concreto, el Edificio está formado por tres plantas por encima del nivel del suelo y una por debajo de él. Nos centraremos en la parte de las consultas ambulatorias externas, correspondientes a las plantas 2ª y 3ª, que tienen una distribución en planta idéntica.

La distribución en planta se caracteriza por un pasillo central que recorre toda la planta del edificio, del cual parten una serie de pasillos secundarios que dan

acceso a las diferentes consultas que allí nos podemos encontrar. Estos pasillos secundarios, además, hacen las funciones de sala de espera de dichas consultas, por lo que los requerimientos tanto de iluminación como de confort son diferentes a los del pasillo central.

El número de consultas total que tiene el edificio es de 69, divididas como ya se ha comentado, en dos plantas y a su vez cada una de las plantas en 10 pasillos secundarios o “peines”, denominados así debido a la similitud de forma que tiene el edificio visto en planta con un peine (figura 6).



Figura 6. Vista en planta Edificio Este, 2º Planta. Fuente: Dpto. Mantenimiento HURH

Este edificio cuenta con patios interiores entre cada uno de los diferentes peines, por lo que es interesante el aporte de luz natural que supondrán a las diferentes estancias a través de las cristaleras que nos encontramos tanto rodeando a estos patios interiores como en la fachada sur del mismo edificio (figura 7).



Figura 7. Fachada Sur Edificio Este. Fuente: Elaboración propia

1.3 Descripción de la situación inicial

Una vez descrito como es el edificio donde vamos a centrar nuestro estudio, se va a explicar la **situación inicial**, en relación al sistema de iluminación, objeto del estudio, que se encuentra en este edificio y que ha provocado que se planteen estudios para su mejora y acondicionamiento a las normativas actuales en cuanto a calidad lumínica y eficiencia energética.

Como ya se ha comentado, la iluminación de nuestra zona objeto de estudio se basa en una combinación de iluminación natural, en las zonas donde encontramos cristalerías que permiten el paso de luz natural al interior de la estancia, y de iluminación artificial, que se obtiene a través de un sistema de iluminación basado en fluorescentes compactos. Este sistema de iluminación artificial, está formado por luminarias tipo downlights “compactas”, en concreto de la marca Beghelli, modelo Crater, como la que se puede ver en la figura 8.



Figura 8. Downlight compacto sistema de iluminación. Fuente: *Elaboración propia*

Estas luminarias están formadas por dos lámparas fluorescentes compactas de bajo consumo de 13W de consumo teórico de la marca Osram. Estas luminarias se encuentran instaladas en el techo técnico desmontable, mediante montaje empotrado en el mismo, como se aprecia en la figura 8.

En cuanto a las características más importantes de la luminaria presente en el emplazamiento están la potencia consumida ($2 \times 13 \text{ W}$) y el flujo luminoso (1200 lm), El resto de características así como la distribución del flujo luminoso, que definiremos en el capítulo 2, se encuentran en la hoja técnica de la luminaria presente en el Anexo 1.

Si bien es cierto que la iluminación se basa en la combinación de luz artificial más luz natural, esta combinación no es óptima debido a que la adecuación de la luz artificial en función de la cantidad de luz natural que entra en las diferentes estancias no se realiza de manera eficiente, es decir, consumiendo los mínimos recursos energéticos, para obtener las condiciones de iluminación y confort necesarias. Esto es debido a que no hay un control del sistema de encendido de manera centralizado, como se puede encontrar en otras zonas del complejo hospitalario, basado en la cantidad de luz natural, si no que se realiza por tercios, es decir, se agrupan las diferentes luminarias en tres grupos equilibrados en cuanto a potencia, y se activan

o desactivan todas las luminarias de cada grupo de manera simultánea a través de unos pulsadores presentes en diferentes partes del edificio. Como es lógico cada zona tiene sus diferentes grupos de control y sus propios pulsadores.

Este sistema de control presenta inconvenientes muy claros como, por ejemplo, que la presencia de pulsadores en los pasillos implica que cualquier persona puede accionarlos por lo que es un problema a la hora de regular la iluminación y reducir el consumo. Por tanto, es imprescindible el cambio en el método de control para obtener una reducción en el consumo y ser eficientes a la hora de iluminar la zona en cuestión.

1.4 Programa LIFE+

Es importante mencionar, que este estudio realizado, servirá de base para su posterior análisis a la hora de implantar estrategias de iluminación y control en otras zonas, a fin de llevar a cabo mejoras relativas a la iluminación basadas en el programa LIFE + Smart Hospitals, programa en el que está inmerso el HURH.

El Programa de Medio Ambiente y Acción por el Clima (LIFE) es el instrumento financiero de la Unión Europea dedicado al medio ambiente para el periodo 2014-2020. Su objetivo general se basa en catalizar los cambios en el desarrollo y la aplicación de las políticas mediante la aportación de soluciones y mejores prácticas para lograr los objetivos medioambientales y climáticos, así como mediante la promoción de tecnologías innovadoras en materia de medio ambiente y cambio climático. Debe apoyar, así mismo, la aplicación del Programa General de Medio Ambiente de la Unión hasta 2020 “Vivir bien, respetando los límites de nuestro planeta” [33].

El objetivo principal del LIFE Smart Hospital es mejorar la manera en la que los hospitales pueden en un futuro adaptarse a las evoluciones que provocará el cambio climático, sin olvidar la reducción de no solo las emisiones de CO₂, sino también su huella climática (carbono, otros gases de efecto invernadero, etc.) Estos objetivos buscan la elaboración de estrategias en tres áreas principales como son: energía, agua y residuos. Las actuaciones resultantes para conseguir estos objetivos estarán basadas en la consecución de las mejores prácticas posibles, formación a medida y potencial de replicabilidad de la experiencia

El proyecto LIFE se llevará a cabo en el Hospital Universitario Río Hortega en Valladolid. Durante los 4 años del proyecto, el centro se convertirá en un demostrador en el que se implementarán las siguientes actuaciones [33]:

- En energía:
 - Mejora del rendimiento de quemadores en las calderas.
 - Mejora del sistema de control del alumbrado.
 - Instalación de alumbrado LED en urgencias.
 - Control del sistema de ventilación en quirófanos.

- Racionalizar el funcionamiento de los ventiladores de climatización en los pasillos.
- En agua:
 - Reducción del consumo neto de agua mediante medidas de ahorro y reutilización.
 - Mejora del tratamiento de las aguas residuales antes de su vertido a cauce público.
 - Instalación de un sistema de control de consumos individuales de agua.
- En residuos:
 - Mejoras en el diseño de la clasificación, segregación y recogida de los residuos.
 - Implantación de un sistema de trazabilidad de los residuos y entrenamiento personalizado del personal a las necesidades concretas del hospital.

Se llevará a cabo la implementación de estas actuaciones y se hará un seguimiento de su eficacia mediante las respectivas auditorías energéticas, hídricas y de residuos.

- Resultados esperados. Cifras
 - 10% reducción de la huella de carbono del hospital.
 - 30% de reducción de la huella hídrica.
 - 5% de ahorro en combustible con el que funcionan quemadores y calderas.
 - 10% de ahorro en el consumo eléctrico como consecuencia de las mejoras en el sistema de iluminación.
 - 30% de ahorro en el consumo de energía térmica y eléctrica gracias a la mejor ventilación y climatización de los quirófanos.
 - 35% de ahorro en el consumo neto de agua.
 - 20% de reducción de la contaminación producida por los vertidos de agua del hospital.
 - 5% de reducción en la cantidad de residuos no separados.
 - 1% de reducción en la cantidad de residuos que van al vertedero.
 - Manual de buenas prácticas que recoja los resultados proporcionados por cada una de las actuaciones y que se podrá emplear para optimizar el funcionamiento de otros hospitales.

Este programa LIFE+, además de ser un proyecto europeo que persigue la reducción de consumos energéticos en hospitales, también supondrá la parte principal de ingeniería de la RSC (Responsabilidad Social Corporativa) del HURH, en concreto en cuanto al impacto que la gestión del hospital tiene en el medio ambiente, debido a que las acciones que se lleven a cabo en este programa tienen como objetivo mejorar y reducir el impacto que la actividad que se lleva a cabo en el HURH tiene en el medio ambiente y en la sociedad vallisoletana en concreto, ya sea en materia de emisiones de gases de efecto invernadero, generación de residuos, ahorro energético, etc. (30).

Capítulo 2

ILUMINACIÓN. CONCEPTOS FUNDAMENTALES Y TECNOLOGÍAS DE ILUMINACIÓN

Antes de profundizar en el fundamento de la mejora del sistema de iluminación presente en el Edificio de Consultas y su posterior análisis, debemos explicar una serie de conceptos fundamentales para poder entender el desarrollo posterior que se realizará.

2.1 Conceptos fundamentales

Comenzaremos con una aproximación al concepto de iluminación desde un punto de vista teórico, para ello lo primero que debemos hacer es basarnos en el fenómeno físico que provoca la iluminación, la *luz*.

La luz es un elemento imprescindible a la hora de poder ver y apreciar los objetos de nuestro alrededor. En función de ella podemos hacernos una idea de todo aquello que nos rodea, por lo que es fundamental poder llegar a conocerla y controlarla, para aplicarla a un determinado fin. La luz es una onda electromagnética, es decir, transporta energía procedente de la interacción de un campo eléctrico y campo electromagnético y para su propagación no necesita ningún medio material. Desde el punto de vista luminotécnico, nos interesan los regímenes periódicos, que son aquellos que se repiten a lo largo del tiempo y los podemos representar gráficamente.

El ojo humano sólo es estimulado por radiaciones con una longitud de onda entre los 380 y los 780 nm. A este rango de longitudes de onda, se le denomina espectro visible y en él se reproducen todos los colores del arco iris (figura 9).

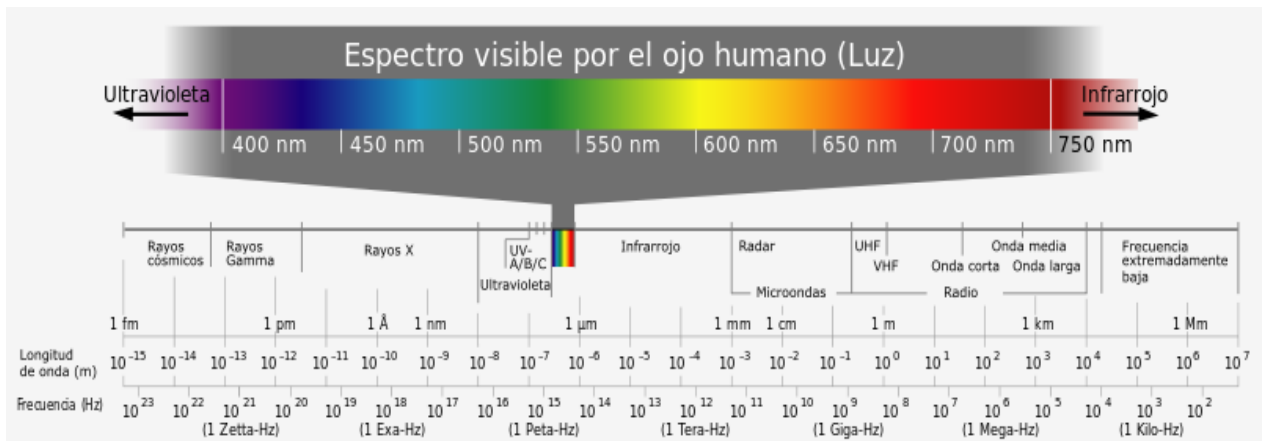


Figura 9. Espectro electromagnético. Fuente: [5]

A la hora de ver como se distribuye la potencia radiada por una fuente de luz en las diferentes longitudes de onda, podemos utilizar la curva de distribución espectral. Esta curva es necesaria a la hora de realizar un estudio sobre la luz (figura 10).

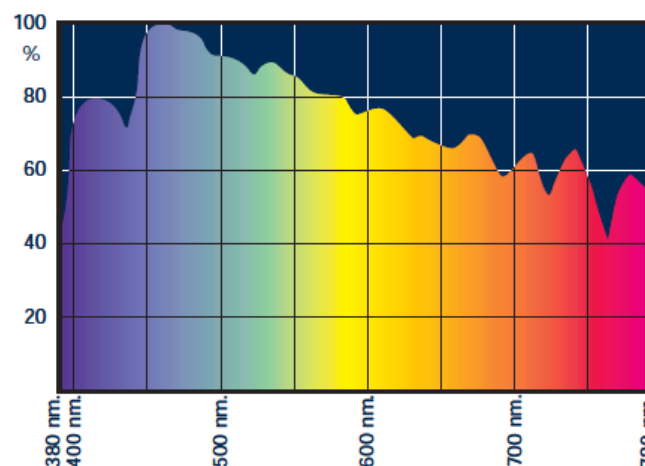


Figura 10. Distribución espectral luz diurna. Fuente [5]

Partiendo del concepto de luz ya comentado, podemos definir la *iluminación* como la cantidad de luz que recibe un determinado objeto y gracias a la cual podemos distinguir sus propiedades físicas como geometría, color, etc.

Para poder utilizar con un determinado fin esa cantidad de luz, necesitamos un *sistema de iluminación*, formado por un conjunto de elementos que se encarguen de aprovechar la radiación electromagnética que se produce en una determinada fuente de luz.

La interacción de la luz con la materia provoca la modificación de las características del haz luminoso que incide sobre un determinado objeto, y por otro lado, la energía de la fuente luminosa como ya hemos descrito, es aprovechada y dirigida a través de un sistema de iluminación que se basa en las propiedades

óptimas que presenta la luz para poder emitir y dirigir esta energía de la manera más eficiente posible. Las características ópticas que presenta la luz son:

- Reflexión
- Refracción
- Absorción
- Trasmisión
- Difusión

2.1.1 Magnitudes luminosas y representación

A partir de las definiciones de iluminación y sistema de iluminación descritas anteriormente, vamos a realizar una recopilación de diferentes magnitudes que influyen de manera directa en la iluminación y que son las que nos darán la información necesaria acerca de cómo será la iluminación que nos proporcione un determinado sistema y con esta información seleccionar el más adecuado.

En la tabla 1, se muestran estas magnitudes, así como la relación que existe entre ellas y las unidades en las que se expresan.

Magnitud	Símbolo	Definición	Unidad	Relación
<i>Flujo luminoso</i>	Φ	Cantidad de luz radiada o emitida en un segundo en todas las direcciones.	Lumen (lm)	$\Phi = Q/t$ $\Phi = I * \omega$
<i>Cantidad de luz</i>	Q	Flujo luminoso emitido en la unidad de tiempo.	Lumen x h	$Q = \Phi * t$
<i>Intensidad luminosa</i>	I	Flujo emitido en una dirección por unidad de ángulo sólido en esa dirección.	Candela (cd) (cd=lm/sr)	$I = \Phi/\omega$
<i>Iluminancia, iluminación o nivel de iluminación</i>	E	Relación entre el flujo luminoso que recibe la superficie y su área.	Lux (lx) (lx= lm/m ²)	$E = \Phi/S$
<i>Luminancia</i>	L	Cociente entre la intensidad luminosa de una fuente de luz, en una dirección, y la superficie de la fuente proyectada según dicha dirección.	Stilb (Sb) (Sb= cd/cm ²) Nit (n) (n = cd/m ²)	$L = \frac{I}{S} \cos \beta$
<i>Eficacia luminosa</i>	ε	Flujo que emite una fuente de luz por unidad de potencia eléctrica consumida para su obtención.	Lumen/vatio lm/w	$\varepsilon = \Phi/P$
<i>Coefficiente de utilización</i>	η	Relación entre el flujo luminoso recibido por un cuerpo y el flujo emitido por una fuente luminosa.	%	$\eta = \Phi/\Phi_e$
<i>Reflectancia</i>	ρ	Relación entre el flujo reflejado por un cuerpo (con o sin difusión) y el flujo recibido.	%	$\rho = \Phi_r/\Phi$
<i>Absortancia</i>	α	Relación entre el flujo luminoso absorbido por un cuerpo y el flujo recibido.	%	$\alpha = \Phi_a/\Phi$
<i>Transmitancia</i>	τ	Relación entre el flujo luminoso transmitido por un cuerpo y el flujo recibido.	%	$\tau = \Phi_t/\Phi$
<i>Factor de uniformidad media</i>	U_m	Relación entre la iluminación mínima y la media, de una instalación de alumbrado.	%	$U_m = \frac{E_{min}}{E_{med}}$
<i>Factor de uniformidad extrema</i>	U_e	Relación entre la iluminación mínima y la máxima, de una instalación de alumbrado.	%	$U_e = \frac{E_{min}}{E_{max}}$
<i>Factor de uniformidad longitudinal</i>	U_L	Relación entre la luminancia mínima y máxima longitudinal, de una instalación de alumbrado.	%	$U_L = \frac{L_{min \text{ long}}}{L_{max \text{ long}}}$
<i>Factor de uniformidad general</i>	U_0	Relación entre la luminancia mínima y media, de una instalación de alumbrado.	%	$U_0 = \frac{L_{min}}{L_{med}}$
<i>Factor de mantenimiento</i>	F_m	Coefficiente que indica el grado de conservación de una instalación.	%	$F_m = F_{pl} * F_{dl} * F_t * F_c * F_e$

Tabla 1. Resumen magnitudes luminosas. Fuente: elaboración propia

Una vez definidas las magnitudes más usuales en cuanto a iluminación se refiere, debemos destacar que a la hora de trabajar con ellas lo más interesante son las representaciones gráficas de las mismas, que nos ofrecen una perspectiva de cómo podría funcionar nuestra luminaria.

No es objeto del proyecto explicar cómo se utilizan estas representaciones, si bien es cierto que se utilizarán posteriormente como una manera visual de expresar los resultados obtenidos, por tanto, se mostrarán a continuación algunas de estas representaciones de magnitudes luminosas (figura 11 a 13)

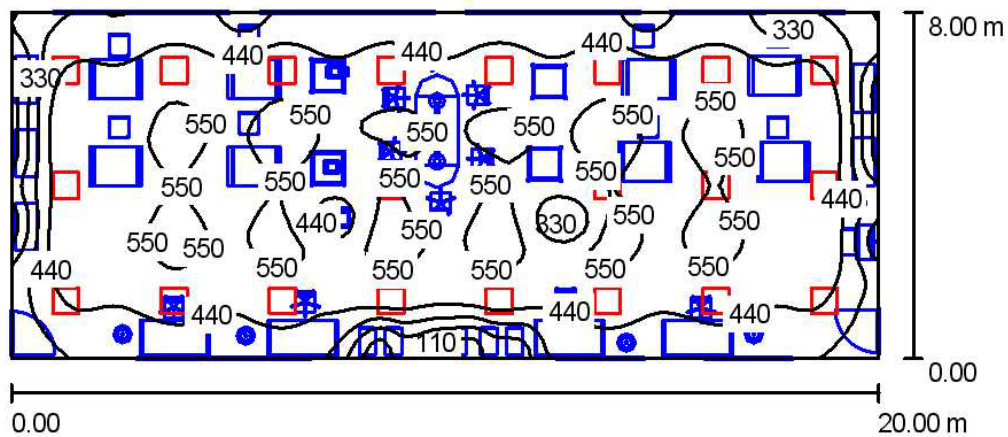


Figura 11. Curvas isolux. Fuente: [25]

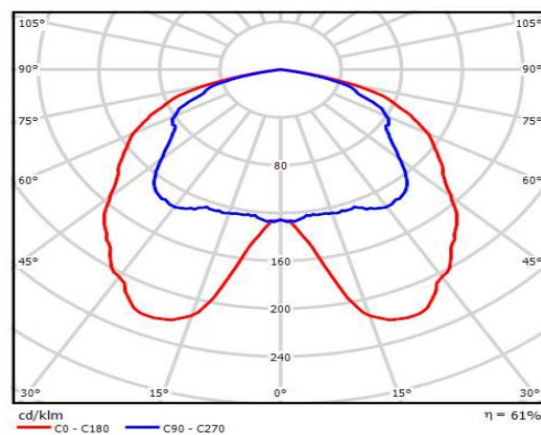


Figura 12. Diagrama Polar. Fuente: [25]

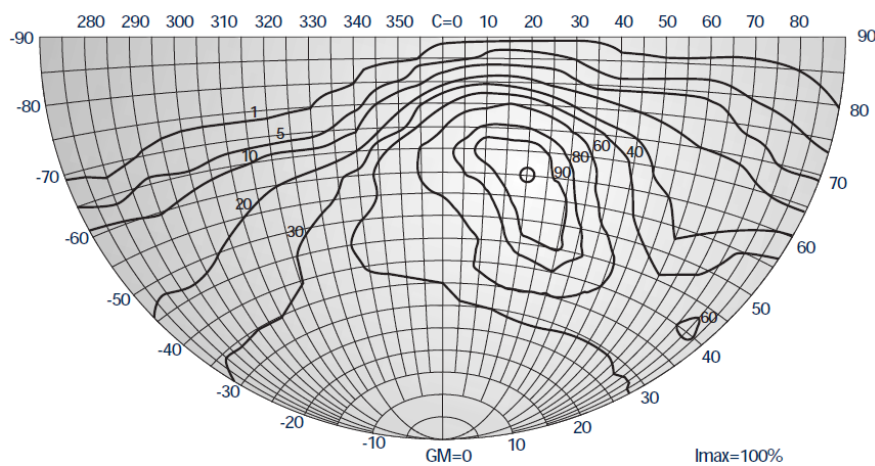


Figura 13. Curvas Isocandelas. Fuente: [5]

2.1.2 Factores a tener en cuenta en los sistemas de iluminación

Una vez comentadas las magnitudes más importantes en iluminación debemos relacionarlas ahora con los diferentes sistemas de iluminación, para poder realizar una selección correcta del mismo en función del uso al que irá dirigido.

Algunas de las características más importantes que debemos tener en cuenta cuando hablamos de sistemas de iluminación son las que a continuación describiremos de manera breve:

- Distribución espectral de la radiación.

Ya que buscamos como presente y futuro un despilfarro cero de energía, toda la radiación que produce la fuente de luz debe convertirse en la medida de lo posible en radiación visible. Esta radiación emitida debería ser de color blanco (similar a la luz diurna) y con espectro continuo para todos los colores, aunque no siempre es posible.

- Luminancia

Esta magnitud debe de tener un valor acorde a la aplicación donde se vaya a instalar el sistema de iluminación, así mismo es necesario reducir al máximo e incluso si es posible eliminar la posibilidad de que la fuente de luz produzca a los usuarios deslumbramiento.

- Distribución de la intensidad luminosa

Como se puede suponer de las magnitudes luminosas que hemos definido anteriormente, en este caso la intensidad luminosa, la radiación visible proporciona una fuente de luz que depende de la dirección en la que se mida, por tanto, debemos tener información acerca de cómo es esta distribución espacial, que se consigue a través de las curvas fotométricas (figura 12), para poder proyectar de manera correcta la instalación de iluminación.

- Color apropiado para cada aplicación

Debemos definir lo que se conoce como *temperatura de color* (TC). Es una expresión que se utiliza para indicar el color de una fuente de luz por comparación de ésta con el color del cuerpo negro (tabla 2), o sea del “radiante perfecto teórico” (la emisión de luz es debida únicamente a su temperatura)

Grupo de apariencia de color	Apariencia de color	Temperatura de color
1	Cálida	$K < 3.300$
2	Intermedia	$3.300 < K < 5.300$
3	Fría	$K > 5.300$

Tabla 2. Clasificación en función de la TC. Fuente: *Elaboración propia*

- Calidad de reproducción cromática

Se refiere al aspecto del color que presentan las superficies iluminadas. Su calidad reproductora depende de la tonalidad de la luz incidente (color de la luz) y principalmente de su composición cromática.

Podemos definir el *índice de reproducción cromática* (IRC) como la capacidad de la fuente de la luz para reproducir colores normalizados, en comparación con la reproducción proporcionada por una luz patrón de referencia. Así mismo podemos clasificar las fuentes de luz en función del IRC como se puede observar en la tabla 3.

Grupo de rendimiento de color	Rango de rendimiento de color	Calidad de rendimiento de color
1A	$IRC \geq 90$	Excelente
1B	$80 \leq IRC < 90$	Muy bueno
2	$60 \leq IRC < 80$	Bueno
3	$40 \leq IRC < 60$	Pobre
4	$20 \leq IRC < 40$	Muy pobre

Tabla 3. Grupos de rendimiento de color. Fuente: *Elaboración propia*

- Constancia del flujo luminoso

Por motivos tanto físicos como tecnológicos, una fuente no puede mantener de manera indefinida el valor del flujo luminoso que emite, se va depreciando con el tiempo, por lo que es necesario poder estimar cuándo este valor se reduce por debajo de los límites para tomar medidas de actuación y sustituir esas lámparas.

- Rendimiento luminoso o eficacia luminosa

Se tendrá en cuenta el rendimiento del sistema de iluminación en conjunto y en particular el de la lámpara, a la hora de seleccionarla para cada para conseguir dentro de lo posible un ahorro económico.

- Vida media y vida útil

Conviene diferenciar estos dos aspectos, ya que parecen que significan lo mismo, pero no es así:

- *Vida media*, en horas, es el valor estadístico obtenido sobre una muestra representativa de lámparas del mismo tipo, modelo y lote.
- *Vida útil*, en horas, se refiere al número de horas de servicio de una lámpara hasta que su flujo luminoso se reduce por debajo del umbral límite inferior ($\approx 70\%$ del valor nominal).

- Repercusiones en la red de alimentación

Cada vez es más habitual que en la red eléctrica se induzcan perturbaciones electromagnéticas (PEM) que hagan que la característica senoidal que debería de tener tanto la tensión como la corriente se alejen de esta forma, debido sobre todo

a la distorsión que provocan los componentes electrónicos. Por tanto, toda fuente de luz que esté accionada o que lleve como elemento auxiliar un aparato electrónico inducirá en mayor o menor medida una perturbación en la red de alimentación.

- Estabilización de las lámparas

Esta característica se da sobre todo en aquellas lámparas cuya resistencia se ve disminuida a medida que pasa corriente a través de ellas, por tanto, para que no circulen corrientes elevadas que hagan que se dañen los diferentes componentes que forman la lámpara/luminaria, se suele intercalar una impedancia (resistiva, inductiva o capacitiva) para que se establezca la corriente durante su funcionamiento.

- Variaciones en la tensión de alimentación

Las lámparas que componen los sistemas de iluminación están diseñadas para trabajar en un rango de tensión determinado, fuera del cual tiene efectos perjudiciales para las mismas, como reducción de la vida útil, de sus propiedades fotométricas, etc.

- Tiempo hasta que el flujo luminoso adquiere el régimen nominal

Hay que tener en cuenta, el tiempo que tarda cada tipo de tecnología de iluminación en llegar al régimen nominal de flujo luminoso, ya que influirá en las aplicaciones en las que se puede utilizar cada una de ellas.

- Reencendido

Es una característica de las diferentes tecnologías de lámparas, ya que no todas permiten una vez apagadas, su reencendido inmediato, necesitando unos minutos para que se enfríen antes de poder encenderlas de nuevo.

- Efecto estroboscópico

Es un efecto óptico que se produce al iluminar mediante destellos, un objeto que se mueve de forma rápida y periódica. Se llama así, al efecto visual a través del cual, nos parece ver un cuerpo que gira como detenido, cuando lo iluminamos con una fuente de luz de rápida acción y que se apaga y enciende a la misma frecuencia que la velocidad de giro del cuerpo. Es muy importante prevenirlo en determinadas aplicaciones donde puede suponer un riesgo para la salud.

- Posición de funcionamiento

Conviene recordar que, de manera genérica, las lámparas se fabrican para su colocación en una posición determinada, fuera de la cual sus propiedades varían de manera considerable, por lo que conviene tener clara dicha posición.

- Deslumbramientos

Más que una característica de un sistema de iluminación, el deslumbramiento es una sensación que se produce debido a que la iluminación es muy elevada con lo que se altera la percepción del ojo causando reducción de la capacidad visual e incluso molestia.

Si bien es cierto que el deslumbramiento no está producido únicamente por las fuentes de luz de manera directa, ya que también influyen las reflexiones de los rayos de luz sobre los objetos. En cualquiera de los casos hay que intentar reducir esta sensación molesta ya sea a través de elementos que impidan la visión directa de la lámpara o un estudio de deslumbramiento de la estancia para reducirlos al mínimo.

2.2 Descripción de las tecnologías de iluminación

Una vez comentados los conceptos fundamentales de iluminación, nos centraremos ahora en la descripción de los diferentes sistemas de iluminación de interior que actualmente podemos instalar para obtener unas condiciones luminosas adecuadas a la aplicación que se realizará en un determinado espacio. Comentaremos brevemente todas las tecnologías que encontramos y nos centraremos posteriormente en las que se utilizan en el HURH.

2.2.1 Sistemas de iluminación

Continuando con el concepto de sistema de iluminación descrito en el apartado 2.1 del presente trabajo, podemos clasificar los sistemas de iluminación en función de tres criterios:

- I. Con relación a la distribución luminosa de la luminaria (figura 14):
 - a. Directo
 - b. Semi-directo
 - c. Directo-indirecto
 - d. Semi-indirecto
 - e. Indirecto

- II. Con relación a la distribución luminosa sobre el área a iluminar (figura 15):
 - a. General
 - b. General localizado
 - c. Localizado o supletorio

- III. Con relación a la zona a iluminar
 - a. Interior
 - b. Exterior

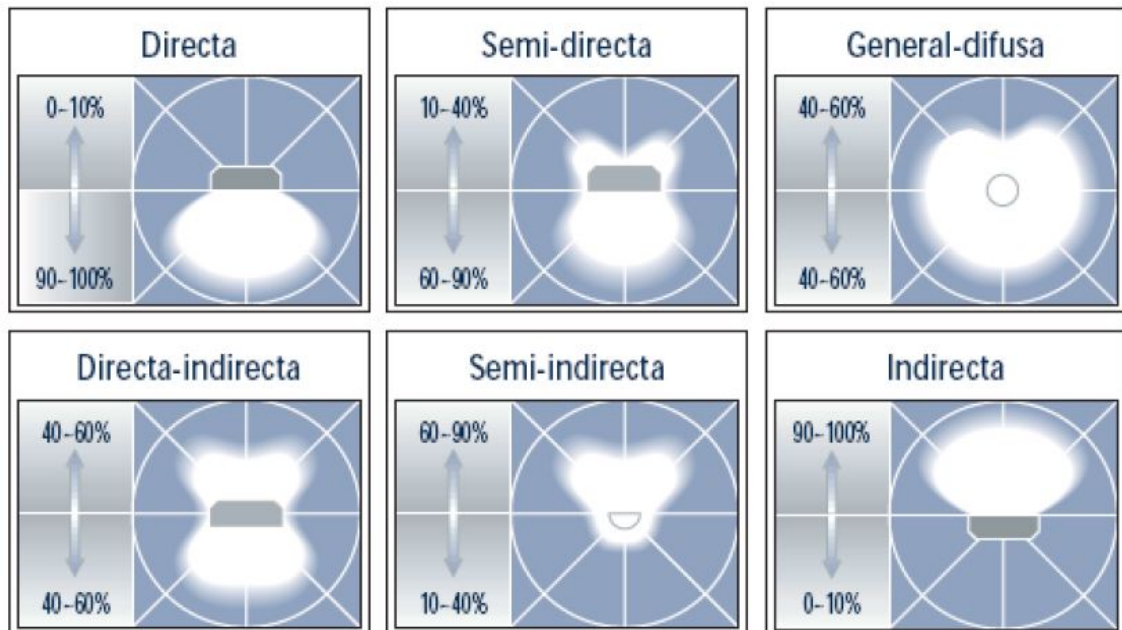


Figura 14. Sistemas de iluminación en relación a la distribución luminosa de la luminaria. Fuente: [12]

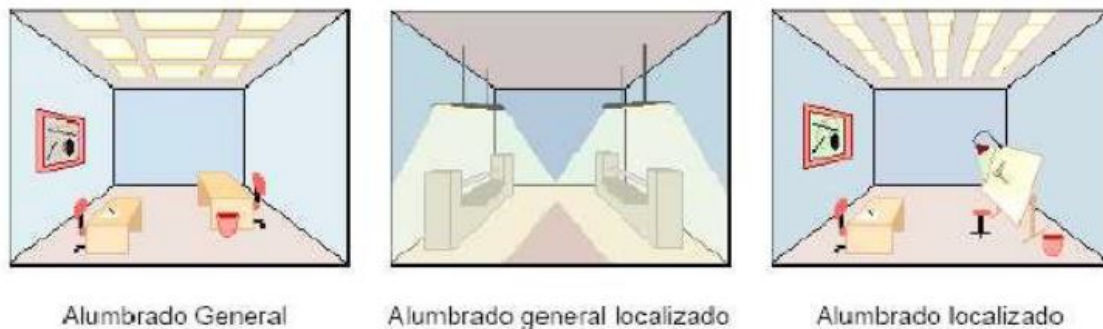


Figura 15. Sistemas de iluminación en relación a la distribución luminosa sobre el área a iluminar. Fuente: [12]

Como ya se ha comentado, un sistema de iluminación está formado por una serie de elementos cuya función conjunta es aprovechar al máximo la iluminación que produce la fuente de luz que tenga el sistema (lámparas). Los componentes principales que presentan estos sistemas son (figura 16):

- a) Acometida del punto de luz
- b) Equipos auxiliares para acondicionamiento de la energía eléctrica
- c) Difusor
- d) Reflector
- e) Pantalla
- f) Carcasa

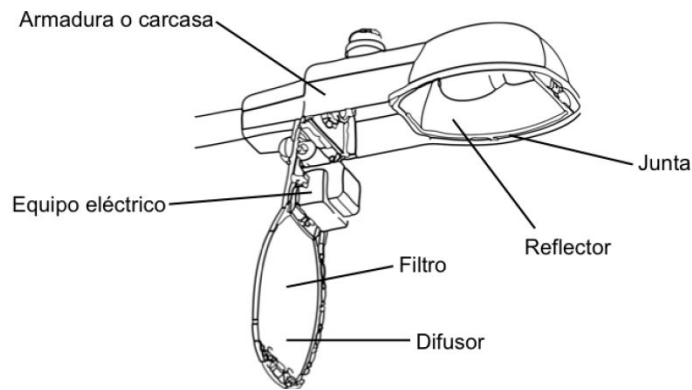


Figura 16. Elementos de un sistema de iluminación. Fuente: [4]

Como el elemento más importante del sistema de iluminación es la propia fuente de luz, describiremos brevemente las lámparas que se utilizan en los sistemas de iluminación de interiores:

- Incandescencia
- De descarga en vapor de mercurio
- De descarga en vapor de sodio
- Inducción
- Chip LED

Lámparas de incandescencia

La lámpara incandescente es la fuente de luz eléctrica más antigua. Es también la que posee mayor variedad de alternativas y se puede encontrar en casi todas las aplicaciones, particularmente cuando se requieren bajos flujos luminosos.

Nos podemos encontrar a su vez:

➤ Incandescentes convencionales, se denominan así, debido a que su filamento, por el paso de la corriente eléctrica llega a la incandescencia y emite radiaciones, algunas de ellas en el margen visible del espectro (figura 17). La energía luminosa obtenida es muy poca comparada con la energía calorífica que irradia, es decir, gran parte de la energía eléctrica transformada se pierde en calor y por ello su eficacia luminosa es pequeña.



Partes de una bombilla

Figura 17. Lámpara incandescente convencional. Fuente: [5]

➤ Halógenas de wolframio, poseen un componente halógeno (yodo, cloro, bromo) agregado a las paredes de relleno y trabajan con el ciclo regenerativo de halógeno para prevenir el oscurecimiento. La diferencia principal con una lámpara incandescente, a parte del aditivo de halógeno, está en la ampolla, debido a que la temperatura de la ampolla debe ser alta, están hechas de cristal de cuarzo especial (figura 18).



Figura 18. Lámpara incandescente halógena. Fuente: [31]

Lámparas de descarga en vapor de mercurio

Estas lámparas se caracterizan por tener en el tubo de descarga donde se producirán la radiación electromagnética, vapor de mercurio. Podemos encontrarlos a su vez:

➤ Fluorescentes, las comentaremos con más profundidad en el apartado 2.2.2 del presente capítulo.

➤ De mercurio a alta presión, contiene en su interior mercurio a alta presión para facilitar su vaporización. La radiación en parte se produce en el espectro visible y otra parte en el ultravioleta, por lo que también tiene las paredes exteriores con polvos fluorescentes (figura 19).

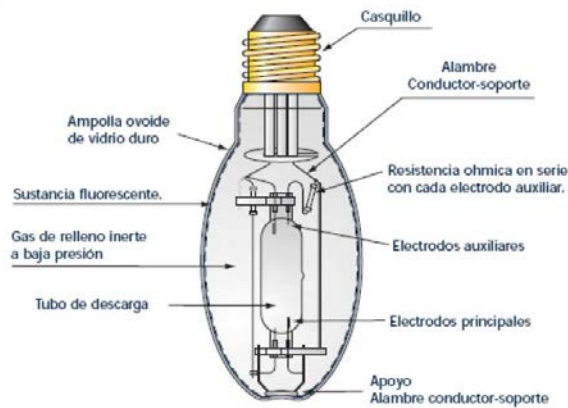


Figura 19. Lámpara de vapor de mercurio a alta presión. Fuente: [5]

➤ **Mezcla**, formadas por la unión de una lámpara incandescente y una de mercurio a alta presión, aprovecha las ventajas de cada una de ellas (figura 20).

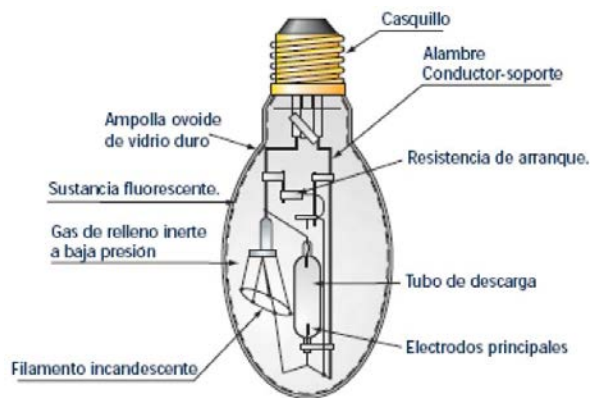


Figura 20. Lámpara de vapor de mercurio mezcla. Fuente: [5]

➤ **De halogenuros metálicos**, son lámparas de vapor de vapor de mercurio a alta presión que además contienen halogenuros de tierras raras como el Dysprosio, Holmio y el Tulio. Estos haluros son en parte vaporizados cuando la lámpara alcanza su temperatura normal operativa (figura 21). La ventaja que presentan es que la vaporización de estos haluros provoca un aumento considerable de su eficacia luminosa y aproximan el color de la lámpara al de la radiación solar diurna.



Figura 21. Lámpara de vapor de mercurio con halogenuros. Fuente: [5]

Lámparas de descarga en vapor de sodio

Estas lámparas se caracterizan por tener en el tubo de descarga donde se producirán la radiación electromagnética, vapor de sodio. Aunque no es habitual encontrarnos lámparas basadas en esta tecnología para iluminación interior ya que, debido a sus características, son más utilizadas en alumbrado exterior. Podemos encontrarnos a su vez:

- De sodio a baja presión, no se utilizan para iluminación interior, su aplicación más destacada es la iluminación de viales.
- De sodio a alta presión, debido a la presión del sodio las características son totalmente diferentes a las de sodio a baja presión. El IRC es superior a las de baja presión, pero para aplicaciones de interior es todavía bajo.

Lámparas de inducción

Este tipo de lámparas es un nuevo concepto de iluminación, ya que lo que buscan es eliminar las partes más vulnerables a sufrir defectos, los electrodos. Aunque presentan características muy favorables en cuanto a flujo luminoso, durabilidad, geometría, etc., debido a su más que elevado precio, se utilizan poco y en aplicaciones donde los gastos de mantenimiento son muy elevados. Nos podemos encontrar dentro de las lámparas de inducción:

- Fluorescentes de alta potencia sin electrodos, tiene forma de anillo, completamente cerrado, y la energía se aporta del exterior a través de dos anillos de ferrita mediante un campo magnético variable.
- De descarga de gas a baja presión por inducción, contiene en un recipiente de descarga, un gas a baja presión y un acoplador de potencia fabricado con ferrita, que proporciona la energía mediante un generador de alta frecuencia.

Lámparas LED

Las comentaremos en el apartado 2.2.2 del presente capítulo.

2.2.2 Tecnologías utilizadas en el HURH

De todas las tecnologías que podemos utilizar para la iluminación de interiores, en nuestro emplazamiento a estudio nos encontramos tanto la tecnología de fluorescencia compacta como la tecnología LED, que se utiliza como sustituta de las anteriores, debido a que presenta diversas ventajas con respecto a las lámparas que sustituye, que se comentarán en el apartado 2.2.3 del presente capítulo. A continuación, explicaremos de manera detallada estas dos tecnologías de iluminación empleadas.

Fluorescentes compactos

Como su propio nombre indica, se trata de un sistema de iluminación basado en fluorescentes, pero a diferencia de los fluorescentes normales que nos podemos encontrar en cualquier aplicación de iluminación, oficinas, clases, etc., los denominados “fluorescentes compactos”, están formados por un tubo estrecho, en torno a 10–15 mm de diámetro, cuya forma constructiva es en doble U o bien un multi-tubo conectado a través de un puente de unión. Con esta forma constructiva lo que conseguimos es tener dimensiones más reducidas de las lámparas [4].

Podemos hablar de diferentes tipos de fluorescentes compactos:

- *Lámparas compactas*, con balasto y cebador incorporado, que se usan para la sustitución directa de lámparas incandescentes.
- *Lámparas miniaturizadas*, con o sin balasto y con cebador incorporado

Los componentes que presentan estas luminarias son los que se detallan a continuación de manera breve (figura 22):

- I. Tubo de descarga, tubo de vidrio donde se encuentran los componentes necesarios para que se produzca la radiación ultravioleta que será transformada en radiación visible.
- II. Ampolla, solamente necesaria en el caso de lámparas compactas, se trata de una envolvente exterior, similar a las de las lámparas incandescentes.
- III. Electrodos
- IV. Gas de relleno, normalmente gases inertes como el Argón, Kriptón o Neón, cuya misión principal es facilitar el inicio de la descarga entre los electrodos y proteger a los mismos.
- V. Sustancias fluorescentes, encargadas de transformar la radiación ultravioleta en visible. Se encuentran situadas en las paredes interiores del tubo de descarga.
- VI. Casquillos, o bien de espigas o bien tipo Edison.
- VII. Equipos auxiliares, entre los que se encuentran un balasto y un cebador, además de un condensador para compensar el factor de potencia

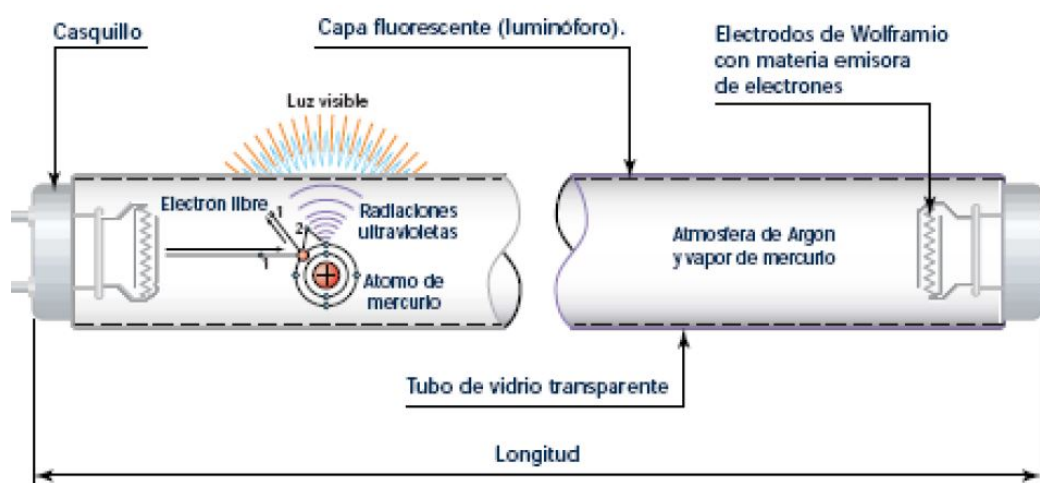


Figura 22. Partes de un fluorescente. Fuente: [11]

El **modo de funcionamiento** de estas lámparas, es análogo al funcionamiento de las lámparas fluorescentes normales. Se compone de dos partes fundamentales [4].

- *Encendido*, primeramente, se utiliza un cebador para realizar el precalentamiento de los electrodos, y una vez que se encuentran precalentados, se provoca una sobretensión que provoca la descarga de un arco entre los electrodos estableciéndose una corriente entre ellos y desconectado el cebador

- *Estabilización de la descarga*, para ello se utiliza otro elemento auxiliar, en este caso un balasto en serie, que regula la tensión de funcionamiento de la lámpara. Normalmente se suele colocar en paralelo un condensador, para mejorar el factor de potencia (figura 23).

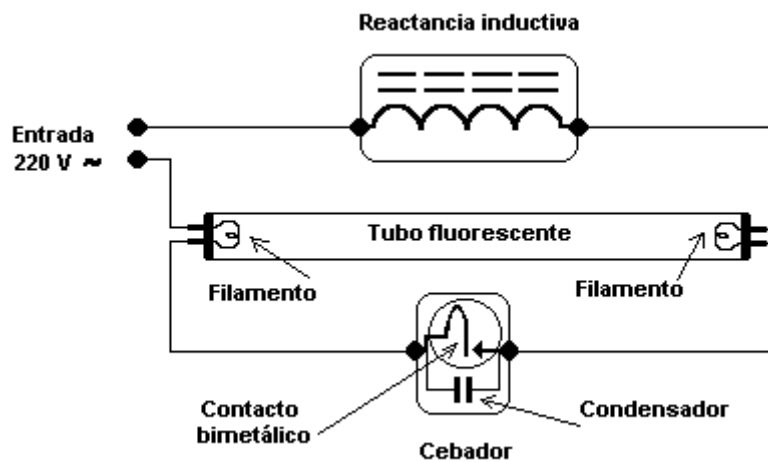


Figura 23. Conexión eléctrica de un fluorescente. Fuente: [11]

Las características **fotométricas**, a que tener en cuenta son:

- Flujo luminoso

Para poder seleccionar la lámpara adecuada a nuestra aplicación.

- Distribución espectral

Este tipo de lámparas presentan una curva de distribución espectral discontinua que reproduce colores según la composición de la sustancia fluorescente que recubre la pared interior del tubo (figura 24).

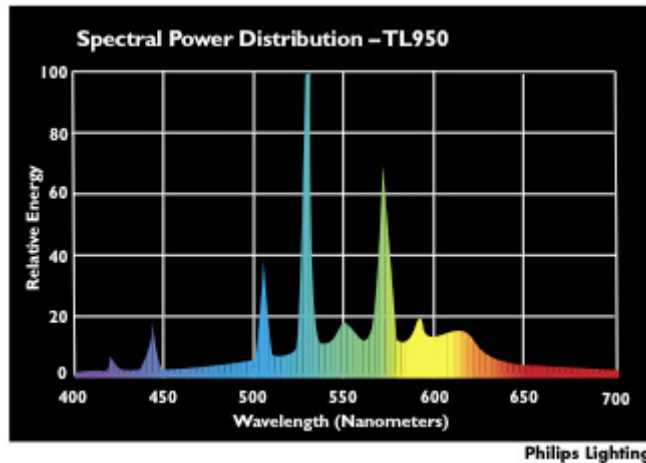


Figura 24. Distribución espectral lámpara fluorescente. Fuente: [26]

- Eficacia luminosa

Depende del tipo de la lámpara y de la potencia de la misma, pero oscila entre valores de 40 a 100 lm/W.

En cuanto a las prestaciones colorimétricas, tenemos a su vez [4]:

- Temperatura de color, nos podemos encontrar luminarias de TC que varíe entre 2.700 – 4.000 K, dependiendo de la aplicación en la que se utilicen.
- En cuanto al IRC presentan un índice bueno en torno a 80 – 85.

Por último, en cuanto a este tipo de sistema de iluminación se refiere, hablaremos acerca de su vida media de funcionamiento, que suele ser de media entre las 5.000 – 6.000 horas, si bien es cierto que esto depende del desgaste que puedan presentar sobre todo los electrodos.

Tecnología LED

Un LED (light emitting diode) es un dispositivo semiconductor que cuando es atravesado por una corriente eléctrica, se polariza de manera directa y como resultado se produce una emisión de radiación luminosa [1].

Está formado por varias capas de material semiconductor, normalmente formadas de cristales de Silicio (Si) con impurezas totalmente controladas de elementos dopantes como Indio (In), Galio (Ga), etc. consiguiendo semiconductores tipo N y tipo P [8].

Cuando se produce una diferencia de potencial entre sus dos terminales (ánodo y cátodo), se origina una corriente eléctrica que produce un efecto llamado electroluminiscencia (figura 25), fenómeno que se basa en la transformación de la energía eléctrica que recibe en radiación en el espectro visible, sobre una fina capa llamada *capa activa* [8], debido a que la corriente eléctrica provoca el movimiento de los electrones entre las bandas N (exceso de electrones) y P (exceso de huecos) y

asociado a este movimiento se produce una liberación de energía electromagnética, que se transmite en forma de fotones y en función de la cantidad de energía liberada, la radiación será en forma infrarroja (poca energía), visible (energía elevada) e incluso ultravioleta (excesiva energía liberada) [1].

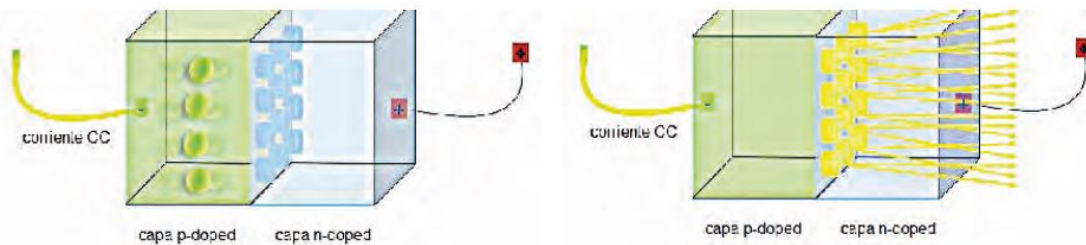


Figura 25. Polarización de un diodo led. Fuente: [1]

Lo que se conoce habitualmente como un LED se basa en la combinación de varios cristales semiconductores de silicio junto con una lente óptica para modificar y/o regular la luz emitida por el mismo (figura 26). Esta envolvente está compuesta normalmente por un polímero plástico o una combinación de materiales cerámicos y metálicos, cuya resistencia es mayor que las envolventes de las lámparas convencionales [11].

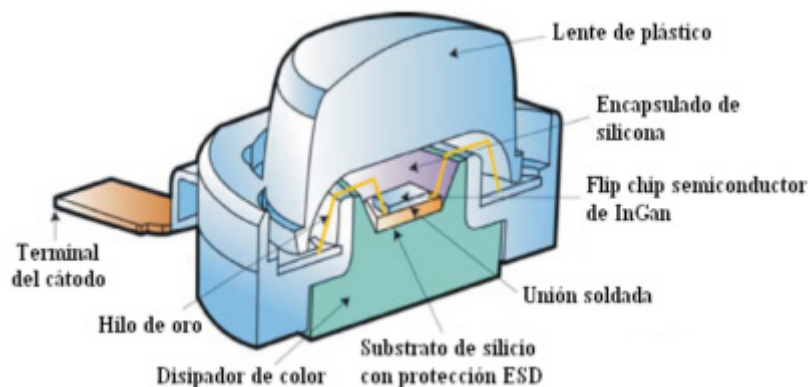


Figura 26. Construcción interna de un LED. Fuente: Dpto. Ing. Eléctrica UPC

A la hora de conseguir este método de iluminación, podemos hablar de varias tecnologías de fabricación [2]:

- *Diodos convencionales LED*
- *OLED (organic light-emitting diodes)* basado en una capa electroluminiscente, constituida por una película de componentes orgánicos entre un ánodo y un cátodo que cuando es atravesada por una corriente eléctrica emite luz.
- *PLED (polymer LED)* se basan en un polímero conductor electroluminiscente que cuando una determinada corriente eléctrica lo atraviesa, provoca la emisión de luz por parte del mismo.
- *TOLED (transparent LED)* formadas por un terminal transparente, sobre todo para la fabricación de pantallas, de tal manera que las pantallas formadas

por estos LED pueden emitir en la cara delantera y en la posterior o ambas, consiguiendo ser transparentes.

Al igual que el resto de fuentes luminosas, podemos clasificar las características de los LEDs en cuatro categorías:

- Fotométricas
- Prestaciones cromáticas
- Eléctricas
- Vida media o duración

Atendiendo a las características **fotométricas**, podemos hablar a su vez de algunas características:

- Flujo luminoso

Partiendo de la definición indicada en el apartado 2.1 del presente capítulo, éste depende de la correcta combinación de cuatro parámetros:

- Calidad de las sustancias dopantes añadidas al silicio con el fin de aumentar la generación de fotones.
- La intensidad de corriente eléctrica que atraviesa el LED.
- La capacidad de disipación de calor.
- El rendimiento del sistema óptico.

- Distribución espectral

En cuanto a la distribución que presentan estas lámparas es totalmente discontinua, debido a que en función de la frecuencia de la radiación visible en la que emitan tenemos LED de diferentes colores, por lo que su espectro es discontinuo (figura 27) y presenta un fuerte pico en el color de emisión del LED en cuestión [15].

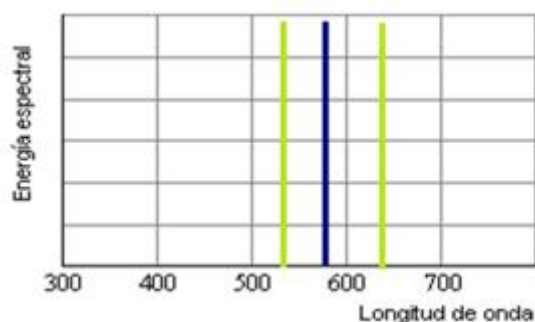


Figura 27. Posibles espectros de las lámparas LED. Fuente: Dpto. Ing. Eléctrica UPC

- Eficacia luminosa

Depende del método de fabricación del LED y de características como la temperatura de color y el IRC podemos hablar de valores de 100 a 140 lm/W, pero debido a que se tienen que integrar con otros equipos para formar una luminaria, la eficacia que presenta el conjunto LED + equipos necesarios está entre 40 – 80 lm/W.

En cuanto a las **prestaciones colorimétricas**, deben considerarse las que a continuación se detallan:

- En cuanto a la Temperatura de Color del LED, ésta va a depender de la gama de radiación visible que podamos conseguir (en función del tipo de color blanco, que se explicará más adelante), variando entre unos valores de TC comprendidos entre 2.700 K (blanco cálido) hasta valores superiores a 5.300 K (blancos fríos)
- Si hablamos del IRC, estas lámparas consiguen valores muy elevados, siendo superiores a 90.
- Una característica que tienen los LED es que no pueden emitir de manera directa luz blanca, por lo que para conseguirla es necesario mezclar colores. Esto se puede realizar de varias maneras [1]:
 - Una manera de conseguirlo es utilizando a la vez diferentes tipos de LED monocromáticos y mezclando la luz emitida por uno rojo, otro verde y uno azul. Si bien es cierto que este método ha sido descartado tanto por el coste como porque el IRC es muy bajo (figura 28).
 - Otro método más utilizado se basa en utilizar un chip azul con una capa de fósforo amarillo, rojo o verde, en función del tipo de blanco que queramos, frío o cálidos respectivamente. El principio de actuación es similar al de los polvos fluorescentes (figura 28).

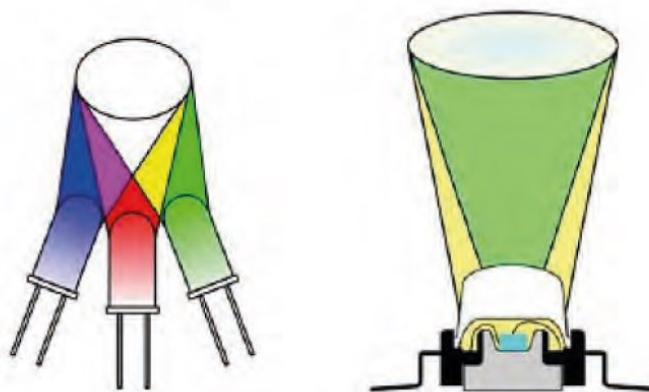


Figura 28. Obtención de luz blanca con LED. Fuente: [1]

Si hablamos de las características eléctricas, el esquema de conexión de un LED es el que puede ver en la figura 29 Como característica especial que presenta es la forma de alimentación del LED es que están contruidos para trabajar con corrientes eléctricas concretas a diferencia de otras lámparas que trabajan a tensiones determinadas y además tiene que ser en corriente continua (DC), por lo que es necesario disponer de una fuente de alimentación propia que conectada a la red, le dé al LED la tensión en DC necesaria, normalmente a 24V, para su funcionamiento. A parte de la fuente, se utiliza una resistencia en serie con el diodo cuya función es controlar y limitar la corriente que lo atraviesa (corriente constante).

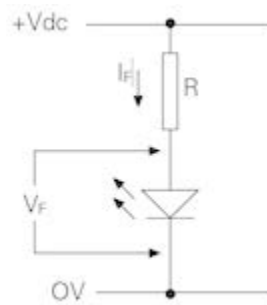


Figura 29. Conexión eléctrica de un LED. Fuente: [15]

Por último, dos ventajas muy importantes que presentan los LED frente a otros tipos de lámparas para iluminación son, por un lado la **vida media** que presentan ya que pueden funcionar durante un periodo de tiempo (medido en horas) muy elevado en comparación con otras tecnologías, siendo normal encontrar valores de vida media de estos equipos entre 50.000 y 100.000 horas de funcionamiento y por otro, que su **vida útil no se ve afectada por el número de encendidos**, cosa que si ocurre en otros tipos de lámparas como las fluorescentes. Si bien es cierto, que su duración es muy elevada, hay dos factores que son fundamentales en cuanto a su duración [1]:

- *Calidad del LED*, que vendrá determinada por el proceso de fabricación del mismo
- *Gestión del calor* y su posterior evacuación al exterior para que un aumento de temperatura no reduzca la durabilidad del equipo.

Resumiendo todo lo que hemos hablado sobre los LED, las principales características que presentan son la que se detallan en la tabla 4.

LED	
Posición de funcionamiento	Universal
Tiempo de encendido y reencendido	Instantáneo
Tamaño	Reducido
Regulación	Sí, en función del equipo auxiliar
Potencia	Variable (-)
Eficacia (lm/W)	40 - 80
Color	Multicolor
IRC	90 - 100
Temperatura de color (K)	2.700 - 5000
Vida útil (h)	50.000 - 100.000

Tabla 4. Resumen características LED. Fuente: *Elaboración propia*

Hasta ahora hemos hablado del LED en cuanto a emisor de luz, pero es necesario que éste se encuentre como parte de un sistema de iluminación para poder aprovechar sus ventajas como fuente de luz. Comentaremos a continuación los diferentes sistemas LED que nos podemos encontrar.

El sistema de iluminación LED se basa en la combinación de un LED propiamente dicho junto con todos los componentes necesarios para su funcionamiento. Los componentes que presentan estos sistemas de iluminación son:

- Chip LED
- Drivers o fuente de alimentación
- Circuitos de conexión
- Envoltente
- Sistema de regulación/control

Como de los LED ya hemos comentado sus principales características, hablaremos ahora de los **driver o fuente de alimentación**.

Los LED, y, por tanto, los sistemas de iluminación de los que forman parte no se pueden conectar de manera directa a la red, ya que necesitan de un dispositivo que transforme la tensión que encontramos en la red a otra tensión apropiada para el funcionamiento de los LED. Este dispositivo es lo que se conoce como *driver o fuente de alimentación* (figura 30). Es un dispositivo electrónico que transforma la corriente alterna en corriente continua y adapta la tensión de salida a las necesidades propias del LED [1].

Debido a que los LED suponen una baja impedancia y la tensión de funcionamiento es baja, por la ley de ohm, la corriente que atraviesa esa impedancia es elevada, por lo que este dispositivo se encarga de limitar la intensidad que atraviesa el LED así como de mantener constante esa tensión de alimentación, disminuyendo la generación de calor, problema importante en los sistema LED [13].



Figura 30. Driver para iluminación LED. Fuente: [32]

Esta fuente suministrará una corriente constante que atraviesa el módulo LED, pero la tensión de salida dependerá del número de LED conectados a la salida de dicha fuente. Debido a que la corriente que atraviesa los LED es la misma para todos, la intensidad luminosa de cada uno de ellos será la misma [1]

En cuanto a las posibilidades de **conexión** de los diferentes LED nos podemos encontrar agrupaciones en serie formando “ramas” y posteriormente la conexión en paralelo de diferentes “ramas”, formando un módulo LED completo [1].

Al igual que en cualquier otro sistema de iluminación, la lámpara independientemente de su tipo, necesita una **envolvente** que permita tanto su instalación como su protección frente a agentes externos, además de incluir sistemas que mejoren su eficacia y eficiencia luminosa.

Por último, en cuanto a componentes del sistema de iluminación LED, podemos hablar de los sistemas de control que pueden presentar estas luminarias, en cuanto a los tipos que nos podemos encontrar son muy variados, sensores de presencia, elementos de mando, controladores lógicos o programables, etc., en función de la aplicación en la que se va a instalar así se utilizará uno u otro para conseguir que el sistema de iluminación realice su función obteniendo una iluminación acorde a la aplicación.

Algunos ejemplos de sistemas de iluminación basados en tecnología LED son los que se muestran en las figuras 31 y 32.



Figura 31. Ejemplo luminaria LED similar a un tubo fluorescente. Fuente: [31]



Figura 32. Ejemplo iluminación LED empotrada. Fuente: [31]

2.2.3 Comparativa teórica entre tecnologías de iluminación

A fin de poder seleccionar de manera adecuada el sistema de iluminación que más se ajuste a nuestra aplicación, es necesario ver las diferentes ventajas e inconvenientes que cada uno de ellos tiene.

Compararemos diferentes tecnologías de alumbrado interior entre sí, mostrando sus características en función de diferentes aspectos, ya sean fotométricos, colorimétricos, etc.

De todos los sistemas de iluminación que podemos encontrar, realizaremos la comparativa (Tabla 5, figura 33 y 34) entre la iluminación incandescente, si bien es cierto que no se utiliza para iluminación interior en edificios públicos, por lo menos de forma habitual, se puede tener una mejor visión comparando este sistema con otros, ya que ha sido y sigue siendo frecuente encontrarlo en los domicilios, compararemos también la iluminación halógena, y por último las tecnologías de iluminación más utilizadas en nuestro emplazamiento objeto de estudio que son la iluminación por fluorescentes compactos y la iluminación LED.

CARACTERÍSTICAS		SISTEMA DE ILUMINACIÓN			
		INCANDESCENTE	HALÓGENAS	FLUORESCENCIA	LED
GENERALIDADES	Potencia	10 - 200 W	Hasta 200 W	Hasta 320 W	Hasta 160 W
	Tipo conexión	Directa	Directa	Equipo electrónico	Equipo electrónico
	Efectos sobre red	No	No	Sí (PEM)	Si (PEM)
	Encendido	Instantáneo	Instantáneo	Casi instantáneo	Instantáneo
	Equipos auxiliar	No	No	Sí	Sí
	Posición	Universal	Universal	Vertical/horizontal	Universal
	Vida útil	Hasta 1.000 h.	Hasta 2.000 h.	Hasta 7.000 h.	Hasta 100.000 h.
	Regulación	Sí (tensión)	Sí (tensión)	Algunos modelos	Sí (electrónica).
	Espectro	Continuo	Continuo	Discontinuo	Discontinuo
	Flujo luminoso	Hasta 2.200 lm	Hasta 6.000 lm	Hasta 7.600 W	Hasta 7.600
FOTOMÉTRICAS	Eficacia	~ 10 lm/W	10 - 30 (lm/W)	40 - 100 (lm/W)	40 - 80 (lm/W)
	TC	2865 K	2.700 - 4.500 K	2.7000 - 4.000 K	2.700 K - 5.300 K
COLORIMÉTRICAS	IRC	~ 100	70 - 100	80 - 85	> 90

Tabla 5. Comparativa sistemas de iluminación. Fuente: elaboración propia

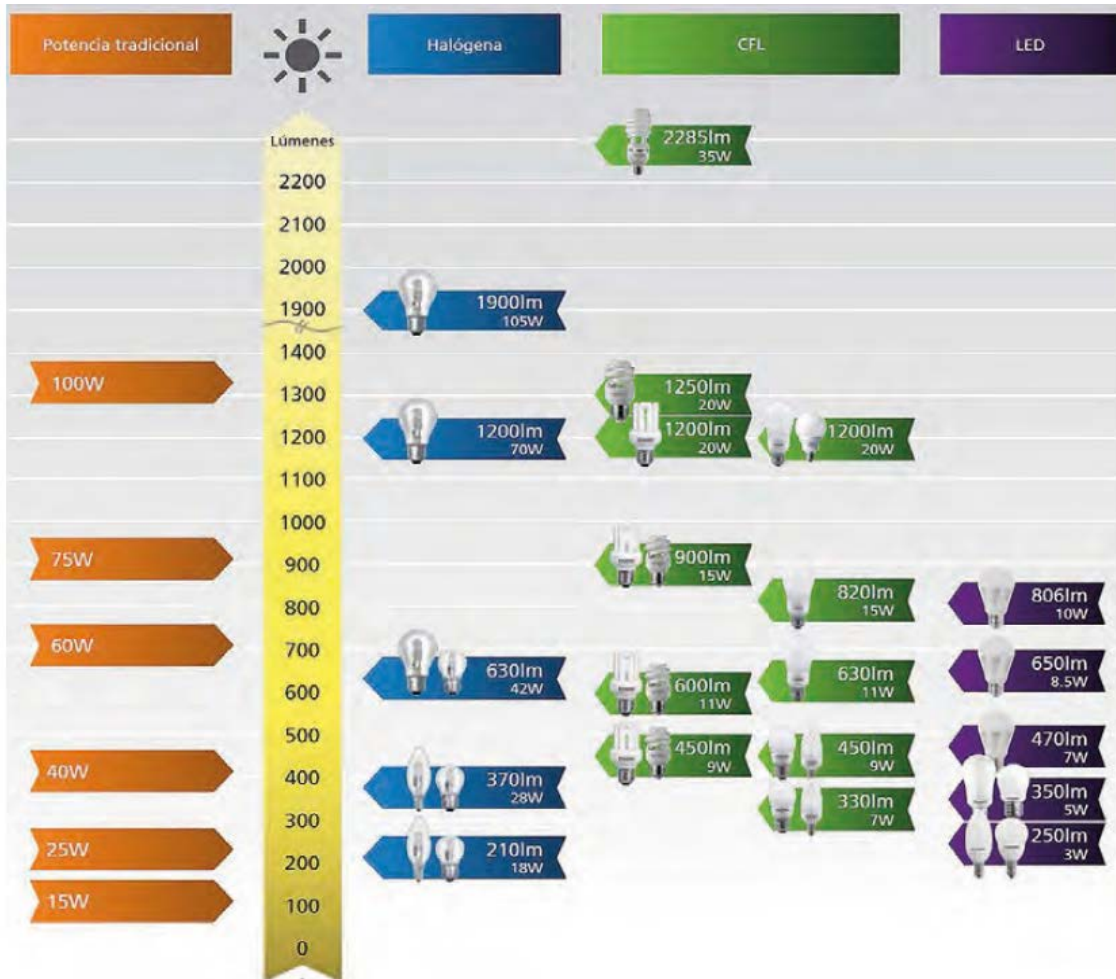


Figura 33. Comparativa sistemas de iluminación (1). Fuente [1]

Aunque ya se encuentra recogida en la tabla 5, la comparativa entre diferentes tecnologías en cuanto a vida útil y eficiencia lumínica, podemos apreciarlo más visualmente mediante el gráfico de barras que se muestra en la figura 34.

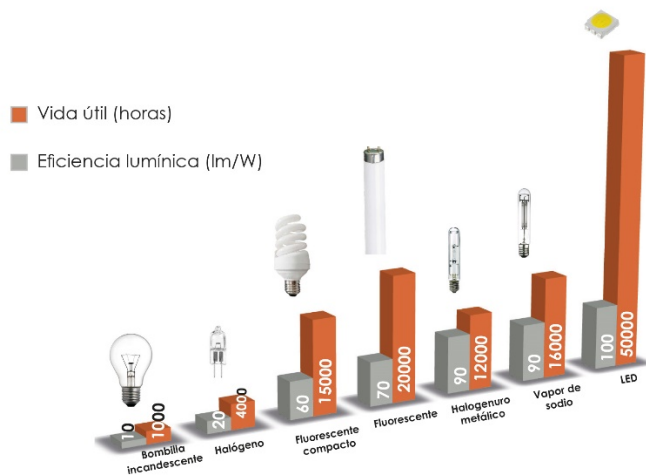


Figura 34. Comparativa entre sistemas de iluminación (2). Fuente: Silbersonne LED System

Como se puede ver tanto en la tabla 5, como en las figuras 33 y 34, parece lógico pensar que los LED tienen ventajas claras con respecto a cualquier sistema de iluminación. Algunas de estas características que se resumían en la tabla 5, se exponen de manera más detallada:

- **Mayor eficacia energética.** Los LED consumen entre un 80-90% menos energía que las lámparas incandescentes y hasta 30% menos energía que las lámparas fluorescentes compactas.
- **Mayor vida útil y vida media.** La vida útil de una lámpara LED se sitúa en torno a las 45.000 horas frente a las 2000 horas que una lámpara estándar ofrece. Si la comparamos con la iluminación fluorescente que tienen una vida útil en alrededor de 6.000 horas.
- **Son más ecológicas.** Las lámparas LED no dañan el medio ambiente, ya que no poseen tóxicos en su composición. Cumplen con las regulaciones ROHS, lo que significa que no tienen ninguno de los metales pesados como el plomo, mercurio o cadmio. Las lámparas fluorescentes contienen pequeñas cantidades de mercurio y deben ser desechadas de acuerdo con las regulaciones para sustancias peligrosas. Los LED, por el contrario, pueden ser desechados de forma segura en la basura.
- **No son una fuente de calor.** Al contrario de las lámparas tradicionales no desprenden tanta cantidad de calor lo que evita el desperdicio de energía y permite su uso en lugares pequeños y delicados donde ese calor producido puede ser perjudicial. Las luminarias LED necesitan de elementos disipadores de calor debido a los componentes electrónicos auxiliares que utilizan, pero el diodo emisor de luz emite muy poca cantidad de calor en comparación a otras tecnologías.
- **Luz unidireccional.** Las lámparas incandescentes y de fluorescencia emiten luz en todas las direcciones, mientras que los LED emiten luz de forma unidireccional, lo que se traduce en menos desperdicio de iluminación. La iluminación LED no tiene pérdidas por la reflexión, todos los demás sistemas de iluminación dependen en reflectores para lograr dispersar la luz y una porción de la luz siempre se pierde; se pierde un 60% de efectividad. El LED no precisa estos sistemas y la luz puede ser dirigida a la zona que queremos iluminar con una eficiencia del 90%.
- **Índice de reproducción cromática (IRC).** Este apartado es extremadamente importante para sitios como los hospitales, ya que a nivel sanitario es muy importante poder visualizar los tonos de color de la mejor forma posible. Aquí el LED sale perdiendo frente a las lámparas halógenas e incandescentes, ambas tienen un IRC de 100 mientras que los LED varían entre un 85-95. Pero si lo comparamos con las fluorescentes, vemos que son mejores ya que tienen un IRC alrededor del 70-80. Otra ventaja que tiene los LED frente a los fluorescentes es que no emiten radiación UV ni infrarroja, cosa que estos últimos sí hacen.

- **Encendido instantáneo y sin parpadeo.** Los LED proporcionan luz sin parpadeos (a diferencia de los tubos fluorescentes). Otra gran desventaja del sistema de fluorescencia es que se tardan en alcanzar su brillantez total. Una lámpara LED por el otro lado alcanza su brillantez total de forma inmediata.
- **Bajo mantenimiento.** La larga vida de los productos LED evitan tener que estar realizando un mantenimiento frecuente.

Parece claro que estas dos tecnologías (fluorescente compacta y LED) actualmente son las más eficientes y rentables para iluminación interior no solo de edificios públicos sino también de hogares u otras aplicaciones de interior. Sin embargo, cabe resaltar que con la comparativa que se ha realizado, no se pretende indicar que un sistema de iluminación es mejor que otro de manera genérica, ya que dependiendo de la aplicación en la que se vaya a usar, puede que unos aspectos primen sobre el resto, aspecto que habría que analizar en cada uno de los casos. Por tanto, aunque estos dos sistemas parecen los que más ventajas tienen a priori, conviene estudiar cada situación por separado y ver cuáles son prioridades a la hora de iluminar para elegir el mejor sistema posible.

2.3 Normativa aplicable

Para la realización del presente trabajo, se ha tenido en cuenta la normativa vigente relacionada con iluminación y electrificación, prestando especial atención a:

- ✓ *“Directriz sobre Instalaciones Eléctricas en Centros de Salud de Atención primaria”*. Servicio de Infraestructura y Patrimonio. Gerencia Regional de Salud, Junta de Castilla y León, 2006
- ✓ *EN 12.464-1: 2003*, Iluminación. “Iluminación de los lugares de trabajo. Parte 1: Lugares de trabajo en interiores”.
- ✓ *UNE 72-112-85*: Tareas visuales. Clasificación.
- ✓ *UNE 72-163-84*: Niveles de iluminación. Asignación de Tareas
- ✓ *Real Decreto 217/2001*, de 30 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento de Accesibilidad y Supresión de Barreras. BOCyL nº 172 de 4 de septiembre de 2001.
- ✓ *Decreto 314/2006*, de 17 de Marzo, que desarrolla el Código Técnico de la Edificación (CTE).
- ✓ *Orden FOM/1635/2013*, de 10 de septiembre, por la que se actualiza el Documento Básico DB-HE "Ahorro de Energía", del Código Técnico de la Edificación, aprobado por Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo.

Las normas citadas anteriormente son aquellas que tienen que cumplir todos los sistemas de iluminación, de todas estas normativas, cogemos aquellas que supongan criterios más restrictivos, ya que, si se cumplen las más restrictivas, cumpliremos el resto.

De manera fundamental, en todo sistema de iluminación debemos controlar tres parámetros que son:

- Nivel de iluminación
- Cociente E_{\min}/E_{med}
- Valor de eficiencia energética (VEEI)

Comentaremos de manera breve que valores deben adoptar como mínimo estos parámetros para cumplir la normativa.

Nivel de iluminación

Partiendo de la definición dada para el nivel de iluminación en la tabla 1, de apartado 2.1, debemos establecer primero el plano de trabajo sobre el cual se calculará este nivel de iluminación. Según la *Directriz sobre instalaciones Eléctricas en Centros de Salud de Atención Primaria*, se establece unos planos útiles de trabajo para las zonas de uso general de 85 cm sobre el nivel del suelo, y para las zonas de tránsito, el nivel de iluminación se medirá a nivel del suelo

Para establecer el nivel mínimo una vez definido el plano útil, destacaremos una normativa muy restrictiva en lo que a iluminación se refiere, la recogida en el RD 217/2001, que establece que “*se deberán conseguir unos niveles mínimos de 200 lux en todos los espacios de ocupación, con una iluminación uniforme y difusa, combinando luces directas e indirectas, evitando las sombras*” (RD 217/2001), si bien, en las **zonas de paso**, el nivel de iluminación mínimo estará en **150 lux y 300 lux en las áreas de espera**, que se establece en la *Directiva sobre instalaciones Eléctricas en Centros de Salud de Atención Primaria*.

Cociente E_{\min}/E_{med}

Este cociente nos aporta información sobre la uniformidad que presenta la iluminación, es decir, la presencia de sombras, contrastes elevados, iluminación excesiva, etc.

Se aplicará la *Directriz sobre instalaciones Eléctricas en Centros de Salud de Atención Primaria*, estableciendo un valor mínimo para este cociente de **0,8**

VEEI

Aparece definida en el CTE, en el documento básico de «Ahorro de Energía», DB-HE, sección HE3 «Eficiencia energética de las instalaciones de iluminación», y se calcula a través de la ecuación 1, por cada 100 lux (ec. 1):

$$VEEI = \frac{P * 100}{S * E_m} \left[\frac{W}{m^2} \right] \quad (Ec. 1)$$

siendo:

P → la potencia de las lámparas más el equipo auxiliar.

S → la superficie iluminada.

E_m → la iluminancia media horizontal mantenida.

Los valores límite de este parámetro, dependen del uso de la estancia y se recogen en la tabla 6.

Tabla 2.1 Valores límite de eficiencia energética de la instalación

Zonas de actividad diferenciada	VEEI límite
administrativo en general	3,0
andenes de estaciones de transporte	3,0
pabellones de exposición o ferias	3,0
salas de diagnóstico ⁽¹⁾	3,5
aulas y laboratorios ⁽²⁾	3,5
habitaciones de hospital ⁽³⁾	4,0
recintos interiores no descritos en este listado	4,0
zonas comunes ⁽⁴⁾	4,0
almacenes, archivos, salas técnicas y cocinas	4,0
aparcamientos	4,0
espacios deportivos ⁽⁵⁾	4,0
estaciones de transporte ⁽⁶⁾	5,0
supermercados, hipermercados y grandes almacenes	5,0
bibliotecas, museos y galerías de arte	5,0
zonas comunes en edificios no residenciales	6,0
centros comerciales (excluidas tiendas) ⁽⁷⁾	6,0
hostelería y restauración ⁽⁸⁾	8,0
religioso en general	8,0
salones de actos, auditorios y salas de usos múltiples y convenciones, salas de ocio o espectáculo, salas de reuniones y salas de conferencias ⁽⁹⁾	8,0
tiendas y pequeño comercio	8,0
habitaciones de hoteles, hostales, etc.	10,0
locales con nivel de iluminación superior a 600lux	2,5

⁽¹⁾ Incluye la instalación de *iluminación general* de salas como salas de examen general, salas de emergencia, salas de escaner y radiología, salas de examen ocular y auditivo y salas de tratamiento. Sin embargo quedan excluidos locales como las salas de operación, quirófanos, unidades de cuidados intensivos, dentista, salas de descontaminación, salas de autopsias y mortuorios y otras salas que por su actividad puedan considerarse como salas especiales.

⁽²⁾ Incluye la instalación de iluminación del aula y las pizarras de las aulas de enseñanza, aulas de práctica de ordenador, música, laboratorios de lenguaje, aulas de dibujo técnico, aulas de prácticas y laboratorios, manualidades, talleres de enseñanza y aulas de arte, aulas de preparación y talleres, aulas comunes de estudio y aulas de reunión, aulas clases nocturnas y educación de adultos, salas de lectura, guarderías, salas de juegos de guarderías y sala de manualidades.

⁽³⁾ Incluye la instalación de iluminación interior de la habitación y baño, formada por *iluminación general*, iluminación de lectura e iluminación para exámenes simples.

⁽⁴⁾ Espacios utilizados por cualquier persona o usuario, como recibidor, vestíbulos, pasillos, escaleras, espacios de tránsito de personas, aseos públicos, etc.

⁽⁵⁾ Incluye las instalaciones de iluminación del terreno de juego y graderíos de espacios deportivos, tanto para actividades de entrenamiento y competición, pero no se incluye las instalaciones de iluminación necesarias para las retransmisiones televisadas. Los graderíos serán asimilables a zonas comunes del grupo 1

⁽⁶⁾ Espacios destinados al tránsito de viajeros como recibidor de terminales, salas de llegadas y salidas de pasajeros, salas de recogida de equipajes, áreas de conexión, de ascensores, áreas de mostradores de taquillas, facturación e información, áreas de espera, salas de consigna, etc.

⁽⁷⁾ Incluye la instalación de *iluminación general* e *iluminación de acento* de recibidor, recepción, pasillos, escaleras, vestuarios y aseos de los centros comerciales.

⁽⁸⁾ Incluye los espacios destinados a las actividades propias del servicio al público como recibidor, recepción, restaurante, bar, comedor, auto-servicio o buffet, pasillos, escaleras, vestuarios, servicios, aseos, etc.

⁽⁹⁾ Incluye la instalación de *iluminación general* e *iluminación de acento*. En el caso de cines, teatros, salas de conciertos, etc. se excluye la iluminación con fines de espectáculo, incluyendo la representación y el escenario.

Tabla 6. Valores de VEEI. Fuente [16]

Capítulo 3

METODOLOGÍA DE TRABAJO Y HERRAMIENTAS UTILIZADAS

Para poder analizar la instalación y su posterior cambio, debemos ayudarnos de toda la información que se pueda recopilar del sistema actual y compararla después con un modelo creado a partir de la información tanto del edificio como del sistema de iluminación, para poder analizar de manera exhaustiva su cambio. En este capítulo se explicarán los datos recopilados que nos harán falta posteriormente y las herramientas que utilizaremos para basarnos en el análisis de los resultados.

3.1 Toma de datos. Metodología

Como ya se ha comentado, en las diferentes visitas realizadas, se han recopilado datos acerca no solo de la distribución interior del edificio, si no también datos fundamentales a la hora de poder analizar la instalación. Con ayuda del personal de mantenimiento del HURH, se ha conseguido medir los consumos de energía del sistema de iluminación, así como obtener mediante la utilización de un luxómetro (aparato analógico o electrónico que mide el nivel de iluminación de una zona a través de una fotocélula (figura 35)) los niveles de iluminación reales, que se utilizarán posteriormente en el modelo que se creará para la validación de datos.

Los datos de potencia para cada una de las luminarias se obtendrán mediante la utilización de una pinza amperimétrica que indicará la medida de tensión y de corriente, obteniendo la potencia como producto de ellas, y registrarán, obteniendo valores promedio de los consumos que tiene el sistema de iluminación, (datos mostrados, en la tabla 7),



Figura 35. Luxómetro analógico. Fuente: *Elaboración propia*



Figura 36. Pinza amperimétrica. Fuente: *Catálogo Fluke*

Tras analizar con el personal de mantenimiento las posibilidades de mejora de la instalación, se decidió no modificar la topología de la misma, sino sólo realizar el cambio de tecnología de las lámparas.

Los datos recogidos en las mediciones de potencia⁽¹⁾ del sistema de iluminación son los que se muestran en la tabla 7:

	Potencia teórica por luminaria (W)	Potencia real por luminaria (W)
Sistema de Fluorescencia	26	28,1
Sistema LED	18	18 ¹

Tabla 7. Medida de potencia del sistema de iluminación. Fuente: *Elaboración propia*

¹ **Nota:** La potencia real coincide con la teórica, debido a que los sistemas de iluminación LED y en potencias tan pequeñas, las pérdidas son ínfimas y no es posible su medición correcta con los sistemas utilizados

3.2 Modelado y análisis por ordenador. Dialux Evo

Como ya se ha indicado anteriormente, para poder analizar la idoneidad de una mejora/sustitución del sistema de iluminación, vamos a utilizar una herramienta informática que nos ayude a la hora de realizar los cálculos lumínicos de cada una de las estancias que estudiamos, a fin de obtener datos no solo de consumo sino también de calidad de iluminación que posteriormente serán objeto de análisis.

La herramienta que se va a utilizar es el software informático “**DIALUX EVO**” versión 6, desarrollado por el Instituto Alemán de Luminotecnia. Este software, permite la recreación y simulación de escenarios tanto de interior como exterior, con una gran cantidad de variantes para el ajuste lo máximo posible a la situación real mediante la incorporación de librerías propias de elementos de ambiente, texturas, etc., además de poder cargar archivos para la recreación de elementos y situaciones.

La elección de este programa está fundamentada en la posibilidad de la introducción de escenas complejas, el amplio catálogo de luminarias online que posee, y en la posibilidad de cálculo de cualquier parámetro lumínico que nos interese, sirviendo por tanto de herramienta fundamental en la elección del sistema de iluminación más adecuado desde el punto de vista energético, como de cumplimiento normativo y económico.

3.2.1 Modelo en Dialux

Una vez descrito el porqué de la utilización del programa, se va a comentar de manera breve y resumida como se ha realizado el modelo del emplazamiento objeto de estudio.

Comenzaremos estudiando el edificio mediante la realización de visitas para conocer la instalación, situación geográfica (*Latitud: 41.63°*, *Longitud: 4.713° W*) y orientación (*22,5° con respecto al norte*), distribución de los espacios, etc. y basándonos en los planos facilitados por el personal del propio HURH, podemos tener una plantilla que cargar al programa para empezar a trabajar. Una vez cargada la plantilla, realizaremos el contorno del edificio y la distribución en planta de los diferentes espacios que nos encontramos, consultas, pasillos, W.C, etc.

Una vez realizada la distribución en planta, colocaremos aquellos elementos constructivos que se encuentran como columnas, aberturas en el edificio y entre los diferentes espacios (ventanas y puertas), y la situación de las diferentes luminarias que componen el sistema de iluminación.

Posteriormente, introduciremos el sistema de iluminación, para ello, a través nuevamente de los planos eléctricos del edificio, colocaremos las diferentes luminarias teniendo en cuenta su modo de montaje, que en este caso es empotrado, pero a diferentes alturas, según la zona donde se coloque. Se seleccionarán dos tipos de luminarias, por un lado, las que inicialmente están situadas, comentadas en el apartado 1.3, y por otro lado, las que se pretende poner en su lugar, luminarias con tecnología Led, de 18W del fabricante LLEDÓ, que las seleccionaremos del catálogo de luminarias del software.

Con esto, tendríamos la primera parte del trabajo de creación del escenario conseguido, solo faltaría el ajuste del mismo para una correcta correlación de los datos arrojados por la simulación y la situación real, aspecto que se tratará en el apartado 3.2.2 del presente capítulo.

Para dar mayor veracidad al modelo, se buscará darle un tratamiento estético similar a la situación real, mediante la inclusión de elementos de ambiente como bancos, imágenes a través de las cristaleras, etc.

El resultado final del modelo, sería el que se muestra en las figuras 37 a 42.

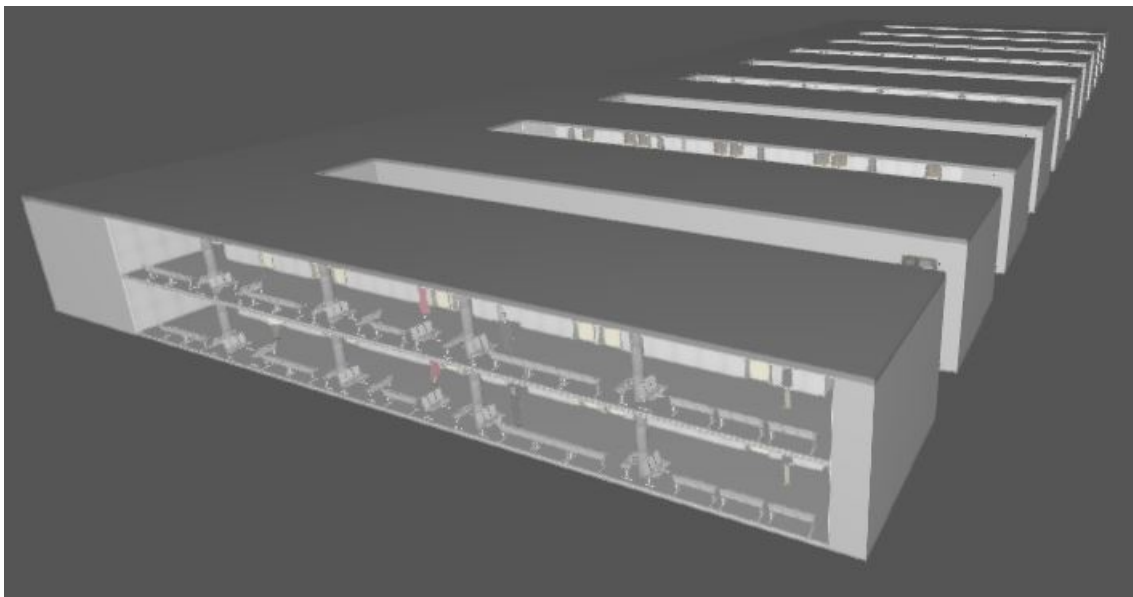


Figura 37. Modelo 3D completo, planta 2° y 3° (1). *Fuente: Elaboración propia*

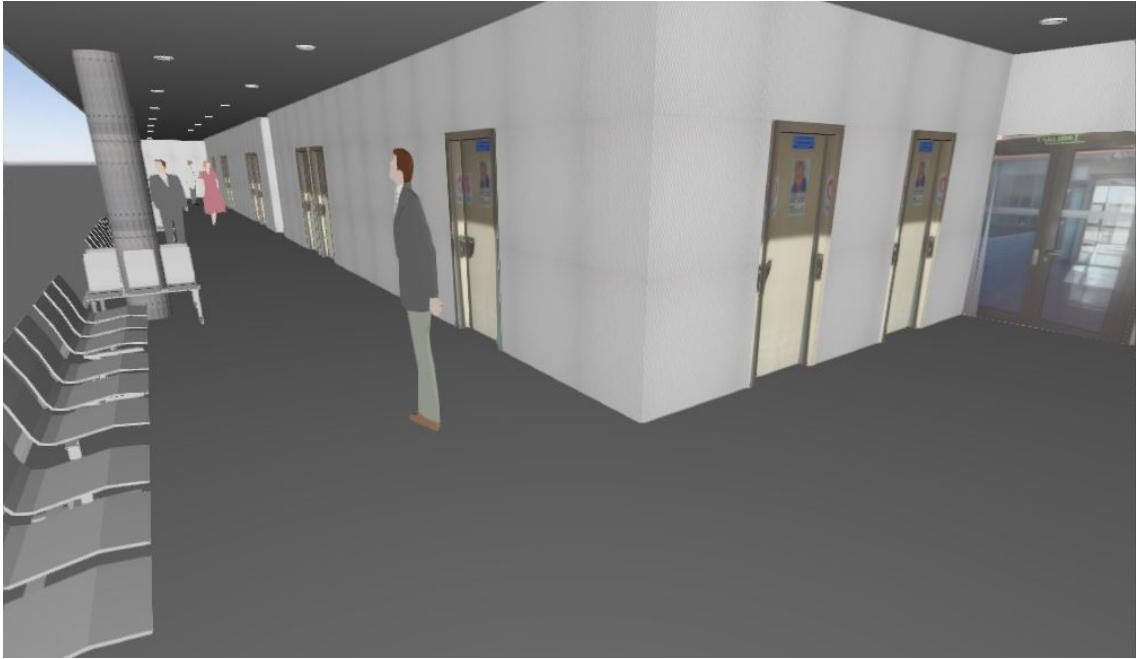


Figura 38. Modelo 3D completo, planta 2º y 3º (2). Fuente: *Elaboración propia*



Figura 39. Situación real HURH, planta 2ª y 3ª (2). Fuente: *Elaboración propia*



Figura 40. Modelo 3D completo, planta 2º y 3º (3). Fuente: *Elaboración propia*



Figura 41. Situación real HURH, planta 2ª y 3ª (3). Fuente: *Elaboración propia*



Figura 42. Modelo 3D completo, planta 2° y 3° (4). Fuente: *Elaboración propia*

3.2.2 Ajuste de los parámetros del modelo

Partiendo del modelo realizado, el siguiente paso para poder tener terminada la escena antes de poder simular, es ajustar una serie de valores para confirmar la veracidad de los resultados obtenidos en el modelo.

Para ello, se van a realizar una serie de mediciones de valores de iluminación in situ. Lo que se va a realizar es un método de prueba y error, para poder obtener los valores del F_m de la instalación, y los coeficientes de rugosidad, reflexión, transparencia, etc., de paredes, techos, suelos, cristaleras etc., debido a que es casi imposible determinar estos coeficientes de manera teórica debido a la cantidad de factores que intervienen en su cálculo. Por ello se ha decidido obtenerlos mediante un método experimental por comparación de medidas reales con simuladas

Trabajaremos primero, con las mediciones realizadas sin aporte de luz natural, es decir, se realizarán simulaciones probando con diferentes combinaciones numéricas de los factores citados para el nivel de iluminación en los puntos donde se han realizado medidas reales, de forma que coincida con los valores obtenidos mediante simulación, con un margen de error admisible de un $\pm 2,5\%$. Con esto se obtendrán todos los parámetros necesarios salvo los coeficientes de las cristaleras que los obtendremos de simulaciones posteriores. Estas nuevas simulaciones, a diferencia de las anteriores, se realizarán con aporte de luz natural, ya que como es lógico es la finalidad de la cristalera, por lo que se modificarán los parámetros de la misma (utilizando el modelo ya ajustado en cuanto al resto de parámetros) para obtenerlos.

Una vez obtenidos, se validarán de nuevo a través de simulaciones en diferentes condiciones meteorológicas, y a diferentes horas, comprobando que efectivamente los datos prácticamente coinciden. Hay que tener en cuenta que el modelo no es perfecto, y que los valores están ajustados experimentalmente,

además las condiciones meteorológicas simuladas son unas determinadas (cielo despejado, parcialmente nublado y nublado) y no tienen por qué coincidir de manera exacta con las reales.

En las siguientes tablas se muestra un resumen de los parámetros ajustados⁽²⁾ en el programa (tabla 9) y la correlación⁽³⁾ entre los datos medidos y los obtenidos mediante simulación (tabla 10)

	Reflexión (%)	Rugosidad (%)	Transparencia (%)	F _m
Suelo	30	10	-	0.85
Techo	70	10	-	
Paredes	65	20	-	
Columnas	30	15	-	
Cristalera Sur	10	-	25 ²	
Cristalera Norte	5	-	90	
Cristaleras interiores	5	-	65	

Tabla 8. Valores de los parámetros ajustados en Dialux. Fuente: *Elaboración propia*

	Punto 1 (-34,5,-97,5) ³	Punto 2 (-20,-118)	Punto 3 (-19,-44)
Valor real (lux)	485	1.025	750
Valor simulado (lux)	484,68	1.026,89	750,06

Tabla 9. Correlación de valores entre la situación real y la simulación. Fuente: *Elaboración propia*

² **Nota:** La transparencia de la cristalera Sur es tan baja como consecuencia de la presencia de estores que impiden el paso de luz a través de ella, y debido a que se puede modificar su altura, y por tanto, es imprevisible saber en qué situación está se van a obtener los datos con la situación más desfavorable, es decir, con los estores bajados por completo, de ahí ese valor de transparencia.

³ **Nota:** Las coordenadas "x,y", en metros, de los puntos considerados en la tabla 10, vienen definidos a partir del origen de coordenadas puesto en el programa Dialux Evo, el cual corresponde a la esquina superior derecha si se mira el edificio en planta.

3.2.3 Simulación

El objetivo principal de la simulación es la obtención de la regulación del sistema de iluminación necesaria para que su combinación con el aporte de luz natural proporcione el máximo ahorro energético.

Para ello, debemos determinar, primero a qué hora se produce la salida del sol, y su puesta, y por otro, cuando la luz natural es suficiente para iluminar la estancia.

En cuanto a la obtención de estos datos, nos basaremos tanto en las simulaciones que comentaremos después, como en los datos meteorológicos, debido a que son un factor importante, ya que necesitamos obtener información acerca del aporte de luz natural, ya que influirá en el encendido de la luz artificial y en la formación de grupos de control.

Para la obtención de los datos meteorológicos de la zona recurriremos a la página web: <https://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>. Es una página creada por la NASA y ATMOSPHERIC SCIENCE DATA CENTER, y que permite a partir de la localización geográfica, obtener parámetros meteorológicos diversos, ya sea radiación, temperatura, humedad, etc., para ello se sirve de la recogida de datos entre Julio de 1983 y Junio de 2005.

La NASA define un día medio meteorológico como aquél día del mes en el que la declinación del sol está más próxima a la declinación media del mes en cuestión. Para el escenario elegido los días medios mensuales son los recogidos en la tabla 11:

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Día	17	16	16	15	15	11	17	16	15	15	14	11

Tabla 10. Día medio mensual. Fuente: elaboración propia

Así mismo, en dicha página encontramos también información sobre el número de horas diarias de sol para el día medio (tabla 12)

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Nº horas	9,56	10,6	11,9	13,3	14,5	15,1	14,8	13,8	12,5	11,1	9,9	9,25

Tabla 11. Promedio mensual de horas de luz. Fuente: Elaboración propia

No menos importante, es la información que aparece sobre el estado del cielo. Caracteriza cada uno de los estados de cielo que nos podemos encontrar: despejado, parcialmente nublado y nublado, los mismos que podemos escoger en el Dialux, y establece la probabilidad de que tengamos cada uno de ellos. Esta probabilidad se muestra en franjas horarias de 3 horas y se recoge en las tablas 13 a 15, que aparecen a continuación.

Frecuencia media mensual de cielo despejado, indicando la hora en GMT (%)												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
< 10%– 0h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
< 10%– 3h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
< 10%– 6h	-	-	-	28,6	27,7	30,3	44,5	50,9	-	-	-	-
< 10%– 9h	23,3	20,1	27,2	26,2	27,2	36,2	50	39,7	27,5	20,5	20,6	22,4
< 10%– 12h	20	21	31,3	35,9	34	44,7	56,6	48,2	28,6	19,6	20,1	23,9
< 10%– 15h	23,1	23,1	31,8	21	21	41,3	55,1	45,1	34,8	24	26,8	-
< 10%– 18h	-	-	-	-	-	41,4	49,1	-	-	-	-	-
< 10%– 21h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 12. Frecuencia media mensual de cielo soleado. Fuente: *Elaboración propia*

Frecuencia media mensual de cielo parcialmente nublado, indicando la hora en GMT (%)												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
10-70%– 0h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10-70%– 3h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10-70%– 6h	-	-	-	25,1	25,3	28,4	31,6	29,3	-	-	-	-
10-70%– 9h	26,6	30,3	25,5	26,8	24	24,7	24,9	30,3	21,5	30,9	26,2	29,4
10-70%– 12h	29,6	27,9	21,4	16,2	19,5	20,3	23,1	26,5	20,7	20,7	27,8	25,6
10-70%– 15h	30,6	29,1	22,7	21	20,5	21,9	23,6	26,6	28,7	28,1	23,4	-
10-70%– 18h	-	-	-	-	-	23,2	26,5	-	-	-	-	-
10-70%– 21h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 13. Frecuencia media mensual de cielo parcialmente nublado. Fuente: *Elaboración propia*

Frecuencia media mensual de cielo nublado, indicando la hora en GMT (%)												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
> 70%– 0h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
> 70%– 3h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
> 70%– 6h	-	-	-	46,2	46,9	41,2	23,7	19,7	-	-	-	-
> 70%– 9h	50	49,5	47,2	46,9	48,6	39	25	29,9	40,9	48,5	53,1	48
> 70%– 12h	50,2	50,9	47,2	47,8	46,4	35	20,2	25,2	40,6	49,5	51,9	50,4
> 70%– 15h	46,2	47,7	45,4	47,8	48,3	26,6	21,2	28,1	36,3	47,8	49,7	-
> 70%– 18h	-	-	-	-	-	35,3	24,3	-	-	-	-	-
> 70%– 21h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 14. Frecuencia media mensual de cielo nublado. Fuente: Elaboración propia

Otro aspecto importante a reflejar es la realización de grupos de control, es decir, agrupaciones de luminarias con encendido común. Se dispondrán diferentes grupos de control, por un lado, el pasillo central será un único grupo de control, y por otro lado, los pasillos secundarios tendrán dos grupos de control, uno formado por las luminarias más próximas a las cristaleras y otro por el resto.

Con esta información, simularemos en el día medio de cada uno de los meses, y obtendremos las horas de salida y puesta de sol, y la franja horaria donde la iluminación natural es suficiente. Entre medias obtendremos los valores de regulación del sistema de iluminación para que su combinación con la luz natural dé los valores mínimos, establecidos en el apartado 2.3. De los tres estados de cielo, utilizaremos solo uno, el nublado ya que presenta las peores condiciones de luz natural aportada, y obtendremos por tanto los porcentajes de la peor situación que nos encontramos, cumpliendo la normativa en todos los demás casos, sin olvidarnos, que obtendremos el ahorro mínimo que podremos conseguir, que analizaremos posteriormente.

3.3 Herramientas de la instalación

Teniendo en cuenta que lo que queremos es poder controlar la iluminación y que se adecue al nivel de iluminación exterior a modo de complemento y/o sustitutivo, necesitamos definir el sistema a través del cual vamos a poder realizar estas funciones. La solución adoptada por el HRUH se basa en un protocolo de control de iluminación que se describirá posteriormente.

3.3.1 Protocolo DALI

Como indica el significado de este acrónimo, Digital Addressable Lighting Interface, DALI es un interfaz de comunicación digital y direccionable para sistemas de iluminación (26).

Este sistema es un estándar internacional, de acuerdo a la norma IEC 62386, que asegura la compatibilidad e intercambiabilidad entre equipos de diferentes fabricantes, los cuales están marcados con el logo que se puede ver en la figura 43.



Figura 43. Logo Protocolo DALI. Fuente: [26]

Este estándar se basa en una comunicación maestro-esclavo bidireccional, en la cual tenemos un controlador (maestro) que proporciona la información hacia los diferentes equipos de iluminación que tengamos (esclavos), los cuales realizan las operaciones recibidas del controlador.

A la hora de realizar esta comunicación, se utiliza un bus de dos hilos, los cuales pueden o bien poseer polaridad (positiva y negativa respectivamente) o ser diseñados sin ella (lo más habitual) para que el modo de conexión sea indiferente. Como ventaja que presenta este sistema es que no es necesario apantallar los cables, por lo que se puede realizar el cableado junto a la línea de alimentación de los equipos, formando por tanto una manguera de 5 hilos, dos del bus DALI, fase, neutro y cable de tierra (figura 44)

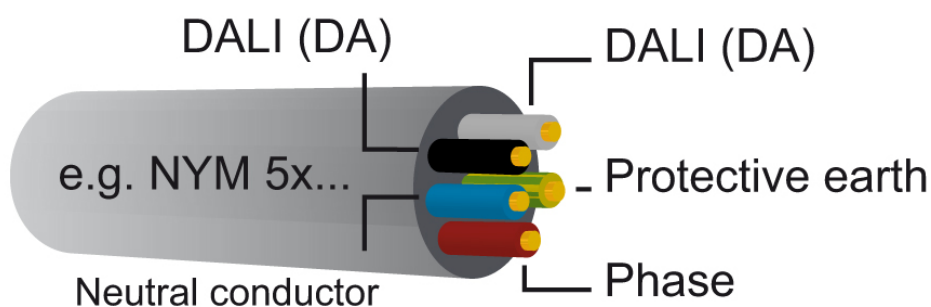


Figura 44. Sistema conjunto, bus DALI + alimentación equipo. Fuente: [26]

Si comparamos este sistema de regulación con otros como DMX, ArNET, etc., la agrupación de luminarias para poder formar diferentes grupos de control de las mismas no se realiza de manera cableada, es decir, todas las luminarias se van conectando en paralelo al bus de control, eso sí, no se puede realizar un anillo o bucle cerrado (figura 45). Una vez conectadas todas las luminarias, la asignación de las mismas a los grupos de control y su operación, se realiza a través de direccionamiento mediante la línea de control.

Por tanto, las necesidades de cableado se reducen al mínimo y la facilidad y flexibilidad de su realización es mucho mayor que en otros sistemas. También tiene como ventaja este sistema que no necesita resistencia terminadora del bus de comunicación, como sí ocurre en otros sistemas de comunicación industrial como Profibus.

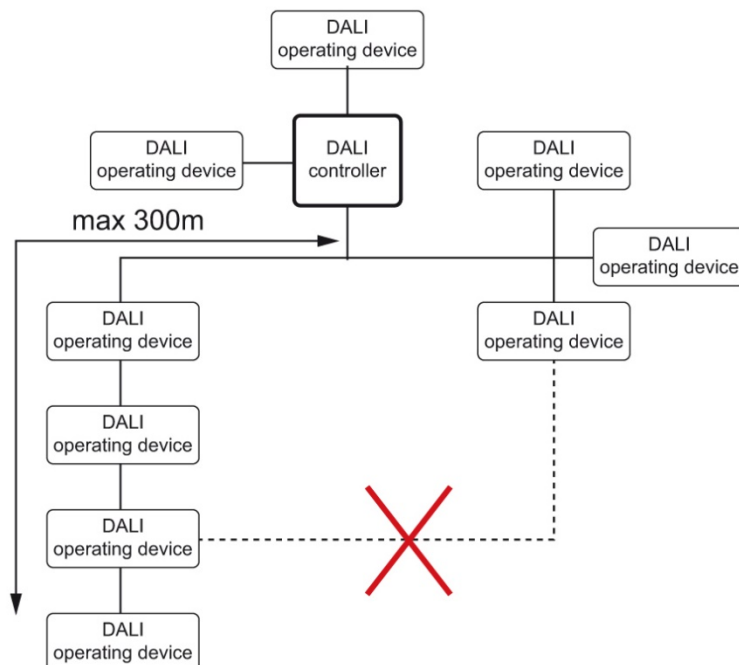


Figura 45. Modelo de conexión maestro-esclavo DALI. Fuente: [26]

Por el contrario, alguna limitación que nos podemos encontrar en la utilización de este sistema, está en la caída de tensión que podemos permitir a lo largo del bus, que es de 2V y debido a que la corriente máxima que puede atravesar el bus es de 250 mA, la distancia máxima que podemos cablear dependerá de la sección del cable (su impedancia), pero como máxima será de 300m.

En cuanto a la configuración del sistema de control, se realiza vía software y presenta las siguientes características:

- Nº escenas diferentes por bus de comunicación: 16.
- Nº máximo de direcciones por bus de comunicación: 64.
- La configuración se puede cambiar en cualquier momento sin recablear
- Curva de regulación logarítmica.
- Rango de regulación teórico: 0,1-100% (aunque depende del nivel mínimo establecido por el fabricante de la luminaria).
- Fade-time (tiempo necesario para ir de un nivel lumínico a otro): configurable por software.
- Fade rate (velocidad de cambio de la luz): configurable por software.
- Flexibilidad de aplicaciones, desde aplicaciones sencillas hasta integración mediante pasarelas en sistemas de control inteligente de edificios.

En cuanto a los componentes que presenta un sistema de control para DALI podemos citar los siguientes:

- Equipos de iluminación.
- Accionamientos o elementos de mando.
- Sensores o detectores.
- Controladores o unidades de control.
- Repetidores.
- Adaptadores, convertidores y pasarelas de comunicación.
- Herramientas de monitorización y configuración.

Por tanto, en función de la combinación de los componentes anteriormente citados, así tendremos de complejo nuestro sistema de iluminación, que evidentemente se adaptará según la complejidad de la aplicación en la que se instale, desde control de luminarias individuales hasta controlar luminarias en diferentes salas y plantas con múltiples usos creando diferentes ambientes y comunicando información de cada una de ellas (control inteligente en edificios).

3.3.2 Sistema LUTRON

El sistema DALI que se implementará en esta planta del HURH estará formado por elementos de dos fabricantes distintos. Las luminarias que se usarán proceden del fabricante LLEDO, mientras que el sistema de control de las luminarias procede del fabricante LUTRON. Los elementos de los que se compone la instalación son los siguientes:

- **Centro de Manejo de Iluminación modelo HUB (QP3-1PL-100-240):** Es el “cerebro” de la instalación de la planta y nos referiremos a él como HUB a partir de ahora. Fabricado por LUTRON, es el encargado del control y ajuste de las luminarias en función de los parámetros que recibe de los receptores. En él se encuentran recogidas las direcciones de las luminarias, horarios y escenas de cada estancia.
El HUB recibe las señales de control de los distintos dispositivos y en función de su posición, envía las señales correspondientes al controlador DALI adecuado. Estas señales son propias del sistema LUTRON (es decir, no son estándar como las señales DALI) y se envían a través del bus QS. Para este caso es necesaria su instalación porque a diferencia del controlador DALI, este posee horarios y calendario astronómico, por lo que nos permite un mejor ajuste de la iluminación del hospital.
Viene montado en una caja propia con todas las protecciones que necesita y posee 2 salidas de bus QS (figura 46). Tiene capacidad para 512 luminarias o 99 periféricos.

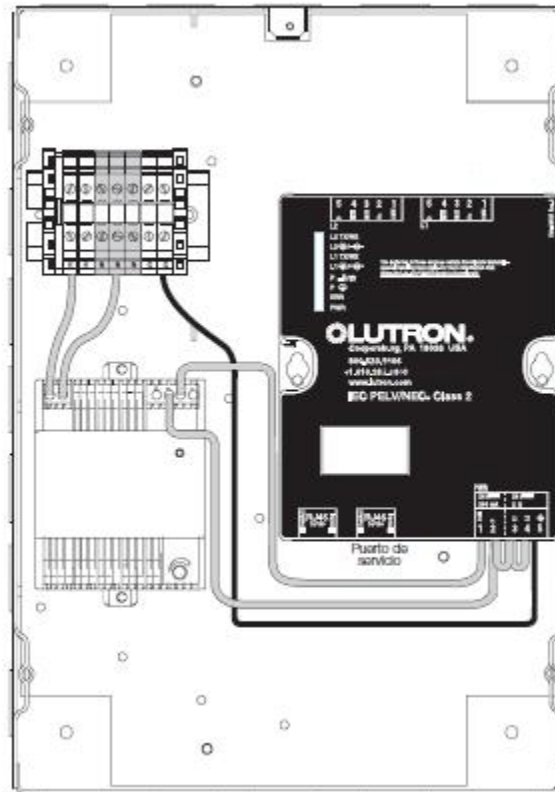


Figura 46. HUB (QP3-1PL-100-240). Fuente: [29]

- **Bus QS:** es el encargado de llevar la información entre los distintos dispositivos de control, el HUB y el controlador DALI. La información no lleva el código estándar DALI, sino que es propia del fabricante, por lo que no está estandarizado. Se compone de 4 hilos, fase y neutro y 2 hilos de control y a diferencia del bus DALI si hay que tener en cuenta la polaridad de los hilos de control, de lo contrario no funcionaría el sistema correctamente (figura 47).

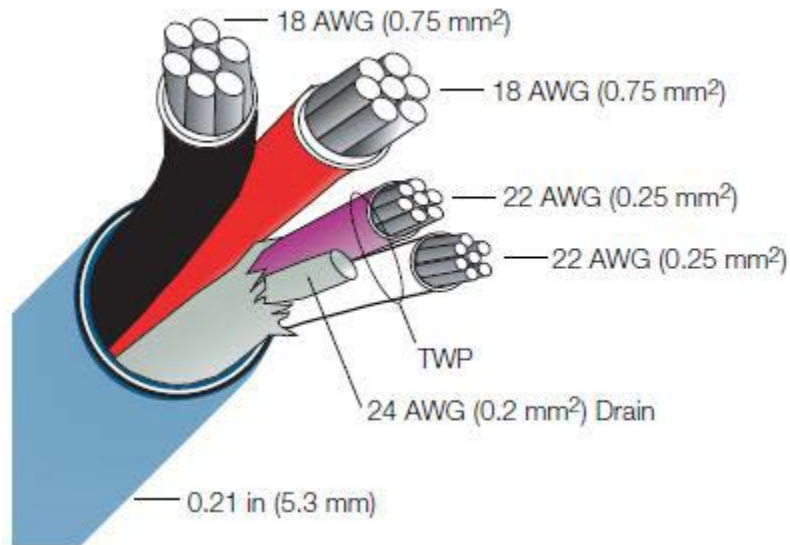


Figura 47. Bus QS propietario, marca LUTRON. Fuente:[29]

- **Fuente de alimentación:** viene integrada en el HUB, aunque existen algunas externas para satisfacer la demanda extra del sistema. Cada una tiene una capacidad para soportar 22 cargas (las antenas consumen 3 cargas y las botoneras 1 carga).
- **Bus DALI:** bus formado por 2 hilos de 1x1,5 mm, sin polaridad, para las señales de control que va desde el controlador DALI a las distintas luminarias y de formato estándar.
La razón de que el bus sea de 2 hilos en vez de 5 es que existe una instalación previa, por lo que los hilos de alimentación de las luminarias ya están presentes, solo hay que añadir los dos hilos de control restantes.
- **Controlador DALI Energi Savr Node QS (QSNE-2DAL-D):** fabricado por LUTRON, es el encargado de transmitir las órdenes directamente a las luminarias en función de la orden que recibe del HUB por medio del bus QS. Una vez recibe la señal, es transformada al formato DALI estándar, permitiendo que se puedan conectar a él luminarias DALI de cualquier fabricante (figura 48). Cada controlador tiene dos buses DALI de salida.



Figura 48. Energy Savr Node QS, marca LUTRON. Fuente [29]

Este controlador tiene una función test que permite detectar fallos en el sistema DALI, como puede ser una luminaria que tiene una mala conexión con el bus. En este modo la luminaria que falla quedará encendida a su máxima intensidad mientras que las que si estén bien conectadas irán fluctuando en intensidad mientras dure el modo test.

- **Sondas de presencia:** sensores que detectan movimientos en la sala, enviando señales de control al HUB cuando se detecta movimiento. Dependiendo de su posición en las salas y del tamaño de esta tendrán una amplitud de alcance distinto según su colocación en esquinas (90°), paredes (180°) o pasillos largos (4°). Son inalámbricas, con una batería de 10 años, y se colocarán de forma que no esté afectado su funcionamiento por el mobiliario de cada sala (figura 49).

Las señales se envían por medio de radiofrecuencias a las antenas receptoras dispositivos infrarrojos pasivos (PIR). Estos sensores detectan el calor de las personas dentro de un área para determinar cuando el espacio está ocupado. Luego, los sensores transmiten en forma inalámbrica los comandos apropiados a los dispositivos de atenuación o conmutación asociados para que enciendan o apaguen las luces automáticamente. Tienen 3 estados de funcionamiento para la sensibilidad del sensor y para la frecuencia con la que busca presencias en la sala, ya que el sensor no está activado todo el tiempo, sino que escanea cada cierto tiempo reduciendo el consumo de energía.



Figura 49. Detector de presencia, marca LUTRON. Fuente [29]

- **Sensor de iluminación:** sensor que detecta la iluminación de la sala y en función del nivel que tenga envía una señal de control. Estos sensores se instalan en superficie en el techo y se instalan orientados hacia la entrada de luz natural, de modo que midan la cantidad de radiación incidente (figura 50).

La medición de los sensores se envía al sistema a través de las antenas por medio de radio frecuencias de modo que cada una de las luminarias ajuste su nivel para garantizar el nivel de trabajo en el plano de trabajo.



Figura 50. Sonda de iluminación, marca LUTRON. Fuente [29]

- **Antenas receptoras:** Colocadas en el techo se encargan de enlazar los elementos inalámbricos con el bus QS (figura 51). Se encargan de recibir las distintas señales inalámbricas de los diferentes elementos terminales, sensores, detectores, etc... Estas señales se envían al HUB por medio del bus QS al cual van conectadas. Es capaz de manejar un máximo de 10

dispositivos inalámbricos entre sensores de presencia, iluminación y botoneras.



Figura 51. Antena inalámbrica, marca LUTRON. Fuente: [29]

- **Luminarias LED DALI:** dependiendo de la estancia en la que se vayan a instalar tendrán distintas características. Todas son del fabricante LLEDO, con una potencia, ya indicada en el apartado 2.2.2 de 18W, modelo ADVANCE 120 CRI90 y se ha intentado que las dimensiones de las mismas sean lo más similares a las que existían previamente para evitar tener que realizar cualquier tipo de obra (figura 52).



Figura 52. Luminaria LED 18W, fabricante LLEDO. Fuente: *Elaboración propia*

3.3.3 Estrategia de control

Una vez descrito el sistema de control que vamos a utilizar para controlar el alumbrado del emplazamiento, vamos a explicar cómo vamos a realizar este control.

Primero, dividiremos el edificio en tres zonas claramente diferenciadas. Por un lado, la zona 1 (verde), corresponde al pasillo central de circulación, la segunda zona (azul) corresponde a las “púas” o pasillos secundarios 0 y 9, que comparte una característica principal, y es la presencia de una enorme cristalera con orientación exterior, Norte y Sur respectivamente, y por último, la zona 3 (rojo), corresponde a los pasillos secundarios o “púas” 1 a 8, tal y como se puede ver en la figura 53.



Figura 53. Zonificación para el control de la iluminación. Fuente: Elaboración propia

La justificación de las diferentes zonas se basa tanto en los horarios de funcionamiento como en características arquitectónicas ya comentadas (cristaleras).

El control de las diferentes zonas se hará mediante el sistema LUTRON comentado, apoyado en la presencia de 3 sondas de iluminación, una de ellas situada en la “púa” 0, otra en la “púa” 9 y la última en un pasillo interior. Además, en cada uno de las “púas” tendremos detectores de presencia de alta sensibilidad.

A la hora de controlar la iluminación tendremos principalmente dos franjas horarias, una de ellas, la correspondiente al horario de consultas, de 7:30 horas a 18:00 horas (a partir de ahora por H.F.1), la iluminación estará controlada, por las sondas de iluminación si bien se combinará con los detectores de presencia, que explicaremos más adelante el funcionamiento conjunto. La otra franja horaria, correspondiente a las horas situadas entre las 18:00 horas y 7:30 horas (en adelante H.F.2), el control de la iluminación será controlado principalmente por los detectores de presencia, pero también podrán funcionar en combinación con las sondas de luminosidad.

La elección del gobierno de control del sistema en estas franjas horarias se basa en que, en la primera, correspondiente al horario de consultas, el flujo de gente es continuo, en mayor o menor medida, por lo tanto el detector estaría

continuamente detectando gente y además coincide con las horas en del día en las que más luz a lo largo del año hay, de ahí que la sonda sea la que determine de manera final si se enciende o no el sistema de iluminación. En la segunda franja horaria, las consultas ya no estarán en funcionamiento por lo que no debería haber gente, más allá del personal de seguridad, por lo que el sistema solo se activará cuando detecte presencia, estando el resto del tiempo apagado.

La filosofía del funcionamiento combinado, se basa en que la combinación de ambas señales proporcione el sistema de iluminación adecuado, explicándolo de manera detallada, que si detecta presencia, se comprobará (a través de la sonda) si el nivel de iluminación que proporciona la luz natural es suficiente y en caso de que no lo sea, que determine la regulación del encendido del sistema de iluminación.

Todo lo comentado se refiere al control de las zonas dos y tres. En cuando al control de la zona 1, será el mismo que el resto de las zonas durante la primera franja horaria (a través de la sonda de iluminación de la “púa” interior), pero durante el segundo periodo de funcionamiento, se mantendrá el sistema de iluminación encendido para asegurar el nivel de iluminación mínimo necesario, debido a que es una zona de tránsito y debe estar iluminada, para el cumplimiento de normativas de seguridad.

Capítulo 4

AHORROS Y VIABILIDAD ECONÓMICA

El objetivo fundamental del presente estudio se basa en analizar el impacto que tiene el cambio a tecnología LED y su posterior control en cuanto a consumo energético reducido y a la mejora de la calidad de la iluminación. Por tanto, vamos a cuantificar dicho ahorro, primero teniendo en cuenta solo el cambio de tecnología y posteriormente añadiremos el ahorro que obtenemos con el nuevo método de control.

Pero no hay que olvidar que no solo es importante a la hora de realizar un proyecto, el componente técnico del mismo, sino que también hay que analizar el componente económico, ya que no nos vale una solución óptima de manera técnica si luego la inversión que hay que realizar es inviable, y al contrario tampoco, vale una solución económicamente muy barata si no se satisface el componente técnico del mismo. Como consecuencia de lo comentado, se va a realizar un estudio económico para ver la viabilidad del proyecto que hemos estudiado, es decir, si resulta rentable su instalación.

4.1 Ahorro por cambio de tecnología

Parece claro que con el cambio de tecnología ya se obtiene un beneficio, no solo en la calidad de iluminación, sino también en el aspecto energético ya que los consumos del sistema LED son menores a los que se daban con el sistema de fluorescencia compacta.

En cuanto a la calidad de iluminación, en las figuras 54 y 55 se muestran los datos obtenidos con la simulación en condiciones de iluminación artificial sin aporte de luz natural. La figura 54 corresponde a una representación en colores falsos de la iluminación en un plano de trabajo a 0,85 m del suelo, con fluorescencia compacta, mientras que la figura 55 corresponde al nuevo sistema de iluminación LED.

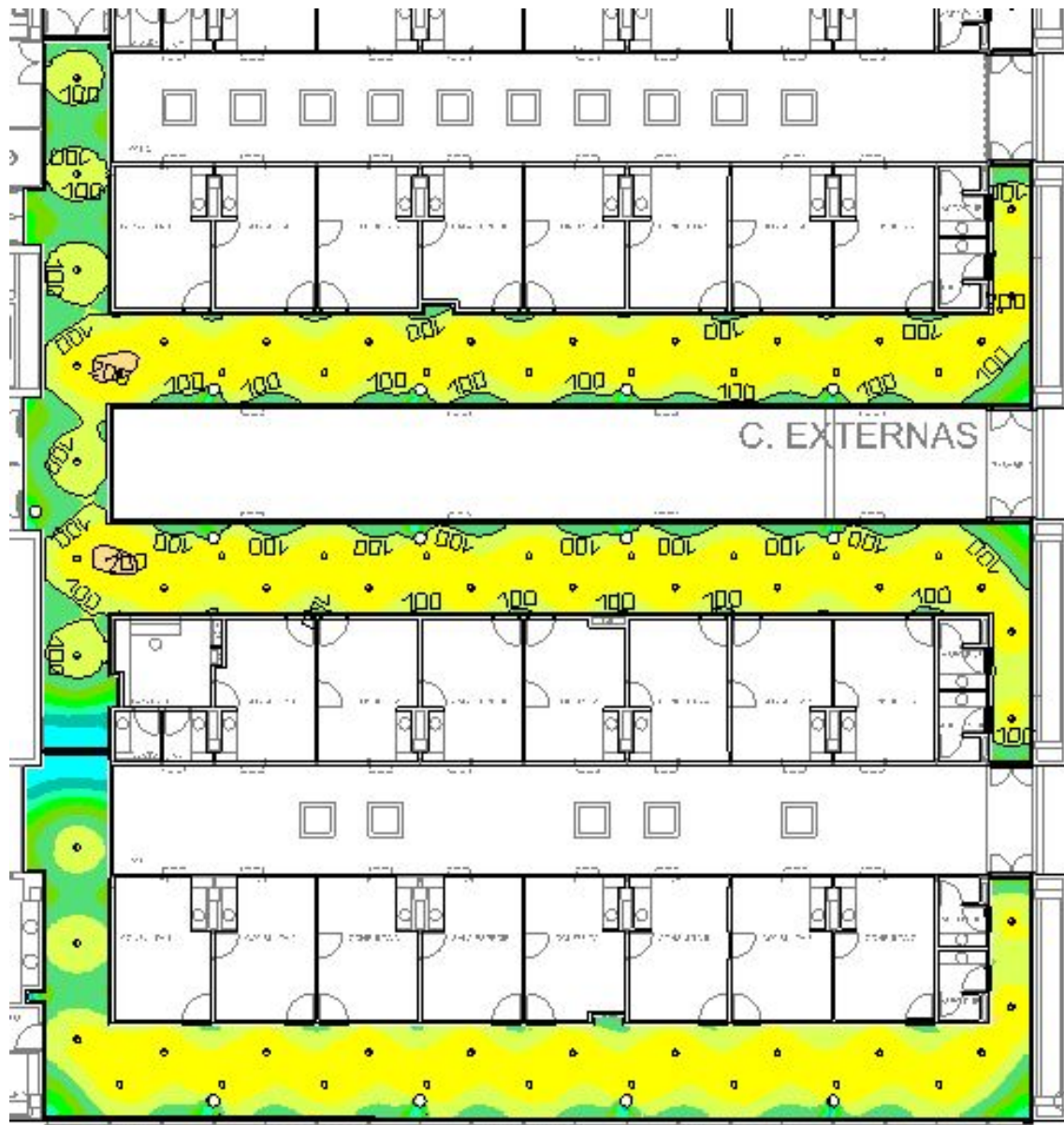


Figura 54. Representación en colores falsos del nivel de iluminación sistema fluorescencia. Fuente: Elaboración propia

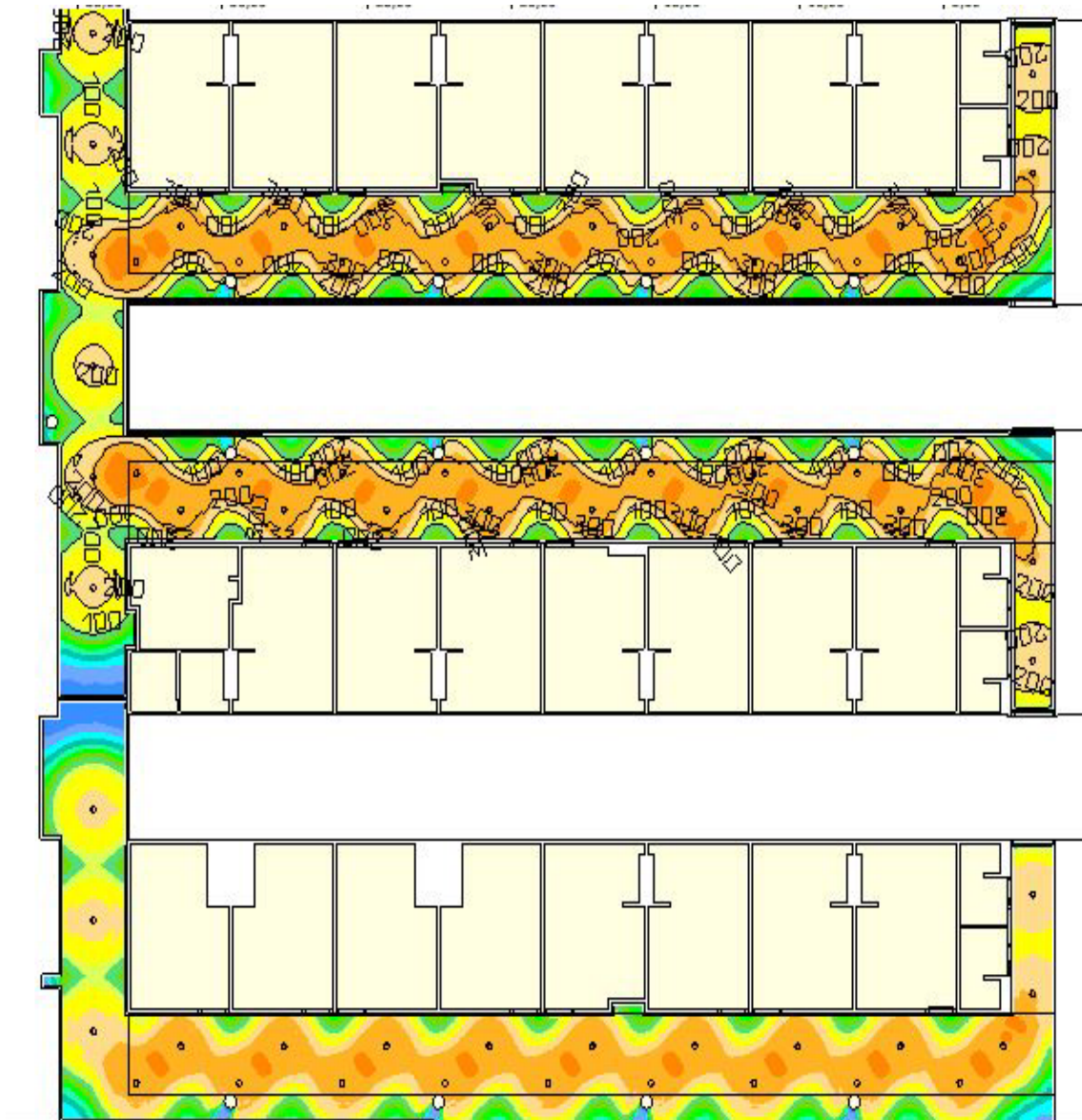


Figura 55. Representación en colores falsos del nivel de iluminación sistema LED. Fuente: *Elaboración propia*

Como se puede observar en las imágenes citadas, el nivel de iluminación y su uniformidad es mucho mejor con el nuevo sistema de iluminación LED, debido a que con el antiguo, el nivel de iluminación no llega ni al mínimo permitido, mientras que con el nuevo sí llegamos y además este sistema de iluminación LED no es necesario que esté a potencia nominal, sino que se consiguen los niveles mínimos, comentados en el apartado 2.3, con una regulación del 90%. Esto es muy importante comentarlo, ya que supone un ahorro a mayores del hecho de cambiar simplemente el sistema de iluminación con una potencia menor.

También cabe destacar que debido a que el nuevo sistema LED no trabaja a potencia nominal, su vida útil en horas se verá aumentada, ya que a medida que avanza el tiempo de funcionamiento, la calidad de la iluminación, y en concreto el nivel de iluminación, va decayendo por lo que cuando esto suceda, podemos aumentar el porcentaje de regulación para compensar esta pérdida y por tanto, seguir manteniendo los niveles mínimos exigidos durante un tiempo mayor, con los

beneficios económicos que esto supone, menos gastos de sustitución y mantenimiento.

En cuanto al ahorro esperado por el cambio de sistema, se puede comparar de manera numérica tanto en energía ahorrada, como en coste económico (suponiendo un precio de energía citado en el apartado 4.3.1). Esto se muestra en las tablas 15 - 17, en las que se expone la comparativa entre ambos sistemas de iluminación en las zonas descritas en el apartado 3.3.3, de manera unitaria es decir, por horas (tabla 15) y el resultado conjunto de horas de funcionamiento a lo largo del año, suponiendo que la zona 1, funciona las 24 horas del día debido a su necesidad de mantener un nivel mínimo, y las zonas 2 y 3, solo funcionan durante el horario de funcionamiento y suponiendo al año unos 300 días laborables, descrito en el apartado 3.3.3 (tabla 16), y el edificio de consultas completo (plantas 2ª y 3ª) se muestran en la tabla 17.

	Zona	Grupos de control	Nº de luminarias	Potencia teórica unitaria (W)	Potencia real unitaria (W)	Potencia teórica total (kW)	Potencia real total (kW)	
Sistema fluorescente compacto	1	-	35	26	28,1	0,910	0,984	0,984
	2	1	20	26	28,1	0,520	0,562	0,955
		2	14	26	28,1	0,364	0,393	
	3	1	80	26	28,1	2,080	2,248	3,822
		2	56	26	28,1	1,456	1,574	
	Total	-	205	26	28,1	5,330	5,761	
Sistema LED	1	-	35	18	18	0,630	0,567	0,567
	2	1	20	18	18	0,360	0,324	0,551
		2	14	18	18	0,252	0,227	
	3	1	80	18	18	1,440	1,296	2,203
		2	56	18	18	1,008	0,907	
	Total	-	205	18	18	3,690	3,321	

Tabla 15. Ahorro por cambio del sistema de iluminación (1). Fuente elaboración propia

	Zona	Grupos de control	Potencia real total (kW)		Energía total diaria (kW día)	Nº horas año	Energía total anual (kW año)
Sistema fluorescente compacto	1	-	0,984	0,984	22,930	8.760	8.615,46
	2	1	0,562	0,955	13,488	7.200	4.046,40
		2	0,393		9,442	7.200	2.832,48
	3	1	2,248	3,822	53,952	7.200	16.185,60
		2	1,574		37,766	7.200	11.329,92
	Total	-	5,761	138,252	138,252	-	43.009,86
Sistema LED	1	-	0,567	0,567	13,608	8.760	4.966,92
	2	1	0,324	0,551	7,776	7.200	2.332,80
		2	0,227		5,443	7.200	1.632,96
	3	1	1,296	2,203	31,104	7.200	9.331,20
		2	0,907		21,773	7.200	6.531,84
	Total	-	3,321	79,704	79,704	-	24.795,72

Tabla 16. Ahorro por cambio del sistema de iluminación (2). Fuente elaboración propia

	Planta	Potencia real total (kW)	Energía total diaria (kW día)	Ahorro energía total diaria (kW día)	Energía total anual (kW año)	Ahorro energía total anual (kW año)
Sistema fluorescente compacto	1	5,761	138,252	58,548	43.009,86	18.214,14
	2	5,761	138,252		43.009,86	
Sistema LED	1	3,143	79,704	42,35%	24.795,72	42,35 %
	2	3,143	79,704		24.795,72	

Tabla 17. Resumen ahorro energético por cambio de sistema de iluminación. Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta los resultados mostrados anteriormente, se puede concluir que ya solo el cambio de tecnología de iluminación supone un ahorro considerable, en torno al **42,35%**. Éste se incrementará posteriormente, cuando añadamos el método de control, pero parece lógico y totalmente justificado de manera técnica y en cuanto al ahorro de energía la sustitución de un sistema de iluminación por otro.

4.2 Ahorro por sistema de control

A parte del cambio en el sistema de iluminación a LED, se pretende que este sistema pueda ser controlado por el personal de mantenimiento de manera

centralizada, y para ello tenemos que realizar la estrategia de control especificada en el apartado 3.3.3.

Para su elaboración, nos basaremos en las simulaciones realizadas con el modelo descrito en DIALUX. Las realizaremos durante el periodo de funcionamiento de la instalación (7:30 – 18:00 horas), en los días medios de cada mes, establecidos en la tabla 10, y con el tipo de cielo “nublado”, ya que es el que nos da el menor ahorro, y a partir de ahí, como es muy probable que la mayoría de los días la situación sea mejor, obtendríamos un ahorro mayor al calculado aquí. Sin embargo, este ahorro que calculamos nos valdrá para dar una estimación de lo que supone el cambio y control del sistema de iluminación.

A continuación, se muestra un resumen de algunas tablas, una por estación, del día medio simulado durante las horas de funcionamiento, en la que especifica el porcentaje de regulación de las luminarias para conseguir, con su combinación con el aporte de luz natural, los niveles mínimos exigidos en cada una de las zonas (tablas 18 a 21).

ABRIL

ESTADO DE CIELO NUBLADO					
Hora	ZONA 1	ZONA 2		ZONA 3	
	-	GRC1	GRC2	GRC1	GRC2
	Regulación	Regulación	Regulación	Regulación	Regulación
7:30	90	85	75	85	75
7:45	80	70	65	70	65
8:00	70	60	55	60	55
8:15	60	50	40	50	45
8:30	50	40	30	40	35
8:45	40	30	20	30	25
9:00	30	20	10	20	15
9:15	10	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
17:30	-	-	-	-	-
17:45	-	-	-	-	-
18:00	25	-	-	-	-
Noche	90	75	75	75	75

Tabla 18. Estrategia de control, mes de Abril. Fuente: *Elaboración propia*

JUNIO

ESTADO DE CIELO NUBLADO					
Hora	ZONA 1	ZONA 2		ZONA 3	
	-	GRC1	GRC2	GRC1	GRC2
	Regulación	Regulación	Regulación	Regulación	Regulación
7:30	75	50	45	50	45
7:45	65	40	30	40	30
8:00	45	30	20	30	20
8:15	25	15	-	15	-
-	-	-	-	-	-
18:00	-	-	-	-	-
Noche	90	75	75	75	75

Tabla 19. Estrategia de control, mes de Junio. Fuente: *Elaboración propia*

OCTUBRE

ESTADO DE CIELO NUBLADO					
Hora	ZONA 1	ZONA 2		ZONA 3	
	-	GRC1	GRC2	GRC1	GRC2
	Regulación	Regulación	Regulación	Regulación	Regulación
7:30	90	90	90	90	90
7:45	90	90	90	90	90
8:00	90	90	90	90	90
8:15	90	90	90	90	90
8:30	90	85	85	85	85
8:45	85	75	70	75	70
9:00	85	65	60	65	60
9:15	75	55	50	55	50
9:30	65	45	40	45	40
9:45	55	35	30	35	30
10:00	45	25	20	25	20
10:15	30	20	10	20	10
-	-	-	-	-	-
17:00	-	-	-	-	-
17:15	25	10	-	10	-

17:30	35	20	10	20	10
17:45	45	35	25	35	25
18:00	55	-	-	-	-
Noche	90	75	75	75	75

Tabla 20. Estrategía de control, mes de Octubre. Fuente: *Elaboración propia*

DICIEMBRE

ESTADO DE CIELO NUBLADO					
Hora	ZONA 1	ZONA 2		ZONA 3	
	-	GRC1	GRC2	GRC1	GRC2
	Regulación	Regulación	Regulación	Regulación	Regulación
7:30	90	90	90	90	90
7:45	90	90	90	90	90
8:00	90	90	90	90	90
8:15	90	90	90	90	90
8:30	90	90	90	90	90
8:45	90	85	80	85	80
9:00	90	80	75	80	75
9:15	85	75	70	75	70
9:30	85	70	65	70	65
9:45	85	65	60	65	60
10:00	80	60	55	60	55
10:15	75	55	50	55	50
10:30	65	50	45	50	45
10:45	55	40	30	40	30
11:00	45	30	20	30	20
11:15	35	20	10	20	10
11:30	25	10	-	10	-
-	-	-	-	-	-
14:30	15	-	-	-	-
14:45	30	15	10	15	10
15:00	45	25	20	25	20
15:15	55	35	30	35	30
15:30	65	40	35	40	35

15:45	75	50	45	50	45
16:00	80	60	55	60	55
16:15	85	65	60	65	60
16:30	85	75	70	75	70
16:45	90	85	80	85	80
17:00	90	90	90	90	90
17:15	90	90	90	90	90
17:30	90	90	90	90	90
17:45	90	90	90	90	90
18:00	90	-	-	-	-
Noche	90	75	75	75	75

Tabla 21. Estrategia de control, mes de Diciembre. Fuente: Elaboración propia

La estrategia de control completa para todas las horas de funcionamiento (H.F.1) y para todos los meses se encuentran en el Anexo 3.

A fin de mostrar que, con los niveles de regulación del sistema de iluminación, los niveles de iluminación son como mínimo los establecidos en la normativa vigente (apartado 2.3), se muestra una representación en colores falsos de dichos niveles en una determinada zona del emplazamiento y en una hora y fecha determinada (figuras 56 a 58). Los resultados completos que proporciona el software para cada simulación se encuentran en el Anexo 2, donde se puede comprobar el resto de zonas de una determinada simulación.

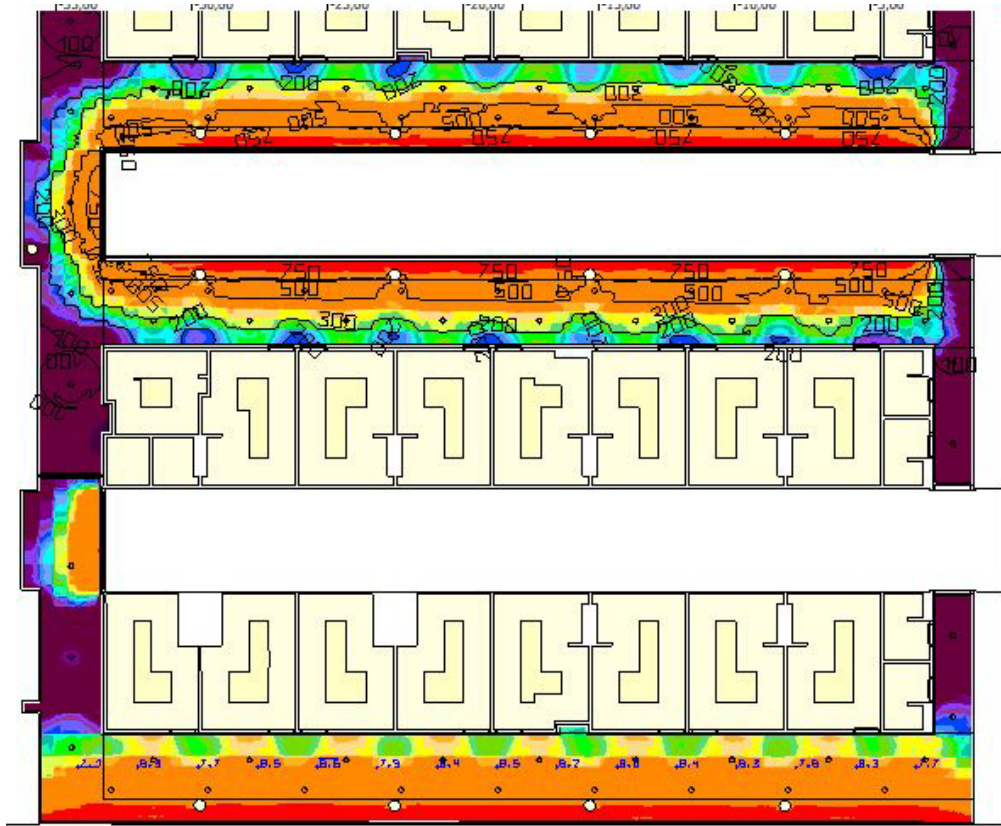


Figura 56. Representación en colores falsos, nivel iluminación, Abril 8:45h. Fuente: Elaboración propia

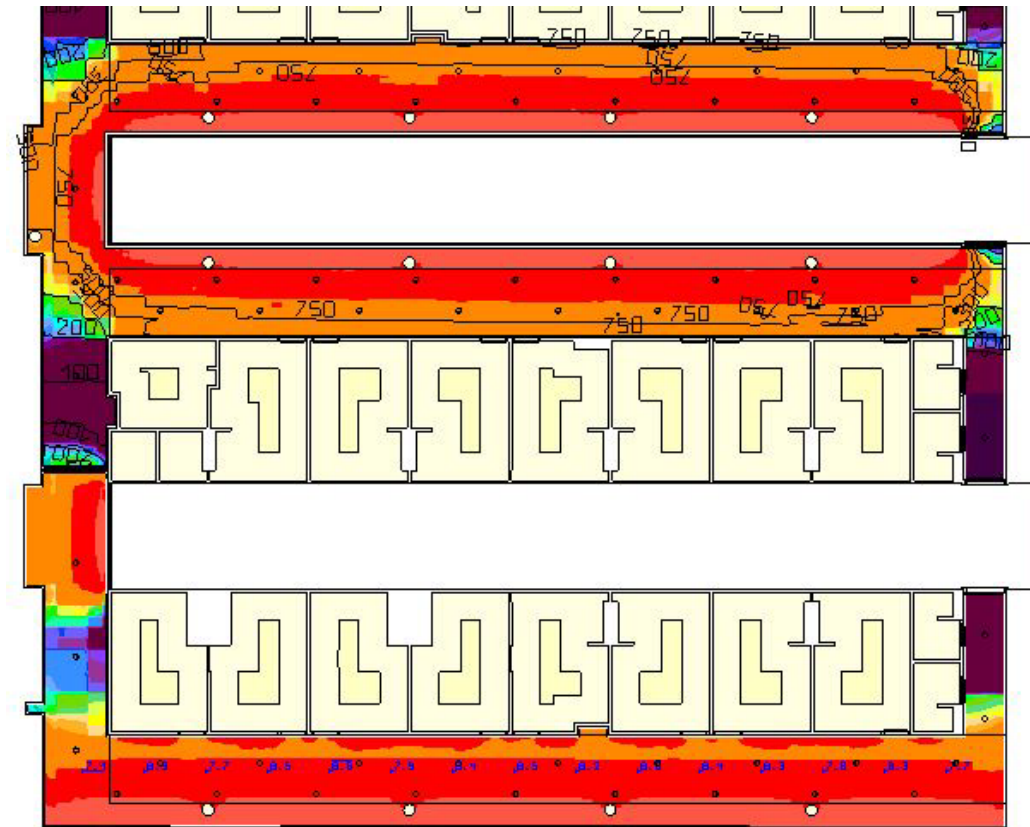


Figura 57. Representación en colores falsos, nivel iluminación, Agosto 12:00h. Fuente: Elaboración propia

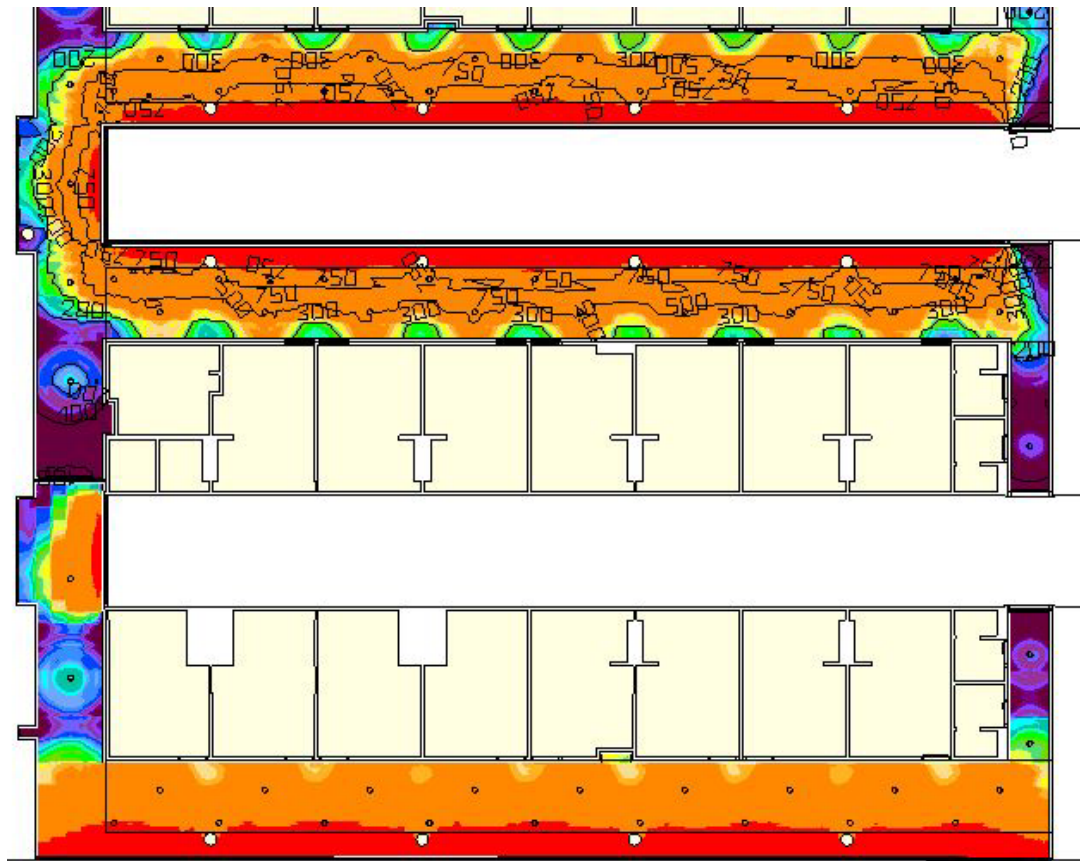


Figura 58. Representación en colores falsos, nivel iluminación, Diciembre 15:45h. Fuente: Elaboración propia

Una vez establecida la regulación que debe tener el sistema de iluminación a lo largo del periodo de funcionamiento, se puede calcular la energía que consume, diaria, mensual y anual y posteriormente se puede comparar la energía consumida por el sistema de iluminación actual, con el sistema de iluminación LED sin control y con el sistema de iluminación con cambio a tecnología LED y control. Esta comparativa se muestra a continuación en la tabla 22.

MES	Sist. Ilum. Actual		Sist. Ilum LED sin control		Sist. Ilum LED com control	
	H.F.1 (kWh/día)	H.F.2 (kWh/día)	H.F.1 (kWh/día)	H.F.2 (kWh/día)	H.F.1 (kWh/día)	H.F.2 (kWh/día)
Enero	60,485	77,767	34,871	44,834	14,777	8,045
Febrero	60,485	77,767	34,871	44,834	12,908	8,045
Marzo	60,485	77,767	34,871	44,834	6,329	6,033
Abril	60,485	77,767	34,871	44,834	3,254	4,827
Mayo	60,485	77,767	34,871	44,834	2,220	3,218
Junio	60,485	77,767	34,871	44,834	1,238	2,413
Julio	60,485	77,767	34,871	44,834	1,100	2,413
Agosto	60,485	77,767	34,871	44,834	1,921	3,218
Septiembre	60,485	77,767	34,871	44,834	5,971	4,827
Octubre	60,485	77,767	34,871	44,834	7,696	6,033
Noviembre	60,485	77,767	34,871	44,834	13,133	8,045
Diciembre	60,485	77,767	34,871	44,834	17,685	8,045
Total Energía Anual	43.009,820		24.795,720		4.075,927	
Ahorro obtenido (%)	-		42,35		90,52	

Tabla 22. Comparativa de consumo de energía en sistemas de iluminación. Fuente: Elaboración propia

También lo podemos expresar de manera más visual, a través de gráficas como las que se muestran en las figuras 59 a 64.

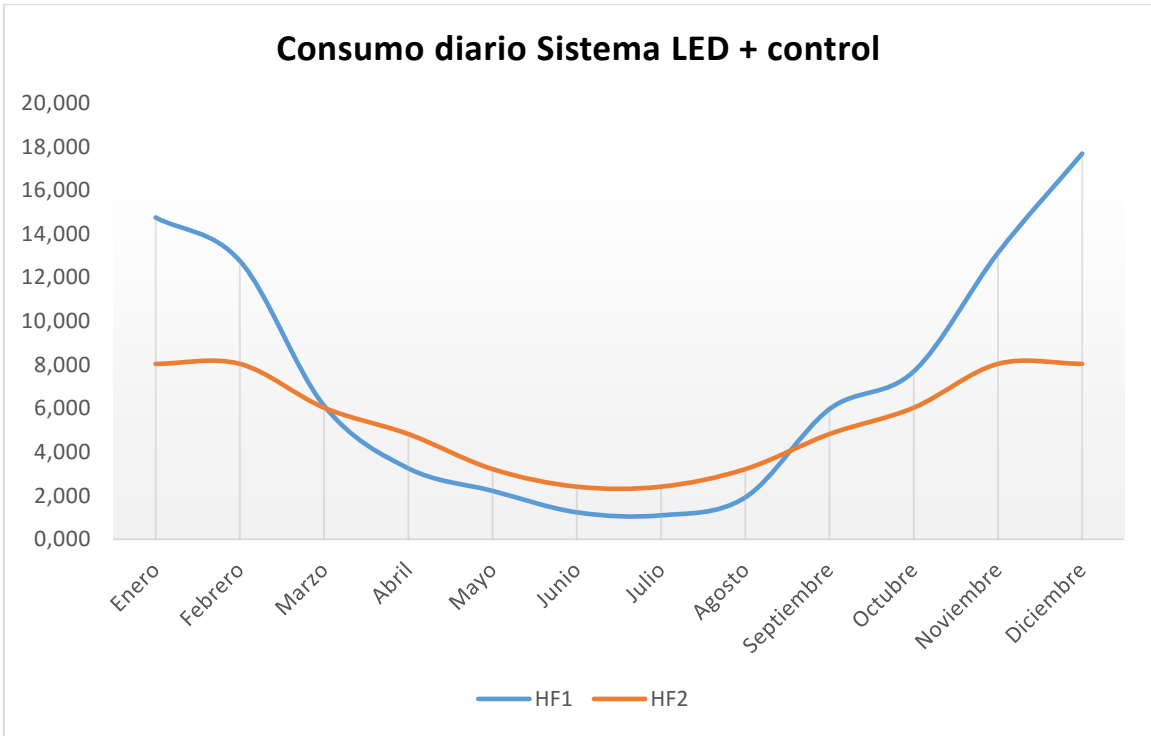


Figura 59. Consumo diario con el sistema LED + control. Fuente: *Elaboración propia*

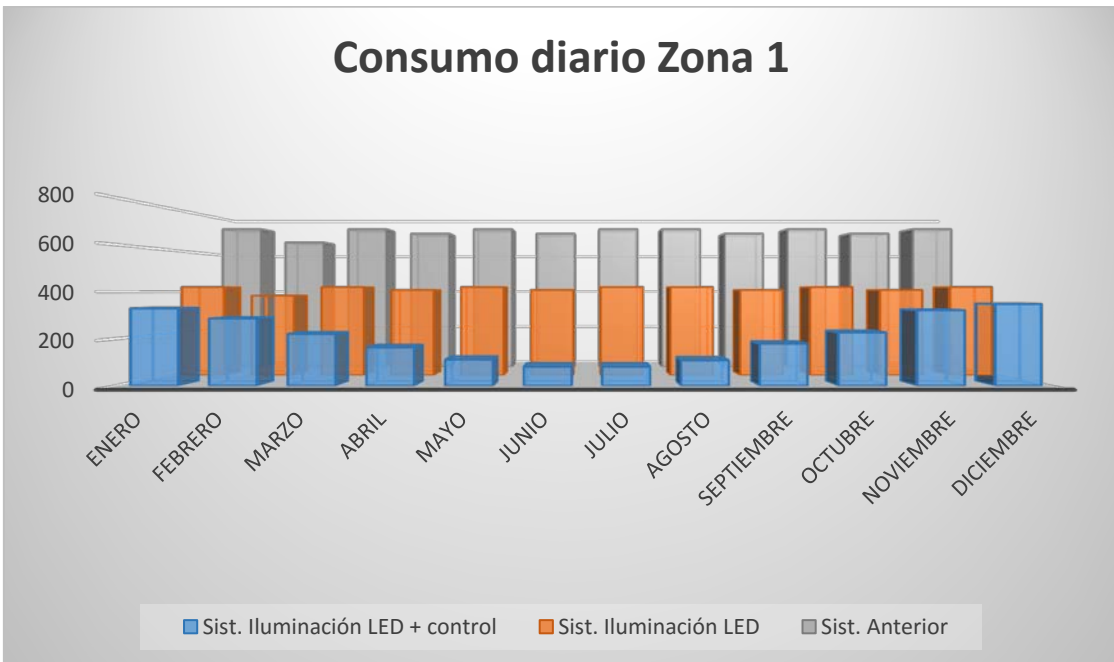


Figura 60. Comparativa consumo sistemas de iluminación, Zona 1. Fuente: *Elaboración propia*

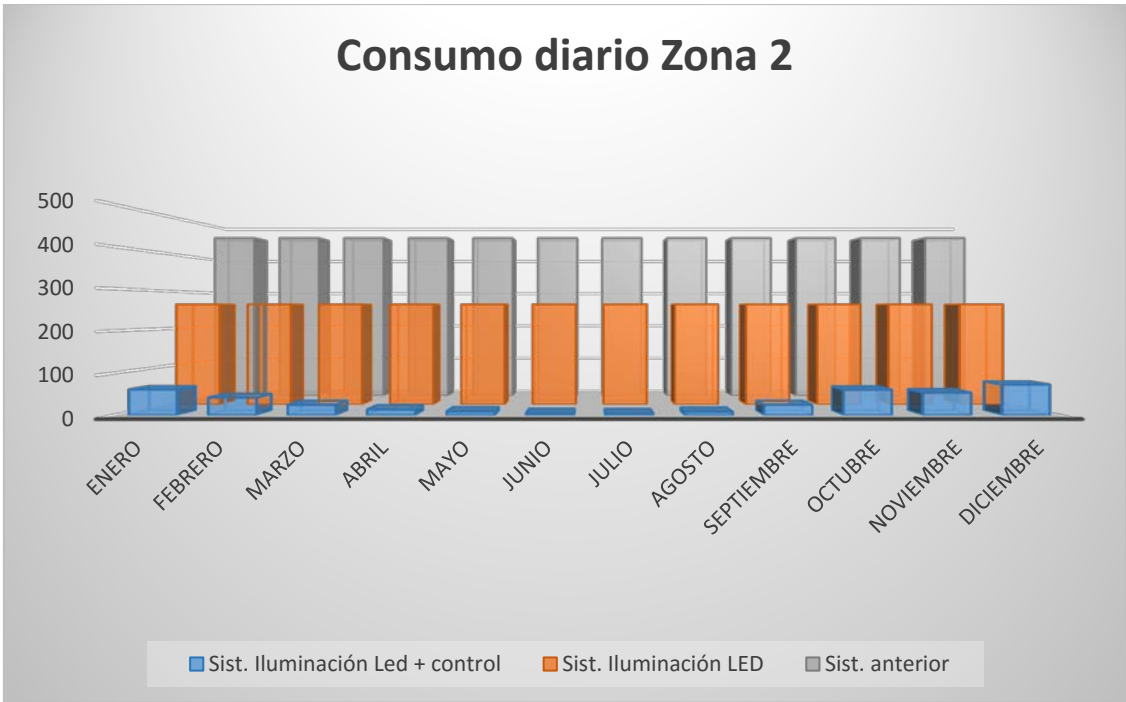


Figura 61. Comparativa consumo sistemas de iluminación, Zona 2. Fuente: *Elaboración propia*

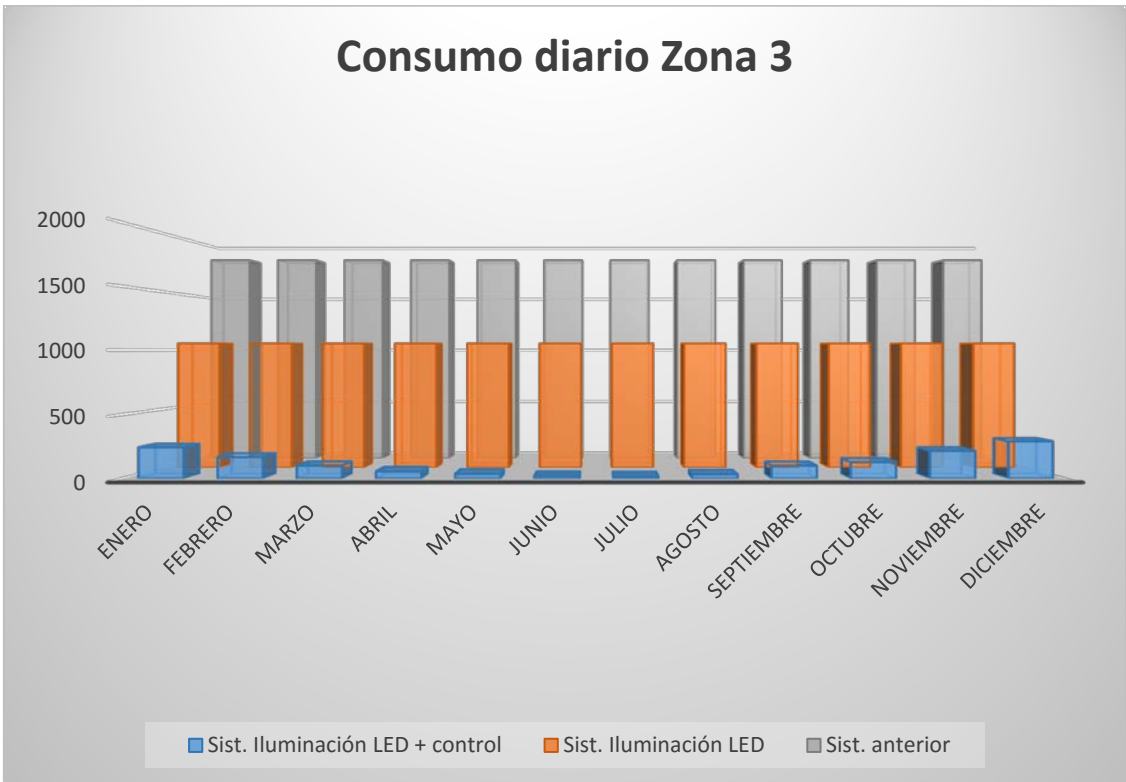


Figura 62. Comparativa consumo sistemas de iluminación, Zona 3. Fuente: *Elaboración propia*

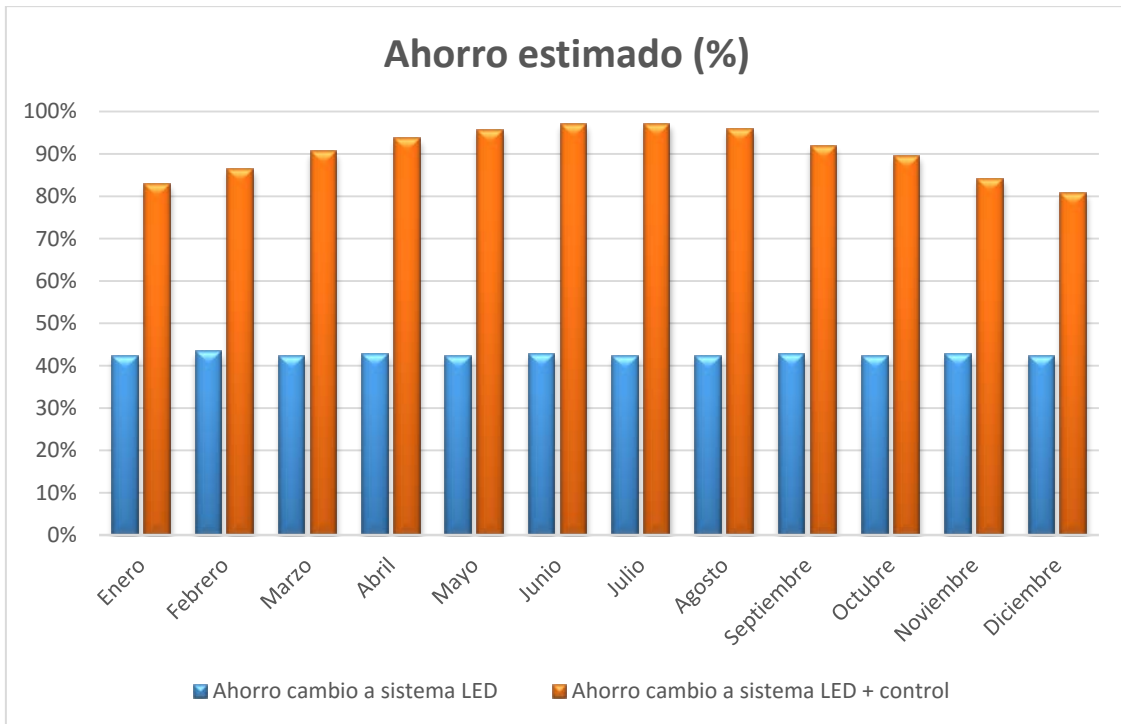


Figura 63. Ahorro estimado de energía en comparación con el sistema actual. Fuente: *Elaboración propia*

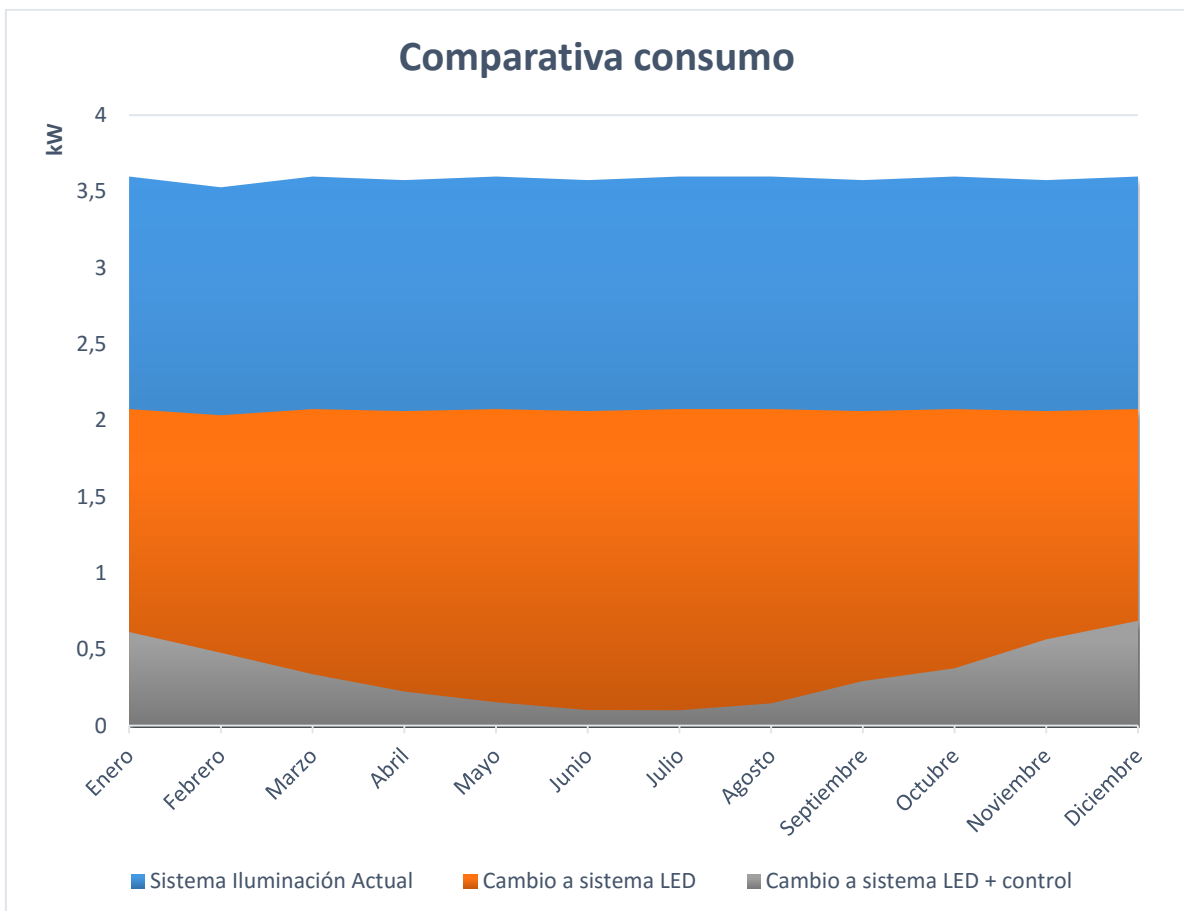


Figura 64. Comparativa de consumo diferentes sistemas de iluminación. Fuente: *Elaboración propia*

Como se puede comprobar de manera sencilla a partir de las tablas y gráficas anteriores, el ahorro energético obtenido es muy elevado con el cambio al sistema de iluminación Led y su posterior control y se fundamenta en el aprovechamiento de la luz natural, que supone una reducción de la potencia/energía que debe aportar el sistema de iluminación para iluminar las diversas estancias a lo largo del día.

Este ahorro debido a la combinación del cambio del sistema de iluminación y su control en comparación con el sistema actual de iluminación, se puede cifrar en aproximadamente un **90,52%** de energía media anual.

Este ahorro es muy elevado, y se consigue, sobre todo en los meses en los que la luz natural tiene un aporte mayor, es decir, en verano fundamentalmente, y tiene bastante importancia en primavera y principios de otoño. Como ya se ha apuntado antes, este ahorro, se calcula para la peor situación posible, es decir, con cielo nublado. El ahorro que se obtendría en una situación media, no poniéndonos en los extremos será mayor a éste, no excesivamente mayor, algunos puntos porcentuales mayor, pero se demuestra en todos los casos que el cambio de sistema de iluminación y su control, están totalmente justificados si atendemos a criterios de eficiencia y ahorro energético.

4.3 Costes de la instalación

Comenzaremos calculado todos los costes asociados a la realización y posible ejecución de la modificación del sistema de iluminación y de control, teniendo en cuenta el coste de material necesario para llevarlo a cabo. Así mismo, tendremos en cuenta también los costes de mano de obra en la realización de las tareas y los costes asociados al estudio, planificación y análisis del proyecto que, si bien no están asociados directamente a la reducción del consumo de energía y, por tanto, del ahorro económico, sin ellos no habría sido posible llegar a este punto.

Desde el punto de vista del material, intentaremos aprovechar al máximo los recursos ya disponibles, abaratando así los costes directos de material. Aprovecharemos la aparatada de protección instalada, ya que sigue siendo completamente válida. Del mismo modo se aprovecharán las luminarias existentes, eso sí, con un cambio de lámparas a la tecnología LED, aunque habrá que añadirle un equipo auxiliar para su funcionamiento, y hay que tener en cuenta toda la parte de control que hasta ahora no había.

Los costes de material⁽⁴⁾ se especifican a continuación en la tabla 23.

Material	Precio/ud.	Uds.	Total
QP3-1PL-100-240	4.926,72 €	1	4.926,72 €
Fuente alimentación	226,88 €	2	453,75 €
Bus QS	2,13 €	450	957,67 €
QSNE-2DAL-D	836,92	4	3.347,68 €
Bus DALI	0,49 €	1.200	590,64 €
Sensor de presencia	72,60 €	20	1.452,00 €
Sonda de iluminación	105,58 €	6	633,51 e
Antena receptora	121,00 €	8	968,00 €
Luminaria LED DALI	106,48 €	410	43.656,80 €
		TOTAL	56.986,77 €
		TOTAL INVERSIÓN⁴	52.060,05 €

Tabla 23. Coste de material. Fuente: *Elaboración propia*

Además de los costes de material, hay que tener en cuenta los costes ya comentados de mano de obra directa e indirecta, que aparecen en la tabla 24.

Profesional	Precio/hora	Horas	Total
Director proyecto	36,01 €	90	3.240,90 €
Ingeniero Industrial	25,45 €	150	3.817,50 €
Técnico	11,53 €	450	5.188,50 €
Administrativo	11,93 €	35	417,55 €
		TOTAL	12.664,55 €

Tabla 24. Costes directos e indirectos de la mano de obra. Fuente: *Elaboración propia*

Los costes totales serían la suma de los costes de la mano de obra y los costes del material, es decir, la suma del total de las tablas 23 y 24, pero no hay que olvidar que estas modificaciones, que se van a hacer en el sistema de iluminación, van a ser realizadas por el personal de mantenimiento del HURH, por lo que este coste de mano de obra lo podríamos tener en cuenta como un coste directo o como un coste de oportunidad.

En el caso de considerarlo como coste de oportunidad lo cuantificaremos a partir del tiempo necesario para la ejecución de las acciones que se tienen que realizar, por el coste horario del personal que las realiza. Esto se tendrá en cuenta

⁴ Nota: La inversión a realizar es menor, ya que el HUB (QP3-1PL-100-240), ya está presente en el HURH, por lo que no es necesario su adquisición.

en las acciones de mantenimiento (sustitución de luminarias) que se lleven a cabo posteriormente.

Partiendo de lo comentado hasta ahora, la inversión a realizar para la modificación del sistema de iluminación y del sistema de control será de:

Inversión inicial total = 64.724,50 €

4.3.1 VAN

El Valor Actual Neto de una inversión o proyecto de inversión es una medida de la rentabilidad absoluta neta que proporciona el proyecto, esto es, mide en el momento inicial del mismo, el incremento de valor que proporciona a los propietarios en términos absolutos, una vez descontada la inversión inicial que se ha debido efectuar para llevarlo a cabo.

Analíticamente lo podemos expresar como la diferencia entre la inversión inicial (no se actualiza ya que se realiza en el momento inicial) y el valor actualizado de los cobros y pagos futuros. Se puede expresar como (Ec. 2):

$$VAN = -I_0 + \sum_{i=0}^n \frac{Q_i}{(1+k)^i} \quad (Ec. 2)$$

siendo:

- I_0 → la inversión inicial.
- n → número de periodos considerados.
- k → tasa de actualización.
- Q_i → flujos de caja en el periodo i .

La inversión inicial es la especificada en el apartado 4.3 del presente trabajo.

La tasa de actualización o coste de capital (k), se actualizará conforme al IPC (Índice de precios de consumo). Como este valor es variable a lo largo del tiempo, por lo que se tomará la media de los últimos 15 años en Valladolid, con lo que para electricidad tendrá un valor aproximado de 6,14 %.

El número de periodos considerados será de 20 años, debido a que no se conoce la vida útil del edificio, pero será muy superior a este valor.

Los flujos de caja los podemos obtener a partir de los ingresos, gastos, impuestos, etc. En este caso, estos flujos de caja están formados por dos términos (Ec. 3): uno el ahorro económico anual estimado, partiendo de un precio de energía de 0,14 €/kWh, del uso de la regulación en el sistema de iluminación, llamado Q_i' , menos un gasto de mantenimiento que conlleva el funcionamiento de las luminarias,

que supondrá el cambio de las lámparas led por otras nuevas cada 50.000 horas de funcionamiento, suponiendo que no haya que cambiarlas antes por fin de su vida útil, lo que llamamos Q_i'' . Debido a que el tiempo de vida del LED es muy superior al que tendrían las lámparas fluorescentes 5.000-6.000 horas, tendremos un ahorro añadido no solo en términos de cambio de luminaria sino también en coste de oportunidad en el cambio de las mismas, que llamaremos Q_i''' , que supondrá que, a la hora de reducir el flujo de caja, sólo se tenga en cuenta el gasto provocado por la adquisición de nuevas luminarias y no su sustitución.

Por tanto, teniendo en cuenta la vida útil de las lámparas LED, de 50.000 horas y las horas al año que estarán encendidas (tabla 25), podemos aproximar cuándo habría que hacer una sustitución de las mismas. No se tiene en cuenta lo comentado anteriormente, de que al usarse a un porcentaje de regulación menor al 100%, cuando se vaya depreciando la lámpara se aumentará dicho porcentaje, aumentando su vida útil.

	Horas Funcionamiento al año		Tiempo sustitución
	GRC1	GRC2	
Zona 1	7.500		7 años
Zona 2	4.000	3.500	14/15 años
Zona 3	4.000	3.500	14/15 años

Tabla 25. Horas de funcionamiento y sustitución de luminarias. Fuente: *Elaboración propia*

$$Q_i = Q_i' - Q_i'' + Q_i''' \quad (\text{Ec. 3})$$

En la tabla 26 se desarrolla el VAN a lo largo del periodo antes mencionado, viendo los flujos de caja en cada uno de los años. Además, se pueden observar los gastos de mantenimiento, teniendo en cuenta el coste de oportunidad antes mencionado, que suponen la sustitución de las luminarias cuando acaba su vida útil.

Año	Q _i	Q _i ^{''}	Q _i	Q _i /(1+k) ⁱ	VAN
1	-	-	- 64.724,50 €	- 64.724,50€	-64.724,50 €
2	10.901,50 €	-	10.901,50 €	10.270,87 €	-54.453,63 €
3	10.901,50 €	-	10.901,50 €	9.676,72 €	-44.776,91 €
4	10.901,50 €	-	10.901,50 €	9.116,94 €	-35.659,97 €
5	10.901,50 €	-	10.901,50 €	8.589,54 €	-27.070,43 €
6	10.901,50 €	-	10.901,50 €	8.092,65 €	-18.977,78 €
7	10.901,50 €	7.453,60 €	3.447,90€	2.411,46 €	-16.566,32 €
8	10.901,50 €	-	10.901,50 €	7.183,44 €	-9.382,87 €
9	10.901,50 €	-	10.901,50 €	6.767,90 €	-2.614,98 €
10	10.901,50 €	-	10.901,50 €	6.376,39 €	3.761,41 €
11	10.901,50 €	-	10.901,50 €	6.007,52 €	9.768,93 €
12	10.901,50 €	-	10.901,50 €	5.660,00 €	15.428,93 €
13	10.901,50 €	-	10.901,50 €	5.332,58 €	20.761,51 €
14	10.901,50 €	28.749,60 €	-17.848,10 €	- 8.225,53 €	12.535,98 €
15	10.901,50 €	14.907,20 €	- 4.005,70 €	- 1.739,29 €	10.796,69 €
16	10.901,50 €	-	10.901,50 €	4.459,64 €	15.256,34 €
17	10.901,50 €	-	10.901,50 €	4.459,66 €	19.498,00 €
18	10.901,50 €	-	10.901,50 €	3.958,60 €	23.416,60 €
19	10.901,50 €	-	10.901,50 €	3.729,60 €	27.146,20 €
20	10.901,50 €	-	10.901,50 €	3.513,85 €	30.660,06 €

Tabla 26. Desglose anual del VAN. Fuente: Elaboración propia

La inversión realizada a 20 años con una tasa de actualización constante a lo largo del tiempo que tendrá el valor citado anteriormente, da como resultado un VAN positivo, por lo que el proyecto que se ha estudiado es económicamente realizable.

$$\text{VAN}_{20}(k=6,14\%) = 30.660,06 \text{ €} > 0$$

Por tanto, la regulación continua de la iluminación y el aprovechamiento de la luz natural, puede suponer un ahorro por planta de alrededor de **5.450,75 €/anuales** considerando que los costes de la electricidad y la sustitución de elementos ya sean lámparas, cableado, etc. son constates e iguales.

En la figura 65 se puede observar el VAN obtenido.

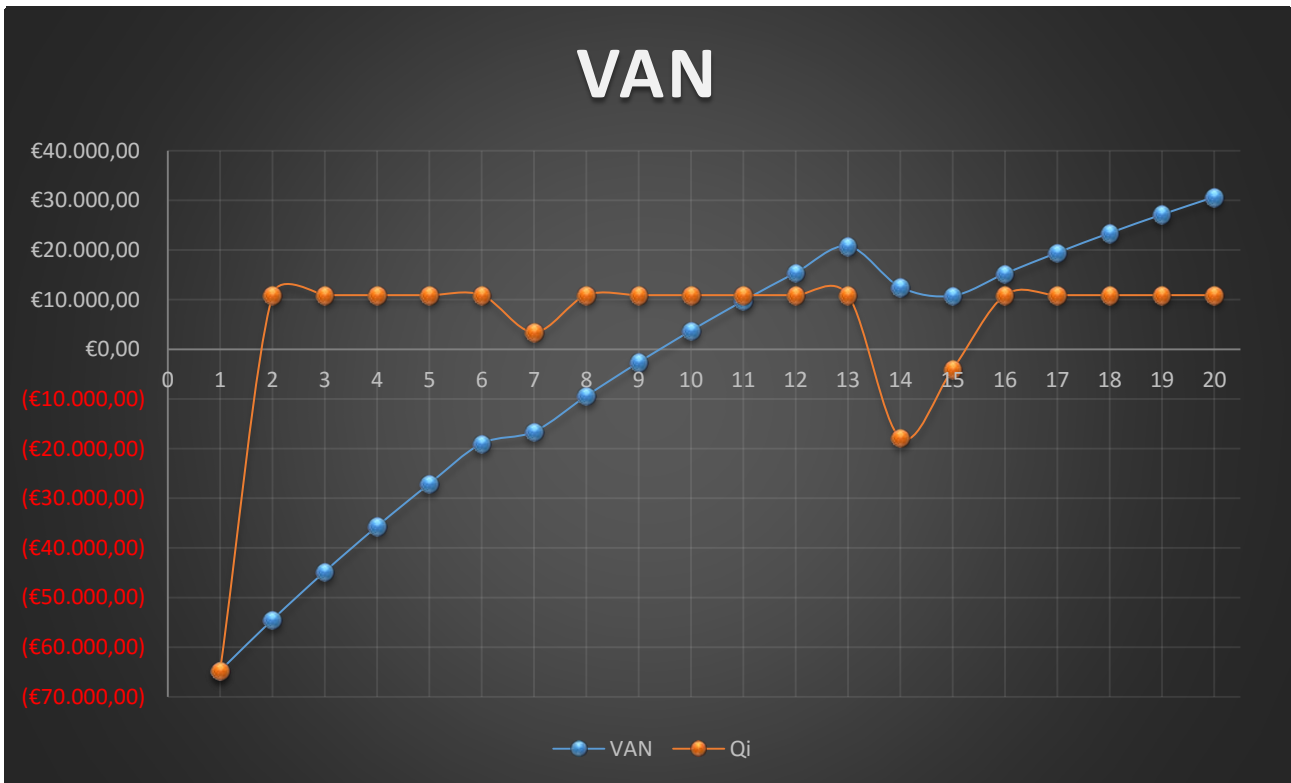


Figura 65. VAN a 20 años. Fuente: *Elaboración propia*

4.3.2 TIR

Se denomina tasa interna de rentabilidad (TIR) al tipo de interés, r , que hace que el VAN sea igual a cero.

Expresado matemáticamente se tiene que:

$$TIR = r \quad \text{tal que} \quad VAN(k = r) = 0$$

La TIR puede utilizarse como indicador de la rentabilidad de un proyecto: a mayor TIR, mayor rentabilidad, así, se utiliza como uno de los criterios para decidir sobre la aceptación o rechazo de un proyecto de inversión.

Para ello, se compara con el coste de oportunidad asociado a invertir ese mismo capital en otro lugar en vez de la realización del mismo.

Teniendo en cuenta la condición anterior, podemos calcular la TIR a partir de la ecuación 2, por la que obteníamos el valor del VAN, pero en vez de calcularlo, hallaremos la tasa de actualización (Ec.4).

$$0 = -I_0 + \sum_{i=0}^n \frac{Q_i}{(1+k)^i} \quad (\text{Ec.4})$$

siendo:

- I_0 → la inversión inicial.
- n → número de periodos considerados.
- k → tasa de actualización.
- Q_i → flujos de caja en el periodo i .

Realizando el cálculo de la TIR mediante el proceso de prueba y error, se obtiene que el valor de k por el que el VAN es nulo es de 6,64%.

Tenemos que la TIR ($r=6,64\%$), tiene un valor superior a la tasa de actualización que habíamos utilizado cuando calculábamos el VAN ($k=6,14\%$), por lo que el proyecto es realizable y rentable.

$$\begin{aligned} \text{VAN}_{20}(k=6,64\%) &= 0 \\ \text{TIR} = r &= 6,64\% \end{aligned}$$

4.3.3 PB*

El Pay-Back descontado (PB*) o plazo de recuperación descontado, es un criterio de valoración de inversiones que permite calcular el tiempo que se tarda en recuperar la inversión inicial y comienza a obtener beneficios. Este método tiene en cuenta la cronología de los distintos flujos de caja y los actualiza teniendo en cuenta el valor temporal del dinero.

Lo podemos calcular como (Ec. 5):

$$I_0 = \sum_{i=0}^{PB^*} \frac{Q_i}{(1+k)^i} \quad (\text{Ec. 5})$$

siendo:

- I_0 → la inversión inicial.
- PB^* → plazo de recuperación descontado, de la inversión.
- k → tasa de actualización.
- Q_i → flujos de caja en el periodo i .

O bien de la tabla 26 de manera analítica, o bien de la figura 65 de manera gráfica, se puede obtener el plazo de recuperación descontado. Se amortiza en 9,42 años, es decir, 9 años y 5 meses aproximadamente, lo que quiere decir que a partir del año 9 y 6 meses se obtienen beneficios únicamente.

$$PB^* = 9,42 \text{ años} \approx 9 \text{ años y 6 meses}$$

Capítulo 5

CONCLUSIONES

De la realización y el análisis del proyecto, se han podido extraer una serie de conclusiones que se exponen a continuación, así como unas indicaciones sobre posibles mejoras del sistema, a la hora de que el sistema esté completamente optimizado.

Partiendo, de que el objetivo fundamental de este proyecto es el cambio del sistema de iluminación, su control y, por tanto, el aprovechamiento de la luz natural, es obvio llegar a la conclusión de que es muy favorable su realización.

Se ha demostrado y cuantificado, que solo el cambio de sistema de iluminación a una tecnología más actual y más eficiente como es, la tecnología LED, reporta claras ventajas en cuanto a ahorro energético, debido a sus características intrínsecas. Si además este cambio de sistema lo combinamos con un control continuo del mismo podemos llegar a obtener una reducción del consumo anual muy elevada, en torno al 90,5%.

Es obvio suponer que el ahorro se obtiene, por una parte, en que se necesita utilizar con el nuevo sistema, luminarias de menor potencia, que además permiten regulación de las mismas, obteniendo un ahorro energético en torno a 42,3% y, por otro lado, la utilización de la luz natural como complemento, y muchas veces como sustituto de la iluminación artificial, que supone un menor tiempo en el que las luminarias se encuentran encendidas, con el cual podemos llegar al ahorro comentado del 90,5 %. Todo esto teniendo en cuenta que los resultados obtenidos son para la situación meteorológica más desfavorable posible a nivel de simulación y es muy probable que la mayoría de los días, la meteorología sea mejor, aumentando la influencia de la luz natural y en consecuencia aumentando el ahorro energético del sistema en cuanto a iluminación de este emplazamiento se refiere.

En cuanto al control que se propone, se basa en aprovechar una tecnología creciente, que se basa en la centralización de procesos en un controlador principal, soportando un SCADA, que permite monitorizar en tiempo real y controlar las

diferentes variables del sistema. Éste se realizará a través de la combinación de un sistema propietario y un protocolo de comunicación abierto. Se buscará un control continuo a través de sondas de iluminación y detectores de presencia, que enviarán señales al sistema central, el cual las procesará y en función de las características programadas en el mismo, horarios, preferencias de señales, etc. y a través de un bus de comunicaciones y una pasarela, comunicarán con los diferentes grupos de control de luminarias indicándoles la regulación en todo momento.

Si nos atenemos a lo estrictamente económico se refiere, se puede observar que la inversión a realizar para la sustitución del sistema de iluminación y su control, es rentable, y con un periodo de amortización razonable para el periodo de vida útil de la instalación, ya que debido al uso que tiene el complejo, la vida útil del mismo es muy superior al periodo de amortización. También se ha tenido en cuenta los costes asociados al mantenimiento de las luminarias, por lo que el estudio refleja con bastante precisión la rentabilidad económica que podríamos obtener, si bien es cierto que se ha considerado un precio de energía fijo, que no tiene por qué coincidir con la realidad, pero nos aporta una idea de los resultados económicos que podemos llegar a obtener.

Se ha comprobado, que la utilización de un software de iluminación supone un método imprescindible a la hora de obtener una combinación óptima entre el aprovechamiento de la iluminación exterior y su combinación con un sistema de iluminación interior, ya que la variación del nivel de iluminación que tiene una estancia, la cual recibe aporte de luz natural implica que no sería posible su realización si no es a través de un software como el utilizado en este proyecto. Además, permite la simulación de diferentes sistemas de iluminación teniendo en cuenta las características específicas que los diferentes fabricantes facilitan sobre sus sistemas y simular diferentes condiciones con dichos sistemas, agrupación de luminarias, regulación de las mismas, etc.

La realización de este estudio de eficiencia energética en iluminación, unido a estudios posteriores de consumos, y otros estudios realizados en diferentes áreas, como climatización, calefacción etc., sirven de base para la elaboración de la parte de ingeniería que justifica el compromiso adquirido en el programa LIFE+ y la RSC.

Líneas futuras de actuación

Debido a que se pretende que todo el sistema de iluminación sea controlado por el mismo sistema, se puede optimizar la utilización de los equipos que comunican con las luminarias, a fin de aprovechar al máximo todas sus conexiones, es decir, se puede pensar en aprovechar los equipos ya presentes, en la zona de urgencias, si existen comunicaciones libres para aprovecharlas en las plantas superiores, y ver si así se puede reducir el número de equipos a instalar, o aprovecharlos en otras zonas, que posteriormente serán controladas por este sistema.

Podría ser conveniente la creación y elaboración de una base de datos acerca del consumo, regulación, horas de funcionamiento, etc., tanto de las luminarias como del comportamiento del sistema de control, a fin de poder optimizar las estrategias de control y, en consecuencia, disminuir el consumo energético y adaptarlas lo máximo posible al funcionamiento del emplazamiento y a las condiciones meteorológicas cambiantes. Para ello, utilizaremos las herramientas de las que disponemos, es decir, el sistema de control, que monitoriza todo el sistema y podemos obtener de ahí las variables que nos interesan. Siguiendo con este tema de la monitorización, otra opción que podría ser de utilidad sería, la creación de una base de alarmas, en las que, en ese histórico, se recoja, la causa del fallo, la luminaria que ha sido, etc., para obtener información y poder, en la medida de lo posible, realizar un mantenimiento preventivo del sistema, ya que monitorizándolo y analizando las causas de fallo, se podrían estudiar patrones de fallo y poder llegar a actuar antes de que sucedan.

Por último, un futuro estudio del funcionamiento del sistema propuesto, podría suponer un aprovechamiento de sus datos, mediante una interpretación e interpolación de los mismos, y su aplicación en otras zonas del complejo, que cumplan características similares, ya sea en cuanto a uso y horario, presencia de cristaleras con gran aporte de luz natural, etc., a fin de poder llegar a una situación en la que la totalidad del sistema de iluminación del HURH puede estar controlado de manera centralizada y optimizada, para reducir el consumo energético en iluminación al mínimo posible.

BIBLIOGRAFÍA

- **Bibliografía Básica**

[1] ANFALUM, Consejería de Economía y hacienda, Comunidad de Madrid, Fundación de energía, Comunidad de Madrid. *Guía sobre tecnología LED en el alumbrado*. 2015.

[2] Colomer Rodríguez, R. *Estudio y diseño del sistema de iluminación de un centro de uso general*. Madrid: Universidad Carlos III; 2011.

[3] Comité Español de Iluminación (CEI), Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). *Aplicaciones eficientes de lámparas*. 1996.

[4] Fernández Salazar L. C., De Landa Amezua J. *Técnicas y aplicaciones de la iluminación*. Madrid: MacGraw-Hill; 1992.

[5] Indalux, *Luminotecnia, control y aplicación de la luz*, 2002

[6] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), Comité Español de Iluminación (CEI). *Guía Técnica de Eficiencia Energética en Iluminación. Hospitales y Centros de Atención Primaria*. 2001.

[7] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), Consejería de Economía y hacienda, Comunidad de Madrid. *Guía de ahorro y eficiencia energética en hospitales*. 2010.

[8] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). *Plan de ahorro y eficiencia energética 2011-2020*. 2011.

[9] Gómez García, C. *Análisis y mejora de la eficiencia energética del sistema de iluminación de pasillos de circulación de un centro sanitario*. Valladolid: Universidad de Valladolid; 2014.

[10] López Cristià, M. *Hospitales eficientes: una revisión del consumo energético óptimo*. Salamanca: Universidad de Salamanca; 2011.

[11] Marrufo E, Castillo J. *Luminotecnia. Dispositivos para alumbrado incandescente y fluorescente*. Instalaciones eléctricas interiores. 1º ed.: McGraw-Hill; 2010. p. 175-208.

[12] Morato Arribas, S. *Mejora de la eficiencia energética e implementación de un control adaptativo del sistema de iluminación de pasillos de consultas del HURH*. Valladolid: Universidad de Valladolid; 2015.

[13] Raitelli, M. "Diseño de la iluminación de interiores", en Patricia Camporeale y Gautam Dutt (ed.), *Manual de iluminación eficiente*, Buenos Aires: Editorial Universitaria de la U.T.N. 2006

[14] Ramírez Vázquez, J. con la colaboración de Buigás Sans, C. y Munilla Morales, I. *Luminotecnia*, Barcelona: CEAC. 1999

[15] Villamarín, A., Ferrero, A., Pons, A., Campos, J., Rabal, A., Hernánz, H.L., Velázquez, J.L., Corróns, A. *Distribución angular de la intensidad radiante espectral de LEDs blancos de alta luminosidad*. 2012(Opt. Pura Apl. 45).

- **Normativa**

[16] *Decreto 314/2006*, de 17 de Marzo, que desarrolla el Código Técnico de la Edificación (CTE).

[17] *Directriz sobre Instalaciones Eléctricas en Centros de Salud de Atención primaria*. Servicio de Infraestructura y Patrimonio. Gerencia Regional de Salud, Junta de Castilla y León, 2006

[18] *EN 12.464-1: 2003*, Iluminación. "Iluminación de los lugares de trabajo. Parte 1: Lugares de trabajo en interiores".

[19] *Orden FOM/1635/2013*, de 10 de septiembre, por la que se actualiza el Documento Básico DB-HE "Ahorro de Energía", del Código Técnico de la Edificación, aprobado por Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo.

[20] *Real Decreto 217/2001*, de 30 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento de Accesibilidad y Supresión de Barreras. BOCyL nº 172 de 4 de septiembre de 2001.

[21] *Real Decreto 842/2002*, de 2 de Agosto, por el que se aprueba el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT).

[22] *Real Decreto 1027/2007*, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE).

[23] *UNE 72-112-85*: Tareas visuales. Clasificación.

[24] *UNE 72-163-84*: Niveles de iluminación. Asignación de Tareas

- **Software**

[25] Software, DIALUX EVO 6. Instituto Alemán de Luminoténia.

- **Páginas web**

[26] *ELT≡light uo your life*. [Consulta: 24 de Junio de 2016]. Disponible en: <http://www.elt-blog.com/sistemas-de-regulacion-y-control-del-alumbrado-parte-2-regulacion-dali/>

[27] *Hospital Universitario Rio Hortega, SACYL* [Consulta: 15 de Mayo de 2016]. Disponible en: <http://www.saludcastillayleon.es/HRHortega/es>

[28] *LLEDO*. [Consulta 19 de Junio de 2016]. Disponible en: <http://lledogrupocom/>

[29] *LUTRON*. [Consulta: 30 de Junio de 2016]. Disponible en: <http://www.lutron.com/es-LA/Paginas/default.aspx>

[30] *Observatorio de responsabilidad social corporativa*. [Consulta: 28 de Mayo de 2016]. Disponible en: <http://observatoriorsc.org/>

[31] *OSRAM*. [Consulta: 23 de Junio de 2016]. Disponible en: http://www.osram.es/osram_es/index.jsp

[32] *Philips Iluminación*. [Consulta: 3 de Junio de 2016]. Disponible en: <http://www.lighting.philips.es/inicio>

[33] *Smart Hospital. European Project Life+*. [Consulta 18 de Mayo de 2016]. Disponible en: <http://www.lifesmarthospital.eu/>

[34] *Surface meteorology and Solar Energy*. A renewable energy resource web site, Paul W. Stackhouse, Jr., Ph.D. [Consulta: 10 de Junio de 2016]. Disponible en: <https://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>

