



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería Eléctrica

***Análisis y mejora de la eficiencia energética
del sistema de iluminación de pasillos de
circulación de un centro sanitario***

Autor:

Gómez García, Cristian

Tutor:

**Muñoz Cano, Manuel
Dpto. Ingeniería Eléctrica.**

Valladolid, Julio 2014.



Agradecimientos

Llegar a donde me encuentro y poder defender este Trabajo de Fin de Grado ha sido una ardua tarea, y por ello mi más sentido agradecimiento:

A todos aquellos profesores y en especial a mi tutor, que con su interés por lo que hacían me han despertado la pasión necesaria para esforzarme cada día más, alcanzar las metas propuestas y sentir que realmente es a lo que me quiero dedicar en un futuro.

Al personal del hospital, y en especial a Fernando, gracias a su colaboración y dedicación.

A mis amigos que me han ayudado cuando lo he necesitado, que me han hecho pasar muy buenos momentos y que sin ellos habría sido todavía más larga y difícil la estancia aquí.

A mi familia, en especial a mis padres, mi hermana y mi sobrina, y a ti Marta, ya que gracias a vosotros, con vuestro apoyo y comprensión en muchos momentos, además de paciencia, he podido llegar al final de una de las metas más difíciles que me encontraré a lo largo de mi vida, y por ello mi más sentida gratitud.



Análisis y mejora de la eficiencia energética del sistema de iluminación de los pasillos de circulación de un centro sanitario.





Abstract

En los últimos años, debido a la crisis de la energía y la contaminación ambiental, se han establecido acuerdos y tomado medidas para un mejor aprovechamiento de los recursos disponibles, sin dejar de cubrir las necesidades de los usuarios.

En este trabajo, nos hemos planteado como objetivo fundamental, el aprovechamiento de la luz natural como base para la elaboración de una estrategia de control del sistema de iluminación de los pasillos de circulación del Hospital Universitario Rio Hortega, con vistas a la mejora de su eficiencia energética.

Esta estrategia de control supondrá un ahorro energético, y en consecuencia económico. Para llevarla a cabo contaremos con un software de simulación, libre del Instituto Alemán de Luminotecnia, Dialux y los datos estadísticos proporcionados por el centro de datos científicos atmosféricos de la NASA.

Se propone implementar la estrategia elaborada en el sistema de control del HURH mediante un equipo programable.

Palabras clave

Centro sanitario, eficiencia energética, iluminación, luz natural, regulación.



Análisis y mejora de la eficiencia energética del sistema de iluminación de los pasillos de circulación de un centro sanitario.





Índice general

Introducción. Objetivos.	11
1. Emplazamiento objeto de estudio.	15
1.1 Descripción del complejo hospitalario.....	15
1.2 Escenario a estudiar.....	17
2. Marco teórico y normativo.	21
2.1 La Luz.....	21
2.1.1 La luz como onda.....	21
2.1.2 Propiedades de la luz.	23
2.2 Magnitudes y unidades luminosas.	27
2.3 Principios fundamentales y medida de iluminación.....	30
2.4 Normativa y directrices aplicables.....	35
2.5 Parámetros a controlar del sistema de iluminación.....	35
2.5.1 Nivel de iluminación.	35
2.5.2 Cociente E_{min}/E_{med}	35
2.5.3 Valor de eficiencia energética.	36
3. Sistema de control.	39
3.1 Características técnicas de los equipos.	39
3.2 Arquitectura del sistema de control.....	48
4. Modelado del escenario, estrategias de actuación e implementación en el sistema del HURH.	51
4.1 Modelado y ajuste del escenario.	51
4.2 Actuaciones preliminares sobre el sistema de iluminación.	54
4.3 Estrategias de control.....	57
4.4 Factores básicos a tener en cuenta en la simulación.	57



Análisis y mejora de la eficiencia energética del sistema de iluminación de los pasillos de circulación de un centro sanitario.



4.5 Implantación de la estrategia en el sistema de control del HURH.	61
4.5.1 Esquemas.	62
5. Resultados.	71
5.1 Regulación del sistema de iluminación.	71
5.2 Eficiencia energética de la instalación de iluminación.	84
5.3 Consumos de potencia y energía en la zona de estudio.	93
6. Estudio económico.	105
6.1 Costes de materiales.	105
6.2 Valor actual neto (VAN).	107
6.3 Pay-Back descontado (PB*).	109
6.4 Tasa interna de retorno (TIR).	110
7. Conclusiones.	111
8. Bibliografía.	113
Anexos.	115
Anexo 1. Resultados Luminotécnicos.	115



Índice de figuras

Figura 1. Situación del complejo hospitalario.....	16
Figura 2. Vista de las partes del HURH.	17
Figura 3. Vista Sur Edificio Este.	18
Figura 4. Downlight compacto.	18
Figura 5. Espectro electromagnético.....	22
Figura 6. Distribución espectral de la luz del día normal.....	23
Figura 7. Reflexión especular.....	24
Figura 8. Reflexión difusa.	24
Figura 9. Reflexión mixta.	25
Figura 10. Transmisión regular.	26
Figura 11. Transmisión difusa.	26
Figura 12. Transmisión mixta.....	26
Figura 13. Diagrama polar.	29
Figura 14. Curvas isocandelas.	30
Figura 15. Curvas isolux.	30
Figura 16. Distribución del flujo luminoso sobre distintas superficies, a distintas distancias.....	31
Figura 17. Ilustración ley del coseno.	32
Figura 18. Iluminancia en un punto genérico.	33
Figura 19. Luxómetro analógico.....	34
Figura 20. Interruptor diferencial.....	40
Figura 21. Interruptor automático.	40
Figura 22. Contactor.....	40
Figura 23. Selector.....	41
Figura 24. Sonda exterior de iluminación, LLO.	41



Análisis y mejora de la eficiencia energética del sistema de iluminación de los pasillos de circulación de un centro sanitario.



Figura 25. Tarjeta CNC2.....	42
Figura 26. Tarjeta INC2.....	43
Figura 27. Módulo XTEND.....	43
Figura 28. Controlador IQ3XCITE, vista frontal.	44
Figura 29. Conexiones controlador IQ3xcite.....	46
Figura 30. Descripción física del controlador IQ3xcite.	46
Figura 31. Descripción física de los módulos de E/S.	47
Figura 32. Diferentes conexiones módulos E/S.	48
Figura 33. Arquitectura de control HURH.....	49
Figura 34. Planta de la escena en Dialux.	52
Figura 35. Orientación Edificio Este.	53
Figura 36. Ubicación de las luminarias.	55
Figura 37. Vista 3D escena completa Dialux.....	56
Figura 38. Vista 3D transversal.....	56
Figura 39. Vista 3D transversal.....	56
Gráfico 1.Promedio mensual de horas de sol diarias.....	58
Figura 40. Luminarias de los grupos de control.	60
Diagrama 1. Control manual/automático.....	63
Diagrama 2. Ejemplo control continuo.....	63
Diagrama 3. Ejemplo control horario.....	65
Esquema 1. Ejemplo programación horaria con sonda de iluminación de un circuito de alumbrado.	67
Esquema 2. Ejemplo programación alarmas y estado del sistema de un circuito de alumbrado.	69
Figura 41. Aporte de luz artificial, el 14 de Noviembre a las 17:00 horas.	84
Figura 42. Aporte de luz natural, el 14 de Noviembre a las 17:00 horas.	85
Figura 43. Aporte de luz natural y artificial, el 14 de Noviembre a las 17:00 horas.	86
Gráfico 2. Comparativa de consumo de energía diaria entre la situación inicial y la situación con regulación.....	102
Gráfico 3. Comparativa de consumo de energía diaria entre la situación inicial y la situación con regulación.....	102
Gráfico 4. Energía total diaria.	103
Gráfico 5. Ahorro de energía porcentual.....	103
Figura 44. Ahorro anual estimado mediante el VAN a 10 años.	109



Índice de tablas

Tabla 1. Magnitudes fundamentales en luminotecnia.	28
Tabla 2. Valores límite de eficiencia energética de la instalación.	37
Tabla 3. Posición “switch” sonda exterior.	42
Tabla 4. Mediciones realizadas.	53
Tabla 5. Día solar medio.	58
Tabla 6. Promedio mensual de duración del día.	58
Tabla 7. Frecuencia media mensual de cielo despejado.	59
Tabla 8. Frecuencia media mensual de cielo parcialmente nublado.	59
Tabla 9. Frecuencia media mensual de cielo nublado.	59
Tabla 10. Porcentaje de regulación, mes de Enero.	72
Tabla 11. Porcentaje de regulación, mes de Febrero.	73
Tabla 12. Porcentaje de regulación, mes de Marzo.	74
Tabla 13. Porcentaje de regulación, mes de Abril.	75
Tabla 14. Porcentaje de regulación, mes de Mayo.	76
Tabla 15. Porcentaje de regulación, mes de Junio.	77
Tabla 16. Porcentaje de regulación, mes de Julio.	78
Tabla 17. Porcentaje de regulación, mes de Agosto.	79
Tabla 18. Porcentaje de regulación, mes de Septiembre.	80
Tabla 19. Porcentaje de regulación, mes de Octubre.	81
Tabla 20. Porcentaje de regulación, mes de Noviembre.	82
Tabla 21. Porcentaje de regulación, mes de Diciembre.	83
Tabla 22. VEE del sistema de iluminación con control horario, Enero.	87
Tabla 23. VEE del sistema de iluminación con control horario, Febrero.	88
Tabla 24. VEE del sistema de iluminación con control horario, Marzo.	88
Tabla 25. VEE del sistema de iluminación con control horario, Abril.	89



Análisis y mejora de la eficiencia energética del sistema de iluminación de los pasillos de circulación de un centro sanitario.



Tabla 26. VEE del sistema de iluminación con control horario, Mayo.....	89
Tabla 27. VEE del sistema de iluminación con control horario, Junio.	90
Tabla 28. VEE del sistema de iluminación con control horario, Julio.....	90
Tabla 29. VEE del sistema de iluminación con control horario, Agosto.....	91
Tabla 30. VEE del sistema de iluminación con control horario, Septiembre.	91
Tabla 31. VEE del sistema de iluminación con control horario, Octubre.	92
Tabla 32. VEE del sistema de iluminación con control horario, Noviembre.	92
Tabla 33. VEE del sistema de iluminación con control horario, Diciembre.	93
Tabla 34. Consumos teóricos de las luminarias.....	93
Tabla 35. Situación inicial.....	94
Tabla 36. Potencia diaria consumida por horas, mes de Enero.....	95
Tabla 37. Potencia diaria consumida por horas, mes de Febrero.....	95
Tabla 38. Potencia diaria consumida por horas, mes de Marzo	96
Tabla 39. Potencia diaria consumida por horas, mes de Abril	96
Tabla 40. Potencia diaria consumida por horas, mes de Mayo.....	97
Tabla 41. Potencia diaria consumida por horas, mes de Junio.....	97
Tabla 42. Potencia diaria consumida por horas, mes de Julio	98
Tabla 43. Potencia diaria consumida por horas, mes de Agosto.....	98
Tabla 44. Potencia diaria consumida por horas, mes de Septiembre.....	99
Tabla 45. Potencia diaria consumida por horas, mes de Octubre.....	99
Tabla 46. Potencia diaria consumida por horas, mes de Noviembre.....	100
Tabla 47. Potencia diaria consumida por horas, mes de Diciembre.....	100
Tabla 48. Resumen mensual de energía consumida diaria con control	101
Tabla 49. Comparación de la energía consumida y el ahorro resultante	101
Tabla 50. Coste material, equipos, etc.	106
Tabla 51. Coste mano de obra.....	106
Tabla 52. Cálculo del VAN.....	108



Introducción. Objetivos.

Ahorro y eficiencia energética, son dos conceptos muy utilizados durante estos tiempos. Estos términos han tenido un auge importante, a partir de la firma del *Protocolo de Kioto*, su entrada en vigor data del 16 de Febrero de 2005.

En dicho protocolo se pretende reducir la emisión de gases de efecto invernadero, debido a que la emisión de estos gases depende del consumo energético, por lo que los países firmantes establecieron unos techos de consumo energético entre 2008 y 2012.

Asimismo, la aprobación por parte de la Unión Europea, en su lucha contra calentamiento climático, de un conjunto de medidas conocidas como el plan “20/20/20”, ha supuesto que estos términos adquieran una importancia todavía mayor en la sociedad. Con este plan, la Unión Europea, planea conseguir en 2020 que las emisiones de CO₂ se reduzcan un 20%, que se mejore la eficiencia energética un 20%, y que 20% de la energía consumida proceda de fuentes de energías renovables.

En España, para la obtención de energía, necesitamos que un 80% de esa energía provenga de combustible fósiles, esto implica fuertes impactos ambientales en cuanto a la emisión de CO₂ y una dependencia del exterior muy importante. A parte, el aprovisionamiento de esos combustibles fósiles,



Análisis y mejora de la eficiencia energética del sistema de iluminación de los pasillos de circulación de un centro sanitario.



en su mayoría petróleo o gas, sufre obstrucciones importantes por parte de los diferentes países productores, sin olvidar que no se conoce a ciencia cierta la capacidad que tendrán estos productores de seguir abasteciendo a los diferentes consumidores durante las siguientes décadas.

Como visión global, necesitamos aprovechar mejor los recursos que disponemos o que obtengamos, y por ello, necesitamos reducir consumos innecesarios, y optimizar estos recursos de la mejor manera posible.

Centrándonos en esos conceptos tan de moda, podemos definir, la eficiencia energética como "las prácticas o acciones llevadas a cabo para reducir la energía consumida de un determinado sistema". De igual manera, según la *Directiva 2006/32/CE* del 5 de Abril de 2006, podemos definir la *eficiencia energética* como "la relación entre la producción de un rendimiento, servicio, bien o energía, y el gasto de energía".

Si atendemos a consumidores finales, podemos definir la eficiencia energética de un edificio según el *Real Decreto 47/2007*, de 19 de enero, por el que se aprueba el Procedimiento básico para la certificación energética de edificios de nueva construcción como, "el consumo de energía que se estima necesario para satisfacer la demanda energética de un edificio en unas condiciones normales de funcionamiento y ocupación".

El otro término es el *ahorro energético*, que se encuentra fuertemente vinculado a la eficiencia energética. Lo podemos definir, según el *R.D. 314/2006*, de 17 de Marzo, que desarrolla el Código Técnico de la Edificación (CTE), en su artículo 15 en la parte I, como "acciones destinadas a conseguir un uso racional de la energía necesaria para la utilización de los edificios, reduciendo a límites sostenibles su consumo y conseguir asimismo que una parte de este consumo proceda de fuentes de energía renovables".

Lograr una mayor eficiencia en el uso de la energía supone un reto en la ingeniería, ya que todo va encaminado a uso de productos de mejores características, a mejoras en los materiales existentes o a encontrar una tecnología que cumpla con lo que necesitamos, pero teniendo en cuenta que hay que buscar una solución de compromiso entre la técnica y el coste, porque no sirve de nada encontrar una solución muy buena técnicamente si es muy cara o viceversa.

Otra visión importante por la que el ahorro energético es necesario, es la económica. Es fundamental y más en épocas como la actual de recesión y crisis económica, tener en cuenta el coste que supone el uso de la energía.

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



Análisis y mejora de la eficiencia energética del sistema de iluminación de los pasillos de circulación de un centro sanitario.



El objetivo fundamental que nos planteamos es el aprovechamiento de la luz natural 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.

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.

Finalmente, se propondrá la implementación de la estrategia de control elaborada, integrándola en el sistema de control del Hospital Universitario Río Hortega, mediante la incorporación de un equipo programable que controle dicho sistema de iluminación.



Análisis y mejora de la eficiencia energética del sistema de iluminación de los pasillos de circulación de un centro sanitario.





Capítulo 1

Emplazamiento objeto de estudio.

1.1 Descripción del complejo hospitalario.

Como ya he indicado anteriormente, el trabajo se llevará a cabo en el Hospital Universitario Río Hortega, a partir de ahora “HURH”. Se encuentra situado en la calle Dulzaina 2, Valladolid, España, y que correspondiente a las coordenadas geográficas 41.63°N 4.713°W (figura 1).

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.



Figura 1. Situación del complejo hospitalario

Dicho complejo hospitalario se encuentra dividido en una serie de edificios (figura 2) en los que se ha cuidado el tratamiento paisajístico de los jardines y zonas verdes (ocupan una superficie de alrededor de los 45.000 m²), poniendo especial atención a la llegada de luz natural a los espacios interiores, ya que juega un papel destacado en la habitabilidad de los espacios.

Las principales áreas del hospital son:

- **Edificio Norte**, en donde se encuentran las unidades administrativas del hospital, la capilla, la biblioteca y el salón de actos.
- **Edificio Central**, en el cual aparecen 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**, aparece en él el bloque de radiodiagnóstico, el bloque quirúrgico, la zona de reanimación postanestésica, la UCI, la unidad de quemados, la unidad de investigación, el servicio de farmacia y la unidad de prevención de riesgos laborales.
- **Edificio Este**, se sitúan en él las urgencias generales, la sala de observación, las urgencias pediátricas, el servicio de rehabilitación, el bloque obstétrico y el área ambulatoria.



Análisis y mejora de la eficiencia energética del sistema de iluminación de los pasillos de circulación de un centro sanitario.



- **Edificio Oeste**, donde se encuentran los diferentes laboratorios, el servicio de anatomía patológica y las unidades de dietética y de hemodiálisis.
- **Edificio Industrial**, en el que encontramos los servicios de cocina, lencería, mantenimiento y almacén general.



Figura 2. Vista de las partes del HURH

1.2 Escenario a estudiar.

Mi labor aquí se centrará en el Edificio Este correspondiente a la zona ambulatoria, donde se encuentran las consultas externas. Estas consultas se encuentran localizadas en la planta 2ª y 3ª, ésta última será sobre la que se realizará un estudio exhaustivo.

La distribución del edificio está formada por un pasillo central, que parte de la entrada del edificio y lo recorre por completo, y desde el cual parten los diferentes pasillos/salas de espera hacia las diferentes consultas.

El número de consultas del edificio corresponde a 69, divididas en nueve zonas o “peines”. Me centraré en las zonas de circulación del “peine” número nueve.

En dicho “peine” nos encontramos, un pasillo que hace las funciones de sala de espera de las consultas que allí se encuentran, y presenta una gran cristalera que cubre la totalidad del pasillo, con orientación sur, que supone un aporte muy importante de luz natural a la estancia (figura 3).



Figura 3. Vista Sur Edificio Este.

La iluminación de estas zonas se basa en la iluminación natural y en iluminación artificial.

Esta última está compuesta por luminarias downlights “compactas” de la marca Beghelli, modelo “Crater” con dos lámparas de bajo consumo de 13W de la marca Osram. Su puesta en marcha se realiza a través de pulsadores colocados en una de las paredes del pasillo.

Los downlights se encuentran instalados en el techo técnico desmontable, bajo montaje empotrado, tal y como se muestra en la figura 4, y se dividen en tres grupos, por lo que aparecen tres pulsadores de encendido, uno por cada grupo de luminarias.



Figura 4. Downlight compacto.



Análisis y mejora de la eficiencia energética del sistema de iluminación de los pasillos de circulación de un centro sanitario.



A diferencia de otras zonas del hospital donde la iluminación puede ser controlada de manera centralizada, en esta zona no existe ese control y por tanto, solo se pueden encender o apagar a través de esos pulsadores, con los inconvenientes que eso conlleva a la hora de poder regular la iluminación y reducir el consumo.



Análisis y mejora de la eficiencia energética del sistema de iluminación de los pasillos de circulación de un centro sanitario.





Capítulo 2

Marco teórico y normativo.

En primer lugar, expondremos una serie de conceptos que servirán de base para facilitar la comprensión y el estudio de lo que más adelante se detalla.

2.1 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.

2.1.1 La luz como onda.

La luz es una onda electromagnética, es decir, propaga 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.

Las ondas electromagnéticas presentan unas características comunes:

- **Longitud de onda**, se define como la distancia recorrida por la onda en un periodo.

$$\lambda = \nu * T \quad [m] \quad (1)$$

- **Frecuencia**, la podemos definir como el número de periodos que tienen lugar en la unidad de tiempo.

$$f = \frac{1}{T} \quad [Hz] \quad (2)$$

- **Velocidad de propagación**.

$$\nu = \lambda * f \quad [m/s] \quad (3)$$

Debido a que las radiaciones electromagnéticas son de la misma naturaleza y se propagan a la misma velocidad en el vacío (velocidad de la luz, 300.000 km/s), la característica que las diferencia es su longitud de onda o su frecuencia.

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 5).

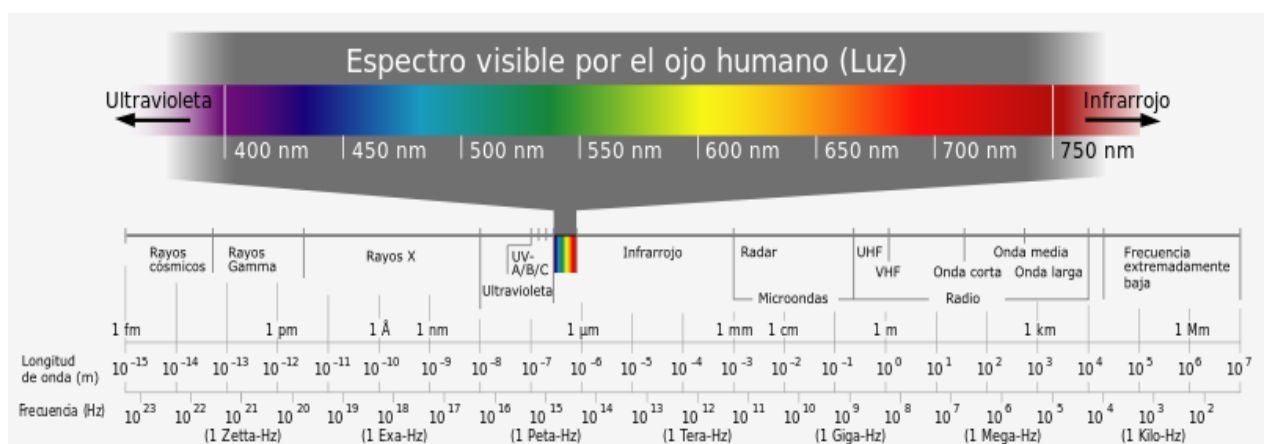


Figura 5. Espectro electromagnético

A la hora de ver como se distribuye la potencia radiada por una fuente 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.

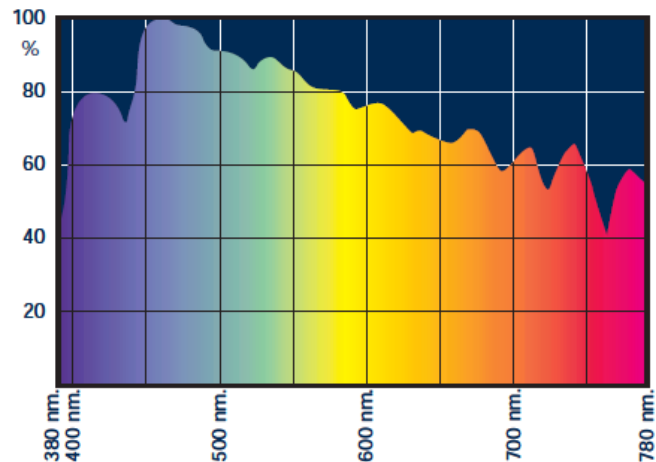


Figura 6. Distribución espectral de la luz del día normal

Como se observa en la figura 6, la luz diurna presenta una distribución continua ya que recorre todas las frecuencias del espectro visible. En cuanto a las lámparas, podemos encontrar lámparas que presenten una distribución continua, semejante a la de la luz diurna, como las incandescentes, y otras que tengan una distribución discontinua, como las lámparas de descarga.

2.1.2 Propiedades de la luz.

La interacción de la luz con la materia provoca la modificación de las características del haz luminoso que incide. Además las fuentes luminosas no realizan por sí mismas una distribución del flujo luminoso que signifique una aplicación directa, sino que se tienen que utilizar dispositivos que modifiquen o ayuden a controlar la luz que emiten las fuentes luminosas.

A la hora de realizar esa modificación de manera que se aproveche de manera eficiente, se utilizan las propiedades ópticas que presenta la luz:

- Reflexión.
- Refracción.
- Absorción.

- d) Transmisión.
- e) Difusión.

Nos centraremos en la reflexión, absorción y transmisión, ya que para el estudio que se va a desarrollar posteriormente, son más significativas que las otras propiedades.

Reflexión.

Es la devolución de un rayo por una superficie sin cambiar las radiaciones monocromáticas que le componen. Esta reflexión puede ser especular, difusa y mixta. En esta propiedad se fundamentan los sistemas reflectores de los aparatos de iluminación.

Hay varios tipos:

- *Reflexión especular.*- Es aquella en que el haz reflejado forma con la normal de la superficie el mismo ángulo que el haz incidente con dicha normal (figura 7).

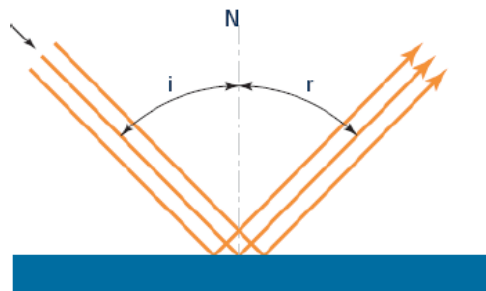


Figura 7. Reflexión especular

- *Reflexión difusa.*- Consiste en que el haz incide sobre una superficie y se refleja en todas las direcciones, siendo el rayo normal a la superficie el de mayor intensidad (figura 8).



Figura 8. Reflexión difusa.



Análisis y mejora de la eficiencia energética del sistema de iluminación de los pasillos de circulación de un centro sanitario.



- *Reflexión mixta.*- Es la intermedia entre la especular y la difusa, en la que parte del haz incidente se refleja y parte se difunde (figura 9).

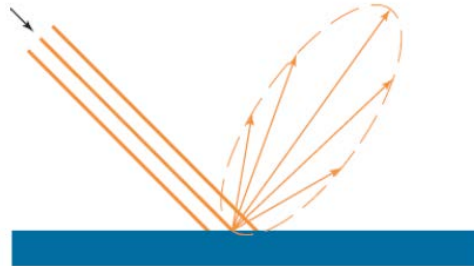


Figura 9. Reflexión mixta.

Absorción.

En el fenómeno de la reflexión de la luz, hay una parte del flujo luminoso que incide sobre un cuerpo que no se refleja, es decir, es absorbido por el cuerpo.

La capacidad de absorción depende del tipo de cuerpo y de los materiales que lo forman.

La consecuencia más interesante del fenómeno de la absorción es el color de los cuerpos. La apreciación del color es una interpretación subjetiva de como el cuerpo iluminado absorbe una parte del flujo luminoso y la otra la refleja. Así por ejemplo un cuerpo es de color rojo porque absorbe todas las longitudes de onda excepto la roja que es reflejada.

Transmisión.

Es el paso de un rayo a través de un medio sin cambio de las radiaciones monocromáticas que lo componen; dentro de la transmisión tenemos la regular, difusa y mixta.

Hay varios tipos:

- *Transmisión regular.*- Es aquella en que el haz que incide sobre un medio, lo atraviesa y sale de él como tal haz (figura 10). Los cuerpos que cumplen estas propiedades se denominan cuerpos *transparentes*.

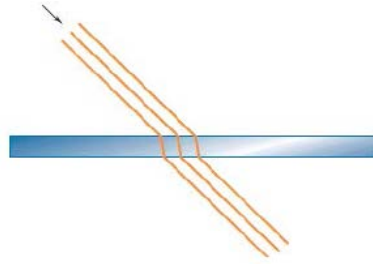


Figura 10. Transmisión regular.

- *Transmisión difusa.*- El haz incidente se difunde en el medio, saliendo en múltiples direcciones (figura 11). A estos medios se les denomina *translúcidos*.

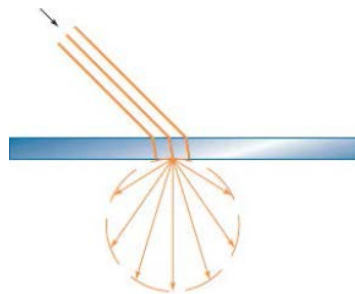


Figura 11. Transmisión difusa.

- *Transmisión mixta.*- Es una combinación entre la regular y la difusa (figura 12).

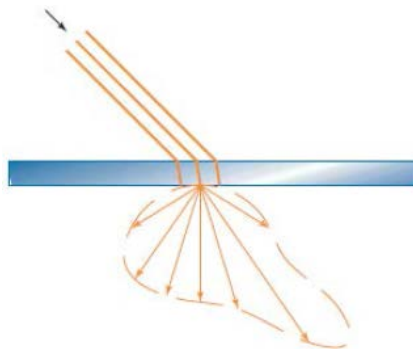


Figura 12. Transmisión mixta.



2.2 Magnitudes y unidades luminosas.

Comentaremos ahora de manera breve las magnitudes fundamentales de la luminotecnica, así como las relaciones existentes entre ellas y las unidades que tienen estas magnitudes.

En la tabla 1, se muestran las magnitudes más importantes:

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/watio 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.	%	$U_L = \frac{L_{min\ long}}{L_{max\ long}}$
<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.	%	$F_m = F_{pl} * F_{dt} * F_t * F_c * F_e$

Tabla 1. Magnitudes fundamentales en luminotecnía.

A la hora de emplear y presentar los datos obtenidos mediante cálculos con las magnitudes antes mencionadas destaca las representaciones gráficas de dichas magnitudes, ya que nos proporcionan una idea clara y bastante aproximada del funcionamiento previsto de un aparato de iluminación.

Podemos representar el flujo luminoso emitido por una fuente luminosa mediante vectores de intensidad luminosa distribuidos en todas las direcciones. En función del plano por el que cortemos esta distribución luminosa tenemos diferentes tipos de gráficos, como el diagrama polar, las curvas isocandelas o las curvas isolux.

El diagrama polar (figura 13) o curva de distribución luminosa se forma, cortando la distribución luminosa por un plano que pasa por el eje de simetría de dicho cuerpo.

Las curvas isocandelas (figura 14) se consiguen imaginando que la fuente luminosa se encuentra en el centro de una esfera, en cuya superficie exterior se unen por una línea, los puntos de igual intensidad.

Las curvas isolux (figura 15) se obtienen cortando por diferentes planos paralelos al plano de trabajo (plano perpendicular al eje de rotación de la fuente luminosa), y uniendo los puntos con la misma iluminación.

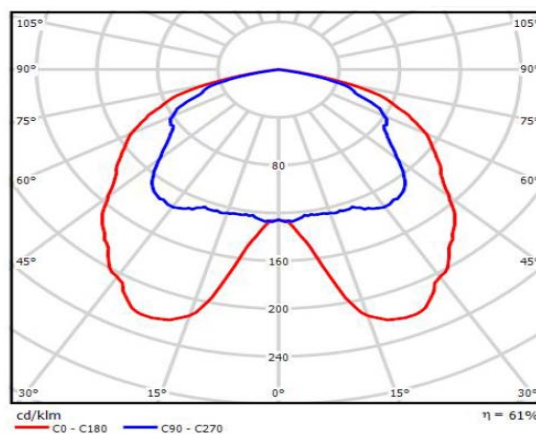


Figura 13. Diagrama polar.

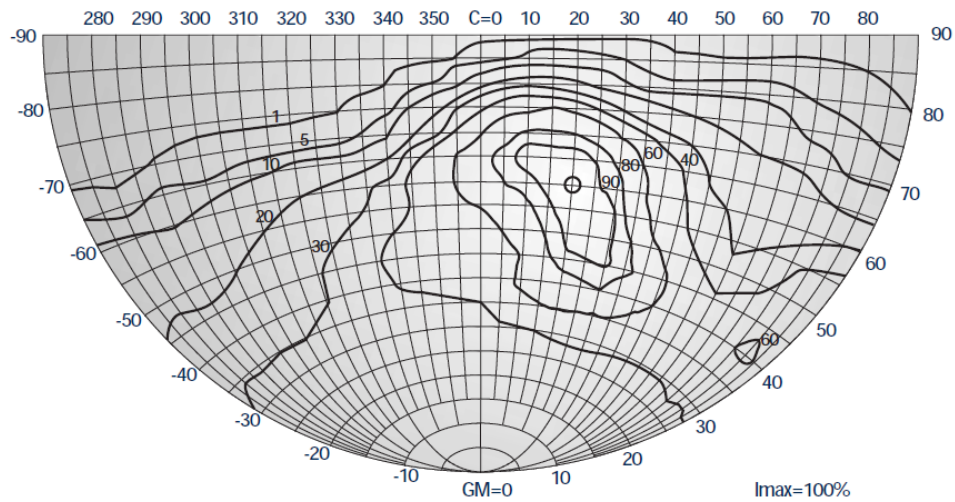


Figura 14. Curvas isocandelas.

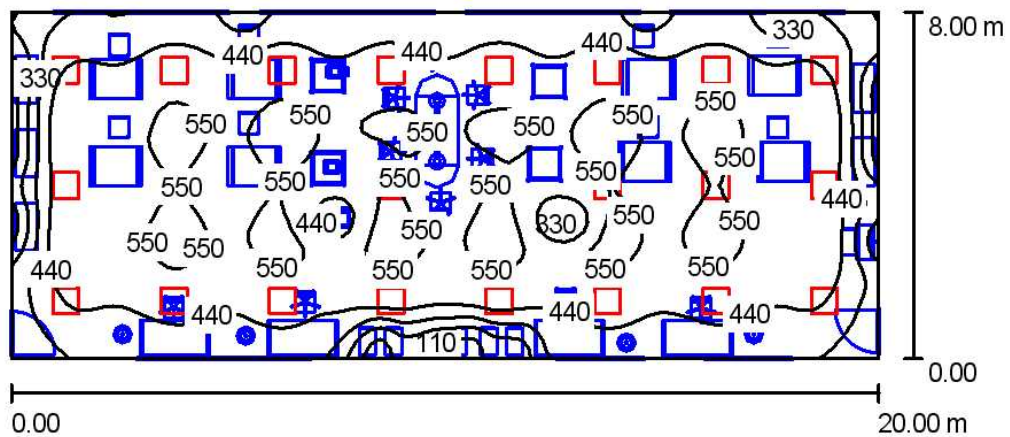


Figura 15. Curvas isolux.

2.3 Principios fundamentales y medida de iluminación.

Imaginemos una fuente luminosa puntiforme, que irradia un flujo luminoso “ $d\Phi$ ” sobre un elemento de superficie “ ds ” situado de manera perpendicular a una distancia “ d ” de la fuente, la iluminación en la superficie “ ds ”, será:

$$E = \frac{d\Phi}{ds} = \frac{I d\omega}{ds} \quad (4)$$

como

$$d\omega = \frac{ds}{d^2} \quad (5)$$

podemos expresar, que la iluminación será igual a:

$$E = \frac{I}{d^2} \quad (6)$$

Esta ecuación expresa la ley fundamental de la iluminación, o de la inversa del cuadrado de la distancia:

La iluminación de una superficie situada perpendicularmente a la dirección de la radiación luminosa es directamente proporcional a la intensidad luminosa de la fuente luminosa e inversamente proporcional al cuadro de la distancia que le separa del mismo (figura 16).

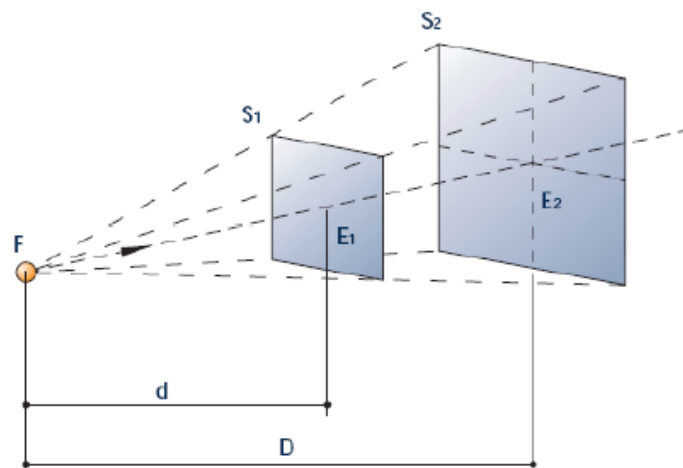


Figura 16. Distribución del flujo luminoso sobre distintas superficies, a distintas distancias.

Hay que puntualizar que esta ley así expresada, es de aplicación solamente en el caso de fuentes de luz puntiformes. Sin embargo, en la práctica se puede considerar una fuente luminosa cualquiera como si fuese puntiforme cuando la distancia a la superficie que se quiere calcular es superior a diez veces mayor al diámetro de la superficie luminosa.

Si consideramos ahora que los rayos luminosos pueden incidir en una superficie en cualquier dirección, la nueva superficie será:



$$S' = \frac{S}{\cos \alpha} \quad (7)$$

Por tanto, el nivel de iluminación de esa nueva superficie será:

$$E' = \frac{I}{d^2} \cos \alpha \quad (8)$$

A este resultado, se le denomina ley del coseno:

La iluminación es proporcional al coseno del ángulo de incidencia de los rayos luminosos en el punto iluminado (figura 17).

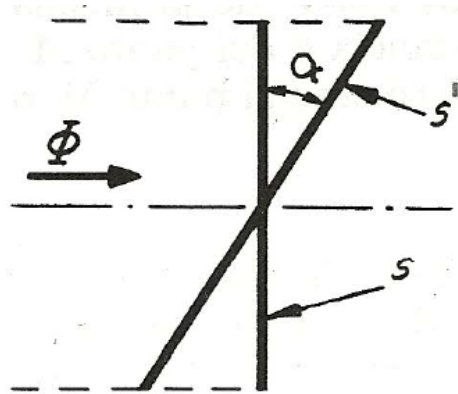


Figura 17. Ilustración ley del coseno.

A partir de lo anterior, podemos calcular el valor de la iluminación en un punto “M” genérico, iluminado por una fuente “F” situado a una determinada distancia (figura 18).

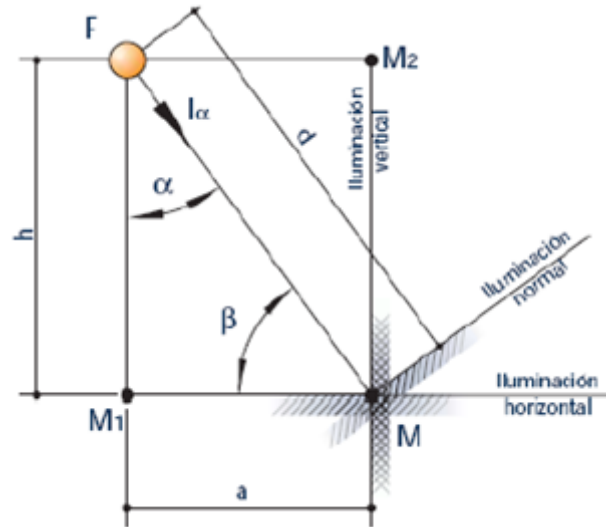


Figura 18. Iluminancia en un punto genérico.

La fuente produce una intensidad luminosa “I”, y en el punto “M” podemos considerar tres planos: el horizontal, el vertical y el normal a la dirección de “d”. En cada uno de estos planos se producirá un valor de iluminación.

La iluminación normal, se basa en la ley fundamental de la iluminación, y es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que separa la fuente del punto a considerar:

$$E_N = \frac{I_\alpha}{d^2} \quad (9)$$

La iluminación horizontal de un punto es proporcional al coseno del ángulo de incidencia, que es el ángulo formado por la dirección del rayo incidente y la normal a la superficie en el punto considerado.

$$E_h = \frac{I_\alpha \cos \alpha}{d^2} = \frac{I_\alpha \cos \alpha}{\frac{h^2}{(\cos \alpha)^2}} = \frac{I_\alpha (\cos \alpha)^3}{h^2} \quad (10)$$

La iluminación vertical de un punto es proporcional al seno del ángulo de incidencia.

$$E_v = E_N * \sin \alpha = \frac{I_\alpha \sin \alpha}{d^2} = \frac{I_\alpha \sin \alpha}{\frac{h^2}{(\cos \alpha)^2}} = \frac{I_\alpha (\cos \alpha)^2 \sin \alpha}{h^2} \quad (11)$$

La normativa obliga a cumplir unos niveles mínimos de iluminación, que varía en función de la escena o recinto a iluminar. No basta sólo con calcular las luminarias necesarias y obtener la iluminancia teórica, sino que hay que comprobar in situ, que realmente lo calculado teóricamente se ajusta a la situación real. A la hora de realizar estas mediciones se pueden utilizar dos tipos diferentes de instrumentos:

1. Para la medida de la iluminancia se utiliza un instrumento conocido con el nombre de **luxómetro** (figura 19).

Está fundamentado en el principio fotoeléctrico y se encuentra constituido por varias capas alternadas de sustancias aislantes y semiconductoras (óxido de cobre o de selenio), que toman una carga eléctrica proporcional a la luz que reciben.

La medición se puede ver mediante lectura analógica, con diferentes escalas de medición, o digital de medición directa. En ambos casos, los valores se dan en lux.



Figura 19. Luxómetro analógico.

2. La verdadera forma de ser percibida por nuestro sentido de la vista es dependiente de la luminancia de esa superficie u objeto. Esta magnitud puede medirse por medio de un **luminancímetro**, que se basa en dos sistemas ópticos, uno de dirección y otro de medición. El de dirección se orienta de forma que la imagen coincida con el punto a medir, la luz que llega una vez orientado, se ve convertida en corriente eléctrica y recogida al igual que en el luxómetro en lectura analógica o digital, pero siendo los valores medidos en Cd/m².



2.4 Normativa y directrices aplicables

Para la realización del presente trabajo, se ha tenido en cuenta la normativa vigente, 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.
- ✓ 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).

2.5 Parámetros a controlar del sistema de iluminación.

2.5.1 Nivel de iluminación.

Atendiendo a las referencias anteriores, y siendo la más restrictiva la directriz (recoge lo expresado en el RD 217/2001), se establece un nivel de iluminación de 300 lux en un plano útil a 85 cm del suelo.

2.5.2 Cociente E_{min}/E_{med} .

Otro parámetro a considerar es el cociente E_{min}/E_{med} , que nos da idea de la uniformidad con la que estamos iluminando la tarea.



2.5.3 Valor de eficiencia energética.

La eficiencia energética de una instalación de iluminación de una zona, se determinará mediante el valor de la eficiencia energética de la instalación, $VEEI$ (W/m^2) por cada 100 lux mediante la siguiente expresión:

$$VEEI = \frac{P * 100}{S * E_m} \quad (12)$$

siendo:

$P \rightarrow$ la potencia de las lámparas más el equipo auxiliar.

$S \rightarrow$ la superficie iluminada.

$E_m \rightarrow$ la iluminancia media horizontal mantenida.

Los valores de eficiencia energética límite en recintos interiores de un edificio se establecen en el Código Técnico de la Edificación (documento Básico DB-HE «Ahorro de Energía», sección HE3 «Eficiencia energética de las instalaciones de iluminación») y son los recogidos en la tabla 2, extraída de dicho texto.

Debemos asegurarnos que con nuestra estrategia de control, cumplimos con los valores de eficiencia energética establecidos en la citada tabla. En nuestro caso, el valor que se establece como límite para zonas comunes es de 4.

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 2. Valores límite de eficiencia energética de la instalación.



Análisis y mejora de la eficiencia energética del sistema de iluminación de los pasillos de circulación de un centro sanitario.





Capítulo 3

Sistema de control.

A fin de poder aprovechar la luz natural, se integrará la iluminación en el sistema de control del HURH, para poder realizar una gestión eficiente y eficaz del encendido y apagado de las luminarias conforme a las necesidades presentes en cada momento. Para poder controlar la iluminación utilizaremos diferentes equipos, entre los que destaca el equipo programable, gracias al cual aplicaremos los resultados obtenidos.

3.1 Características técnicas de los equipos.

En el siguiente apartado se detallarán las características técnicas de los equipos que se utilizarán durante este estudio ya que es fundamental, para poder optimizar la instalación, conocer estas características las cuales indican las prestaciones y limitaciones de estos dispositivos:

3.1.1. Interruptor diferencial

Los interruptores diferenciales que protegen los circuitos de alumbrado son de la marca ABB, modelo DDA 202 de sensibilidad 30mA (figura 20).



Figura 20. Interruptor diferencial.

3.1.2. Interruptor Automático

Los interruptores automáticos utilizados en los cuadros también son del fabricante ABB, modelo DIN S-202 C-10 (figura 21).



Figura 21. Interruptor automático.

3.1.3. Selector + Contactor

El contactor es de ABB, modelo ESB 40-20 230V/50Hz con 2 polos y fabricados para trabajar a una tensión de 220-230 V y una intensidad de corriente de 40 A (figura 22). Posee dos contactos normalmente abiertos.



Figura 22. Contactor.



Análisis y mejora de la eficiencia energética del sistema de iluminación de los pasillos de circulación de un centro sanitario.



Selector ABB, modelo E221-4, con posiciones de “Auto”, “Hand” y “0” (figura 23).

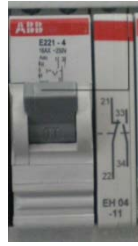


Figura 23. Selector.

3.1.4. Sonda de iluminación

Para medir el nivel de iluminación utilizaremos una sonda del fabricante TREND CONTROLS, con lo que garantizamos que este equipo sea totalmente compatible con el sistema de control que posee el complejo, que también es de este mismo fabricante.

En cuanto a su colocación tenemos dos opciones, colocar una sonda de iluminación exterior o una interior. La clave está en la ubicación de la sonda ya que ésta no debe verse influenciada por el encendido del alumbrado que ella misma provoca. Si se ubica en el exterior la colocación también será clave porque estará influenciada por la época del año, hora del día, sombras, etc. que hacen variar las condiciones.

De las dos opciones elegiremos la de sonda exterior, ya que nos permite conocer el nivel de iluminación exterior que se podría relacionar con el estado meteorológico o incluso con el nivel de iluminación interior. Por tanto, la sonda exterior de TREND es la LLO, mostrada en la figura 24.

Su ubicación sería en la fachada en la que se encuentra la cristalera, por encima de ésta.



Figura 24. Sonda exterior de iluminación, LLO.

Este equipo es un dispositivo que nos permite conocer el nivel de iluminación exterior, para aplicaciones de monitorización y control, mediante la realización de una calibración del sensor mediante unos “switches” que nos encontramos en la placa del sensor.

En función de estos “switches” podemos encontrarnos en un rango de lux u otro. Su posición para diferentes rangos de luz se muestra en la tabla 3.

Switch 1	Switch 2	Switch 3	Switch 4	Rango (lux)
ON	ON	ON	ON	1000
OFF	ON	ON	ON	2000
OFF	OFF	ON	ON	4000
OFF	OFF	OFF	ON	8000
OFF	OFF	OFF	OFF	20000

Tabla 3. Posición “switch” sonda exterior

La salida es una señal analógica, de 4 a 20 mA., proporcional al nivel de iluminación que mide la sonda.

3.1.5. Tarjeta CNC2

La tarjeta CNC2 de TREND CONTROLS permite la comunicación entre un anillo de arquitectura del sistema de TREND y el PC que tiene instalado el programa supervisor 963 (figura 25).

Las tensiones de alimentación que se encuentran en el mercado son a 230V o 24 V, encontrando en el HURH las de 230 V.



Figura 25. Tarjeta CNC2.

3.1.6. Tarjeta INC2

La tarjeta INC2 de TREND CONTROLS permite la comunicación directa entre los distintos anillos que forman la arquitectura del sistema de TREND, y así ofrece la posibilidad de arquitecturas de red todo lo grandes que se requieran (figura 26).



Figura 26. Tarjeta INC2.

3.1.7. XTEND

Interface para la interconexión de Plataformas (figura 27). Permite interconectar segmentos de LON, redes LAN y redes Ethernet en un único dispositivo.



Figura 27. Módulo XTEND

3.1.8. Controlador IQ3

Son controladores, “*unidades inteligentes que gestionan las entradas, para mediante una estrategia o programación, actuar sobre las salidas y así realizar un control automático de un proceso*”, del Sistema de Gestión de Edificios, que usan las tecnologías de Ethernet y TCP/IP con posibilidad de comunicación BACnet (protocolo abierto que permite a los productos de distintos fabricantes de equipos de gestión de edificios comunicarse unos con otros). Cada controlador incorpora un servidor web que puede suministrar páginas web específicas del usuario a un PC o dispositivo móvil que utilice un navegador web.

Esta gama se compone del controlador IQ3xact, con 12 señales, un controlador básico IQ3xcite, con 16 señales, y un controlador ampliable IQ3xcite, que puede tener hasta 128 puntos añadiendo módulos E/S.

Debido a su mayor flexibilidad, se utilizará el **IQ3xcite**, es un controlador de 16 señales, 10 entradas universales más salidas analógicas, ampliable mediante módulos de entradas y salidas de 4, 8 o 16 señales hasta un máximo de 128 (16+112) puntos de control (figura 28).



Figura 28. Controlador IQ3XCITE, vista frontal.



Análisis y mejora de la eficiencia energética del sistema de iluminación de los pasillos de circulación de un centro sanitario.



Las características principales que presenta el controlador son:

- Reloj en tiempo real.
- Libremente programable.
- Alimentación a 230 V_{ac}/24 V_{ac}.
- Programación almacenada en flash.
- Almacenamiento de históricos en el propio controlador.
- Comunicaciones Ethernet (10 Mb/s).
- Dirección IP fija o dinámica (DCHP).
- Servidor web.
- Clasificación, tratamiento y envío de alarmas.
- Montaje de elementos en carril DIN.
- Display local (SDU-xcite).

A la hora de las comunicaciones principales del controlador con otros elementos del sistema, tenemos varias opciones (figura 29):

- **Ethernet:** Esta es la red principal del controlador IQ3. Permite que se puedan conectar PCs directamente a Ethernet y que se comuniquen con el IQ3 usando direccionamiento IP. La conexión IP soporta un navegador web que se ejecute en un PC, pero la comunicación con un supervisor o una herramienta (p.ej., 963, IQView) requerirá el uso de una CNC virtual que está integrada en el controlador IQ3.
- **Placa auxiliar de lazo de corriente (LAN):** La placa auxiliar de LAN permite al IQ3 convertirse en un nodo más del sistema TREND. Este IQ3 no podrá ser un nodo de la LAN virtual de Ethernet (o Internetwork). Sin embargo, sigue manteniendo su servidor web y permite el acceso con un supervisor o con el SET a través de su CNC virtual. También permite enviar alarmas IP o email a través de Ethernet.

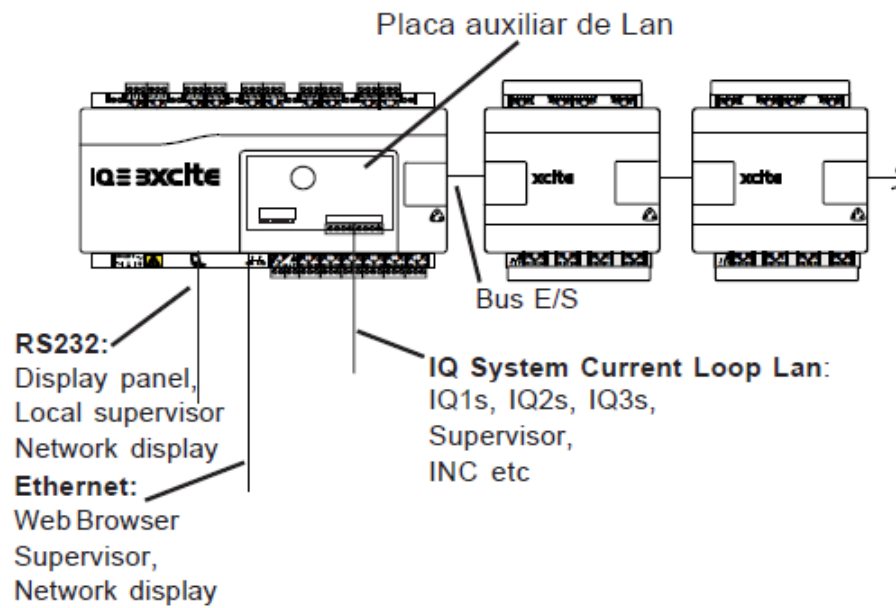


Figura 29. Conexiones controlador IQ3xcite.

La opción de conectar el autómatas a una LAN, supone un mayor coste, que si se utiliza el sistema de Ethernet, ya que la placa LAN viene aparte. Además el número máximo de metros que podemos tener de cable LAN, es de aproximadamente 100m, sin olvidarnos que el cable para formar una red LAN es mucho más caro que el cable para Ethernet. Por todos estos condicionantes, nuestro controlador no presentará placa LAN, y se utilizará la conexión a Ethernet.

El aspecto físico del controlador, y los componentes que incluye, se muestran en la figura 30.

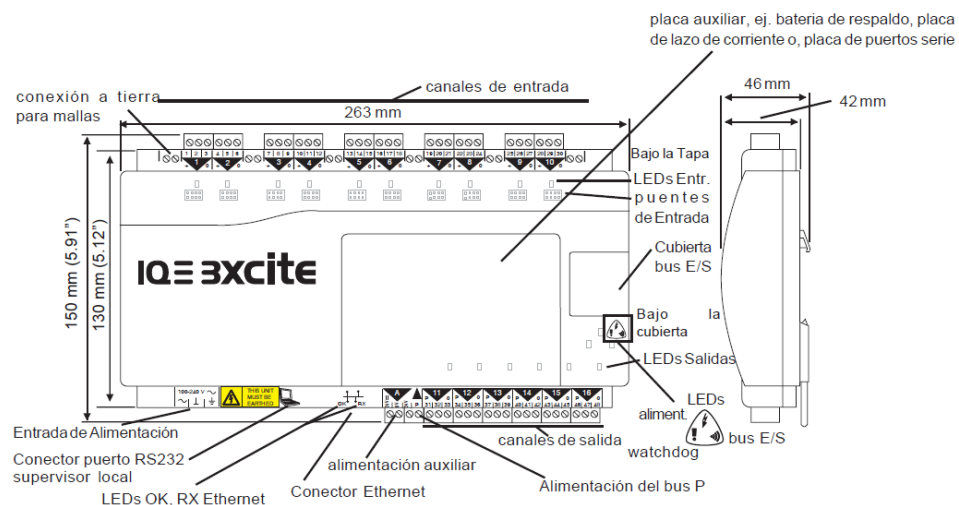


Figura 30. Descripción física del controlador IQ3xcite.

En cuanto a los módulos de E/S (figura 31), se pueden conectar en la versión ampliable del IQ3 (IQ3XCITE/96/...) a través del bus E/S. Presenta las siguientes características:

- Se pueden conectar máximo 15 módulos de E/S.
- Se puede usar un máximo de 96/112 puntos (16 puntos en el IQ3xcite y 80/96 puntos de expansión).
- El controlador y sus módulos de E/S se instalarán dentro de cajas.
- No está permitida ninguna línea auxiliar en el bus E/S.

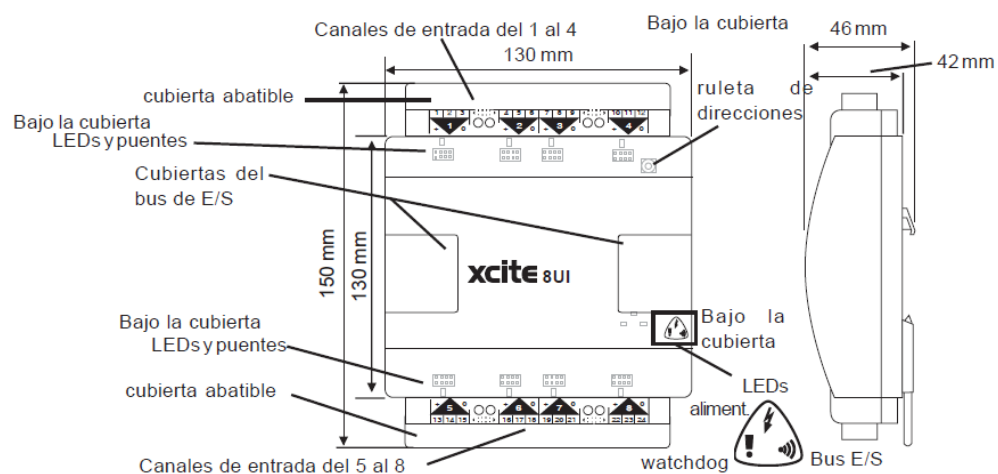


Figura 31. Descripción física de los módulos de E/S.

La gama actual de módulos está compuesta de:

- 8 entradas universales (/8UI/).
- 4 entradas universales (/4UI/).
- 4 entradas universales y 4 salidas de tensión analógicas (/4UI/4AO).
- 2 entradas universales y 2 salidas de tensión analógicas (2UI/2AO/).
- 8 salidas de relé (/8DO/).
- 4 salidas de relé (/4DO/).
- 8 salidas analógicas (/8AO).
- 4 salidas analógicas (/4AO).
- 16 salidas digitales (/16DI).
- 8 salidas digitales (/8DI).
- 8 salidas de relé con Man/0/Auto (/8DO/HOA/).
- 4 salidas de relé con Man/0/Auto (4DO/HOA/).

A la hora de establecer el bus de E/S, podemos conectar los diferentes módulos mediante una tapa de plástico con bisagras a cada lado, para conectar dicho bus, permitiendo que éste sea conectado en serie fácilmente (figura 32). También tenemos para módulos adyacentes un interconector rígido corto.

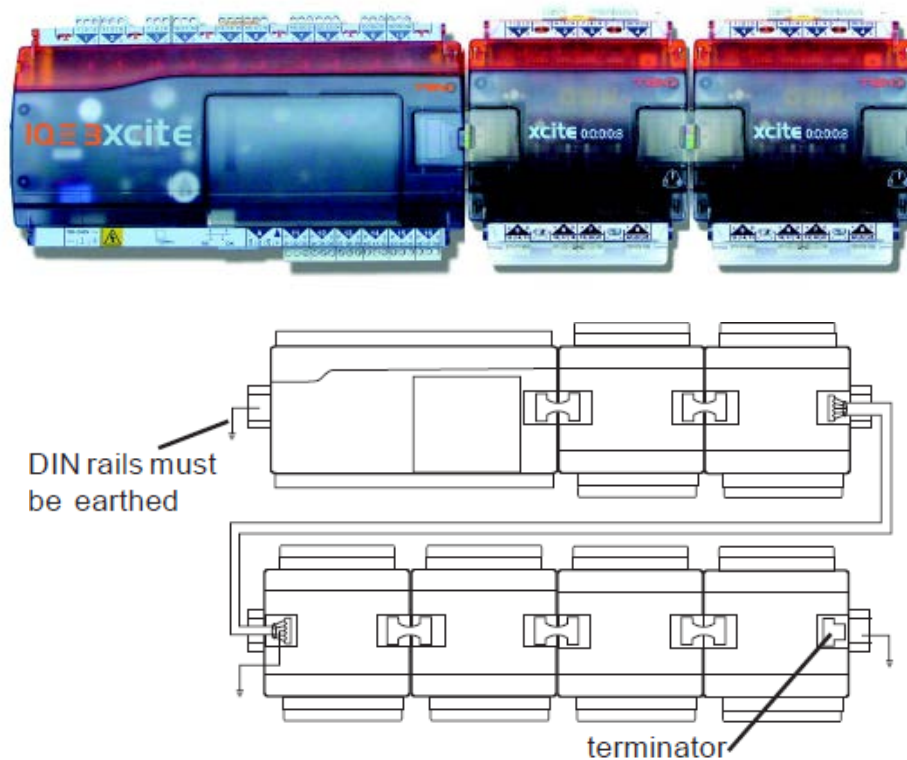


Figura 32. Diferentes conexiones módulos E/S.

3.2 Arquitectura del sistema de control.

El control del hospital está formado por varios anillos que comunican diferentes equipos entre sí. Cada uno de estos anillos forma una red LAN propia, encontrándonos las redes LAN 6, 7, 8 y 9.

Estos anillos a su vez se encuentran comunicados entre sí a través de una Internetwork, de la que forman parte los INC2, equipos que conectan una LAN con la Internetwork. A su vez, esta Internetwork se comunica con Ethernet a través de un equipo denominado XTEND.

La conexión al sistema con un PC se realiza a través de un CNC2, presente tanto en la LAN 6 como en la LAN 7. Con él podemos controlar todos los



Análisis y mejora de la eficiencia energética del sistema de iluminación de los pasillos de circulación de un centro sanitario.



elementos que forman el sistema, ya que se encuentran comunicados unos con otros.

También nos encontramos una red LON, que es la que comunica con los equipos IQL's (equipos no programables de TREND para el control de unidades terminales).

En la figura 33, se muestra de manera esquemática como es la arquitectura del sistema de control implementado en el HURH.

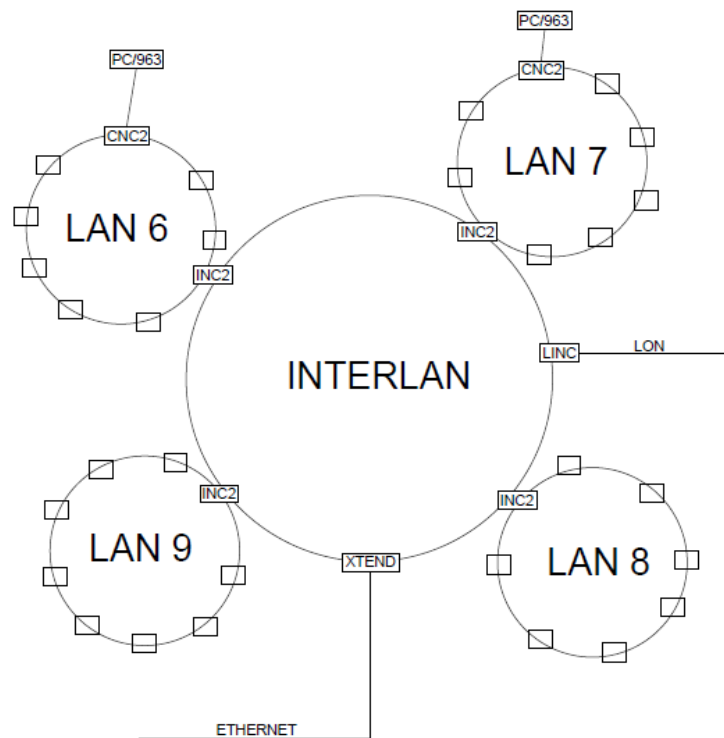


Figura 33. Arquitectura de control HURH.



Análisis y mejora de la eficiencia energética del sistema de iluminación de los pasillos de circulación de un centro sanitario.





Capítulo 4

Modelado del escenario, estrategias de actuación e implementación en el sistema del HURH.

4.1 Modelado y ajuste del escenario.

Para poder modelar el escenario objeto de estudio, utilizaremos el programa informático Dialux, versión 4.12.

Este programa es un software de cálculo de iluminación, tanto interior como exterior, con licencia gratuita. En él podemos representar la escena de interés con una gran posibilidad de variantes para un perfecto ajuste a la situación real, ya sea elementos de ambiente, localización geográfica exacta, factores a considerar en la iluminación, etc.

Contiene un amplio catálogo de luminarias y lámparas de diferentes fabricantes, descargables a través de internet. Gracias a él podemos recrear cualquier tipo de iluminación empleando las luminarias necesarias.

Para la representación de la escena, partimos de los planos de situación del Edificio Este del HURH. Gracias a ellos se puede conseguir las medidas del área a calcular, así como la distribución de los elementos que en ella nos encontramos, como columnas, puertas, etc.

Una vez conseguidos los datos que necesitemos, crearemos en el programa un “nuevo trabajo”. Comenzaremos completando los datos sobre la ubicación de la escena:

- Ubicación: Valladolid.
 - Posición geográfica: Longitud 4.44°; Latitud: 41.39°.
- Especificaciones del tiempo
 - Zona horaria: 1h. desplazamiento a GTM.
 - Tiempo de verano: desde 21/06/2014 hasta 21/09/2014.

Después se realiza la geometría de la escena, a partir de los planos antes mencionados, y se colocan los elementos del ambiente, es decir, las puertas, la cristalera, los bancos de sillas, etc. El resultado será el mostrado en la figura 34.

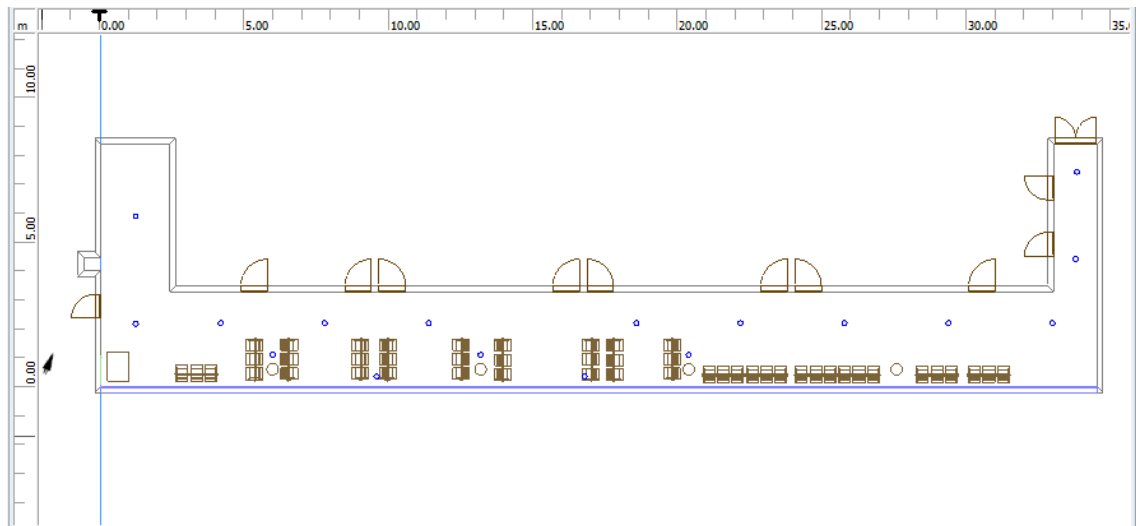


Figura 34. Planta de la escena en Dialux.

Como se puede observar en la figura, la parte izquierda de la “U”, se encuentra cerrada mediante una pared, esto en realidad no es así, ya que esa zona pertenece al pasillo que une todos los “peines” del edificio. Como sólo se quiere la zona de la sala de espera (parte central de la “U”), el pasillo de los baños (zona derecha de la “U”), y una pequeña parte de la zona izquierda, lo que significaría el comienzo, se ha colocado esa pared para poder construir la escena. La pared está colocada suficientemente lejos como para que la reflexión no afecte a los resultados luminotécnicos de la zona que nos interesa.

La zona de cálculo será por tanto, la especificada anteriormente, y se impondrá una zona marginal de 10 centímetros a lo largo del perímetro de la escena.

Situaremos también las luminarias, para ello, buscaremos las luminarias descritas en el apartado 1.2 del presente trabajo, ya que el programa tiene el catálogo del mismo fabricante.

No hay que olvidar la orientación que con respecto al norte presenta el edificio, ya que es importante para la correcta incorporación de la iluminación natural. En nuestro caso es de 22.5° (figura 35).

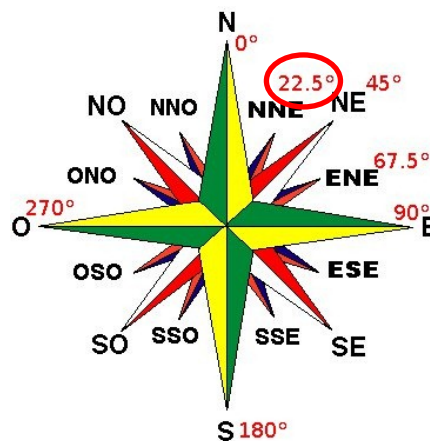


Figura 35. Orientación Edificio Este.

Una vez construido el modelo, debemos ajustar sus parámetros para que los resultados de las simulaciones se correspondan lo más posible a la situación real.

Para ello se realizarán unas medidas del nivel de iluminación en la zona que se está estudiando, con un luxómetro analógico propiedad del propio hospital, como el de la figura 18, con diferentes escalas y calibrado de 0 a 200.000 lux.

Para obtener una mayor veracidad de los resultados, se realizarán medidas en diferentes situaciones de cielo, nublado, Despejado y parcialmente nublado (tabla 4).

Fecha	Estado de cielo	Hora
22/01/2014	Despejado	11:55
06/02/2014	Cubierto	10:15
13/02/2014	Parcialmente cubierto	10:45

Tabla 4. Mediciones realizadas



Análisis y mejora de la eficiencia energética del sistema de iluminación de los pasillos de circulación de un centro sanitario.



Es necesario realizar una mención a un aspecto importante, tanto las medidas como el ajuste de los parámetros del modelo se han realizado en una situación determinada: con los estores que tiene la cristalera, bajados en su totalidad, por lo que los resultados que se muestran son válidos para esa situación, que corresponde con la situación más desfavorable en cuanto a iluminación natural se refiere, debido a que cualquier elevación de los estores supone un aumento de dichos niveles de iluminación natural, cuando ésta se produce.

Tomando como base los valores medidos, se realizará un ajuste de los coeficientes de reflexión de las paredes, del suelo, techo, la opacidad, transmisión y reflexión de la cristalera, a fin de que se correspondan los datos medidos con los datos obtenidos en nuestra simulación. Con ese modelo ajustado será con el que luego simularemos diferentes estrategias de actuación.

4.2 Actuaciones preliminares sobre el sistema de iluminación.

Como se puede observar en la figura 34, la situación de las luminarias (puntos azules) no corresponde a un diseño equilibrado, ya que aparecen dos partes bien diferenciadas, por un lado, la parte izquierda, con un número mayor de luminarias y más juntas, por otro lado la derecha, con menor número de ellas. Esa diferenciación de zonas no es achacable a la utilización del espacio ya que todas las consultas están operativas. Además, se puede observar que no están distribuidas de manera simétrica, hay huecos que parece lógico que estuvieran ocupados por luminarias, pero no es así.

Tomando los valores de referencia de iluminación especificados en el apartado 2.5 del presente trabajo, se realiza una simulación de aporte solo de luz artificial, y se observa que con las luminarias actuales no se cumple el mínimo establecido. Esto se corrobora después con la medida del nivel de iluminación cuando no se produce aporte de luz natural, validando los resultados obtenidos en la simulación.

Por todo esto, hemos considerado necesario llevar a cabo una actuación previa consistente en una remodelación del sistema de iluminación: modificando la disposición de algunas luminarias, añadiendo nuevas unidades y aumentando su potencia.

Se elegirá una disposición de luminarias al “tresbolillo”, tal y como se muestra en la figura 36. Las luminarias marcadas con un círculo rojo son las

que se han modificado en cuanto a posición con respecto al diseño inicial, y con un círculo azul las que se han añadido a las ya existentes.

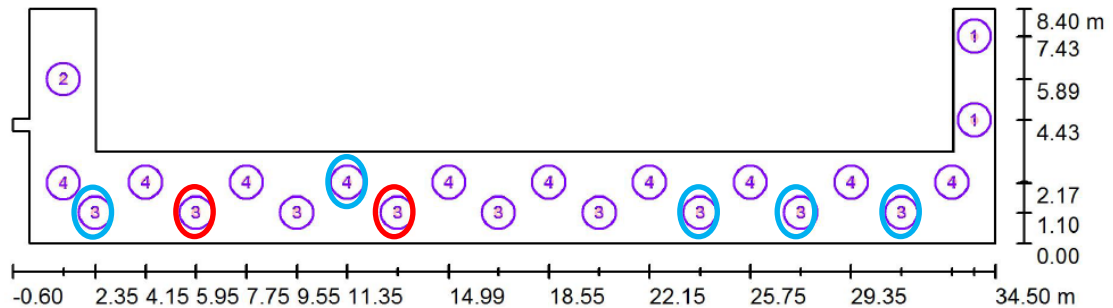


Figura 36. Ubicación de las luminarias.

Para poder conseguir los niveles mínimos, además de cambiar la disposición de las luminarias, se cambiarán también todas las luminarias existentes por otras de mayor potencia. Se utilizarán dos tipos de luminarias diferentes, de la marca Beghelli, “downlights” compactos de bajo consumo de 1x42W, modelo “Crater” y de 1x32W, modelo “Crater”.

Las luminarias de 1x42W se dispondrán en las posiciones marcadas como número 1 y número 4 en la figura 36, y las de 1x32W se colocarán en las que tienen un número 3 de la misma figura. La posición 2 pertenece a luminarias que forman parte del pasillo común ajeno a nuestro estudio.

Con estas luminarias es con las que se va a trabajar a partir de ahora, ya que no tiene sentido centrar los esfuerzos en un sistema de iluminación que resultaría innecesariamente complejo debido a un mal diseño inicial. Los datos pertenecientes a las luminarias se mostrarán en el Anexo 1.

Una vez hecho lo anterior y comprobado que los resultados teóricos obtenidos con el programa se ajustan a la situación que nos encontramos en cuanto a iluminación natural, podemos realizar la simulación de todas las posibles situaciones que son de nuestro interés.

El aspecto final de la escena es el mostrado en las figuras 37 a 39.

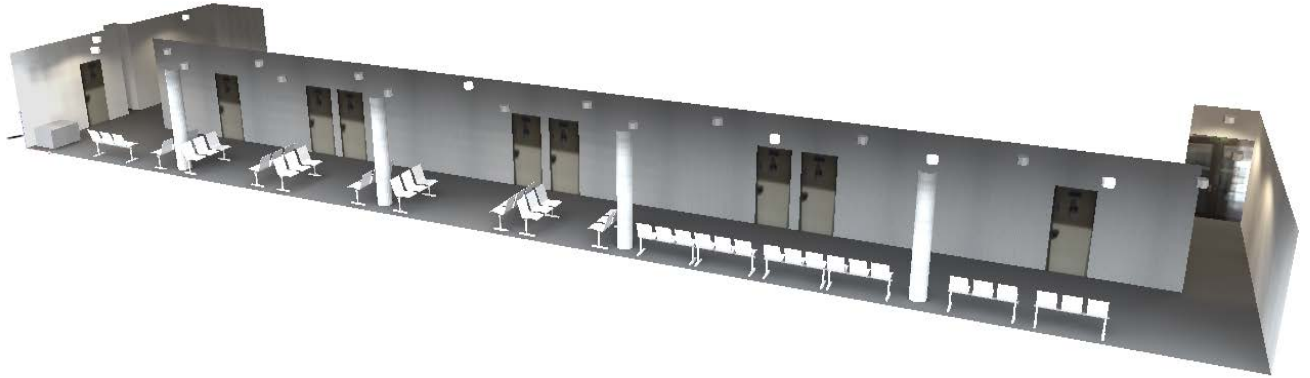


Figura 37. Vista 3D escena completa Dialux.



Figura 38. Vista 3D transversal.

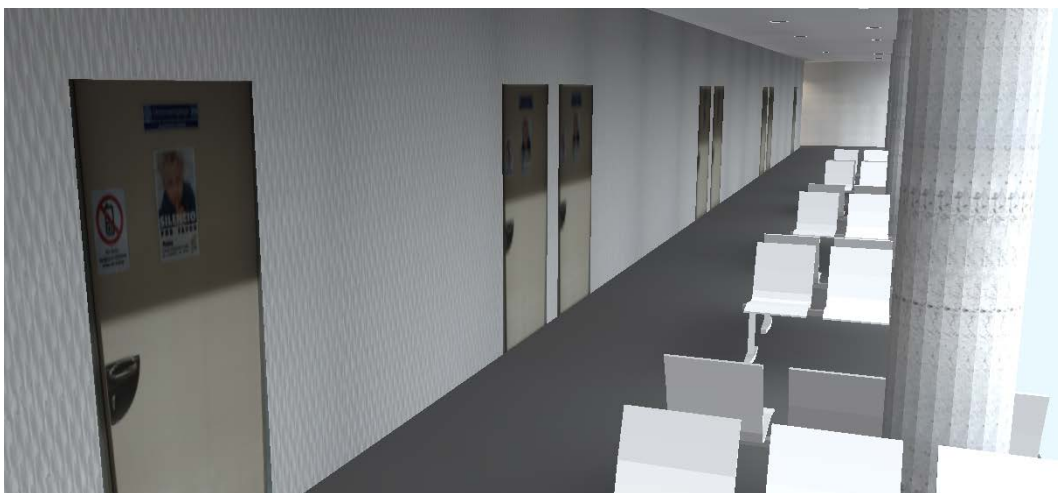


Figura 39. Vista 3D transversal.



4.3 Estrategias de control.

Partiendo de la modificación del diseño inicial justificada en el apartado anterior, y con el fin de realizar un adecuado aprovechamiento de la luz natural, nos tenemos que plantear las posibles estrategias a implementar. Podemos hablar de dos opciones principales.

Una, sería utilizar un control horario, en el que se establezca en cada situación, la combinación óptima entre el porcentaje adecuado de regulación de las luminarias y el aporte de luz natural a fin de conseguir los niveles mínimos exigidos.

La otra opción sería realizar un control continuo, basándose en la medida que nos proporciona una sonda de iluminación exterior y estableciendo una correlación entre la medida de la sonda y en nivel de iluminación interior.

De las dos opciones, desarrollaremos en profundidad la primera. En cuanto a la segunda, puede ser objeto de un estudio posterior.

4.4 Factores básicos a tener en cuenta en la simulación.

Para aplicar la estrategia prevista a nuestro escenario, se ha tenido en cuenta lo siguiente:

- **Datos estadísticos del comportamiento del clima.**

Es un factor importante, ya que necesitamos obtener información acerca del aporte de luz natural, ya que influirá en el encendido de la luz artificial. 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 5:



Día solar medio												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Día	17	16	16	15	15	11	17	16	15	15	14	10

Tabla 5. Día solar medio.

Así mismo, en dicha página encontramos también información sobre el número de horas diarias de sol para un día medio en el escenario elegido (tabla 6), que se muestran a continuación.

Promedio mensual de horas de sol diarias												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Promedio	9,56	10,6	11,9	13,3	14,5	15,1	14,8	13,8	12,5	11,1	9,91	9,25

Tabla 6. Promedio mensual de duración del día.

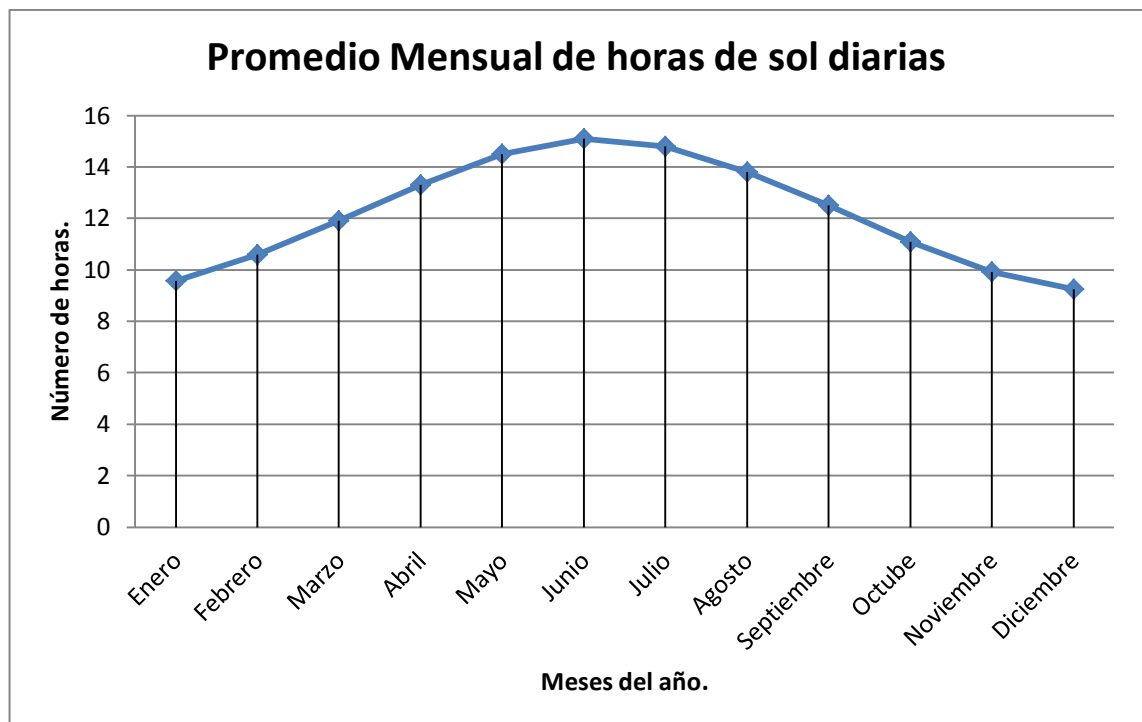


Gráfico 1. Promedio mensual de horas de sol diarias

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 7 a 9, que aparecen a continuación.



Análisis y mejora de la eficiencia energética del sistema de iluminación de los pasillos de circulación de un centro sanitario.



Frecuencia media mensual de cielo despejado, indicando la hora GTM (%)												
	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	31	31	41,3	55,1	45,1	34,8	24	26,8	-
<10%-18h	-	-	-	-	-	41,4	49,1	-	-	-	-	-
<10%-21h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 7. Frecuencia media mensual de cielo despejado

Frecuencia media mensual de cielo parcialmente nublado, indicando la hora GTM (%)												
	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	31,5	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	30,7	30,7	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 8. Frecuencia media mensual de cielo parcialmente nublado

Frecuencia media mensual de cielo nublado, indicando la hora GTM (%)												
	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	36,6	21,2	28,1	36,3	47,8	49,7	-
≥70%-18h	-	-	-	-	-	35,3	24,3	-	-	-	-	-
≥70%-21h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 9. Frecuencia media mensual de cielo nublado



- **Grupos de control de las luminarias.**

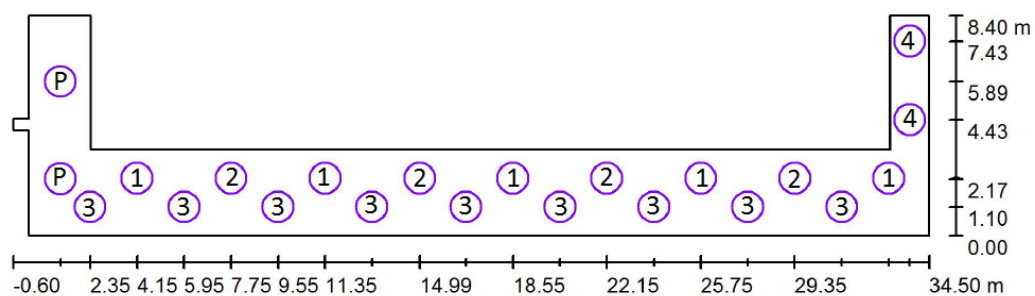
A partir de la nueva disposición de las luminarias, estableceremos los diferentes grupos de control.

Un grupo de control está formado por una o más luminarias en las que el encendido y regulación es común, si el encendido se produce por una señal de un autómata, la misma señal actuará sobre todas las luminarias que pertenezcan a ese grupo de control.

Podemos elegir cuantos grupos de control se desee, pero esto influirá en las entradas y salidas que tenga el equipo programable.

Con el fin de alcanzar el nivel de iluminación requerido con la menor potencia consumida posible, repartiremos las luminarias en 4 grupos de control. De esta manera se optimiza tanto el control, ya que podemos tener un control más preciso, como las entradas y salidas que deba tener el equipo programable, que influirá en su precio final.

Estos grupos estarán formados de la manera que se adjunta en la figura 40, correspondiendo los números a los diferentes grupos que hemos realizado



Escala 1 : 251

Figura 40. Luminarias de los grupos de control.

Teniendo todo lo anterior en cuenta, se realizarán simulaciones para cada día tipo de cada mes, variando la hora, y la disposición del encendido de los grupos de control, a fin de alcanzar los valores lumínicos establecidos en el apartado 2.5 de dicho trabajo.



4.5 Implantación de la estrategia en el sistema de control del HURH.

Tal y como ya se ha apuntado anteriormente, se quiere implementar esta estrategia en el sistema de control del HURH

Para ello se utilizará el equipo IQ3xcite, descrito en el apartado 3.1, pero necesitamos conocer sus características específicas para la aplicación que necesitamos, ya que solo se han descrito generalidades que presenta.

Se ha justificado en el apartado 3.1 el sistema de comunicación que utilizará el equipo, Ethernet, debido a las ventajas tanto económicas como técnicas que presenta respecto a la comunicación LAN, pero además, necesitamos saber que requerimientos tendrá en cuanto a la necesidad y tipo de entradas y salidas, es decir, la necesidad o no de módulos auxiliares.

Para establecer esto último hay que tener presente los requerimientos que los circuitos de alumbrado necesitan para su control. Por tanto, cada circuito necesita:

- 1 entrada digital.
- 1 salida digital.
- 1 entrada digital extra para el diferencial, (solo una por cuadro secundario).

A mayores necesitaremos una entrada analógica para la indicación de cada sonda de iluminación que se instale.

Resumiendo, en cuanto a entradas/salidas necesitamos: cinco entradas digitales, cuatro salidas digitales, y una entrada analógica.

Esto significa que se podría utilizar o bien, un módulo extra de 8 salidas digitales, y las entradas universales del equipo o bien, utilizar las entradas y salidas que el propio equipo presenta.

De cara a posibles actuaciones futuras similares a la que aquí se desarrolla, la opción de instalar módulos, es la más factible debido a que aumenta el número de entradas y salidas, con el mismo equipo.



4.5.1 Esquemas.

De cara a poder implantar esta estrategia, se muestran a continuación como ejemplo, una serie de diagramas de procesos en el que se muestran las acciones más relevantes que hay que tener en cuenta a la hora de programar, e incluso un ejemplo de cómo sería una posible programación de uno de los circuitos de alumbrado.

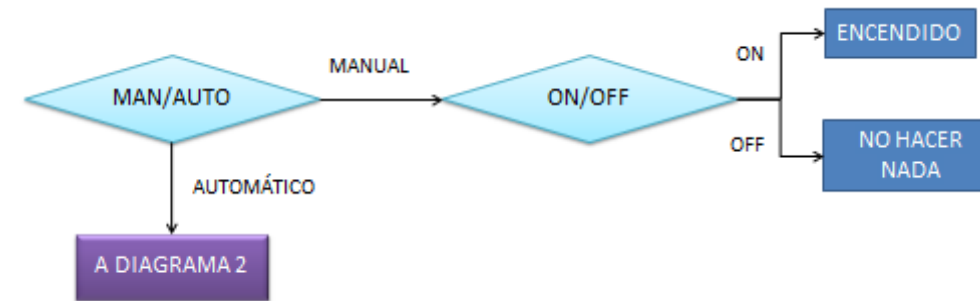


Diagrama 1. Control manual/automático

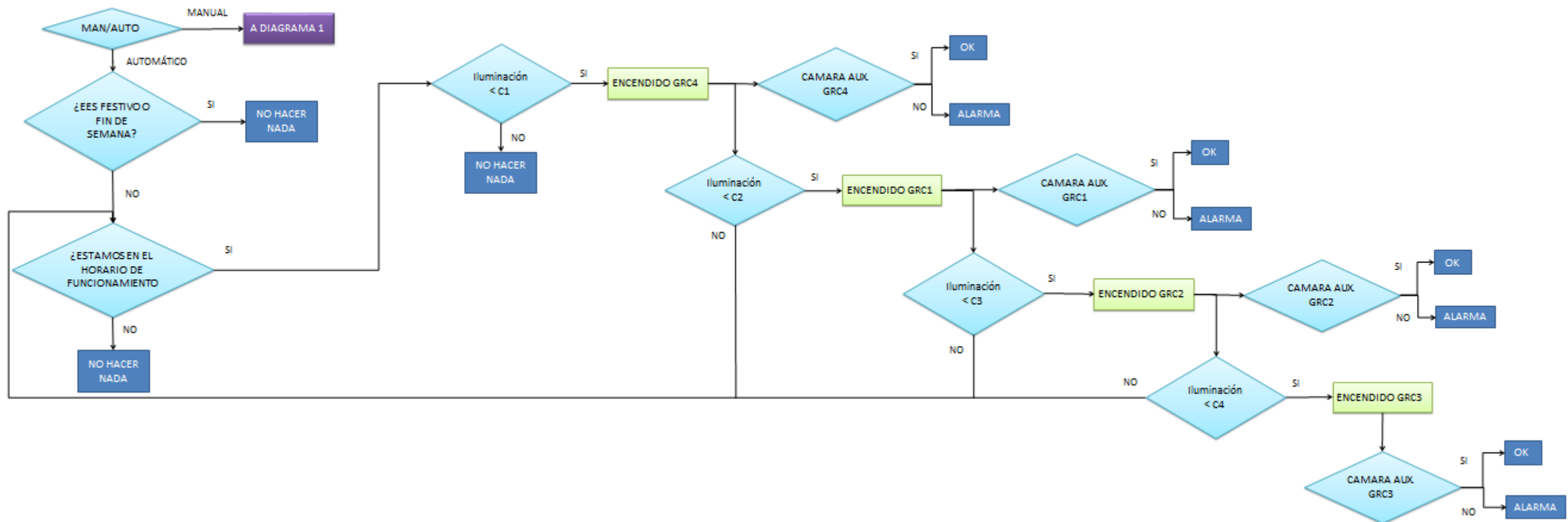


Diagrama 2. Ejemplo control continuo.

Los valores de las consignas utilizadas en el diagrama 2, son valores iniciales y para su correcto funcionamiento, serán ajustables debido a que las condiciones pueden variar de múltiples formas, como por ángulo de incidencia del sol durante el año, opacidad del cristal, crecimiento de los árboles, etc.

Los valores iniciales son:

C1: 1200 lux; C2: 900 lux; C3: 750 lux; C4: 450 lux.



Análisis y mejora de la eficiencia energética del sistema de iluminación de los pasillos de circulación de un centro sanitario.



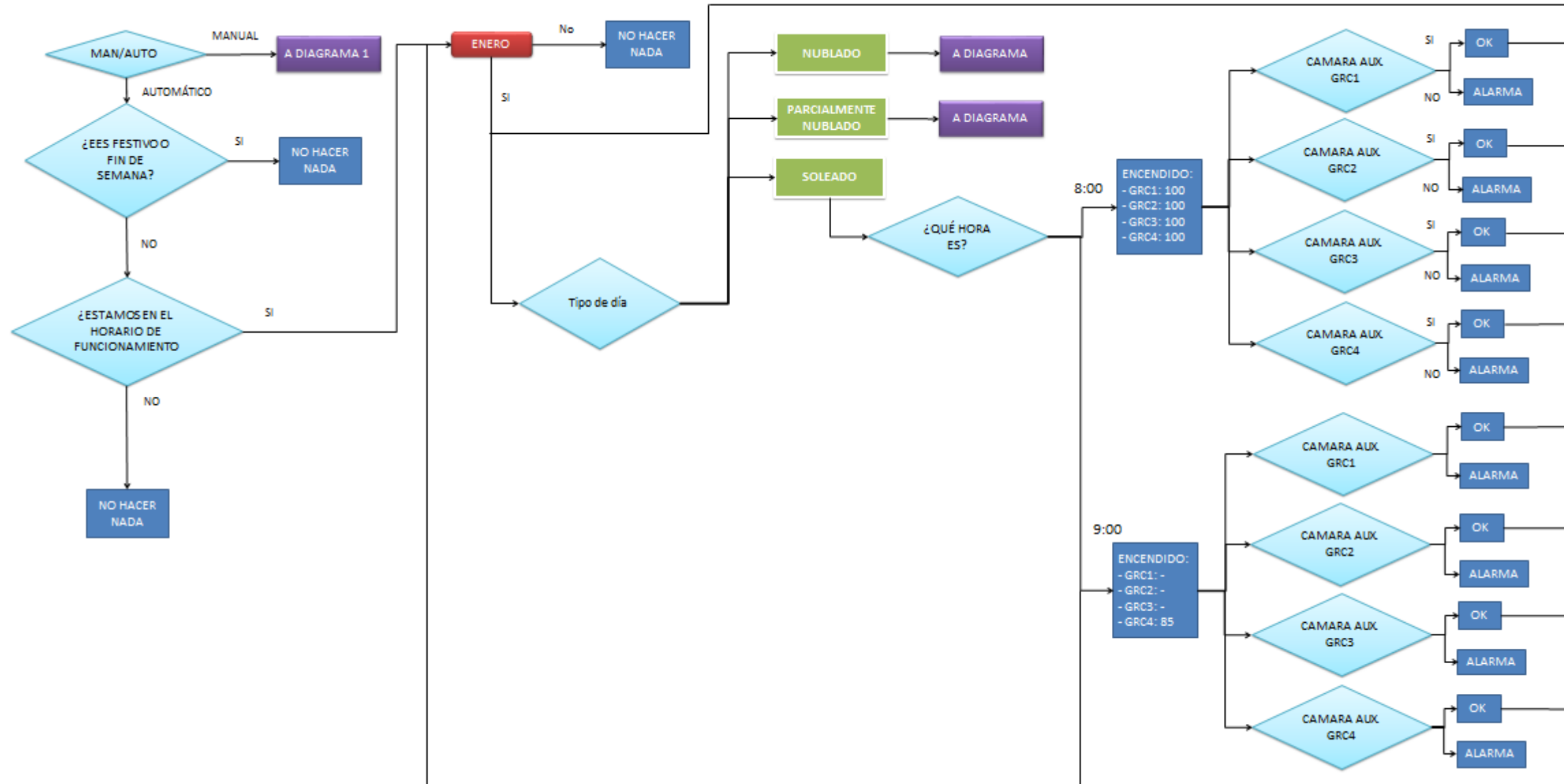


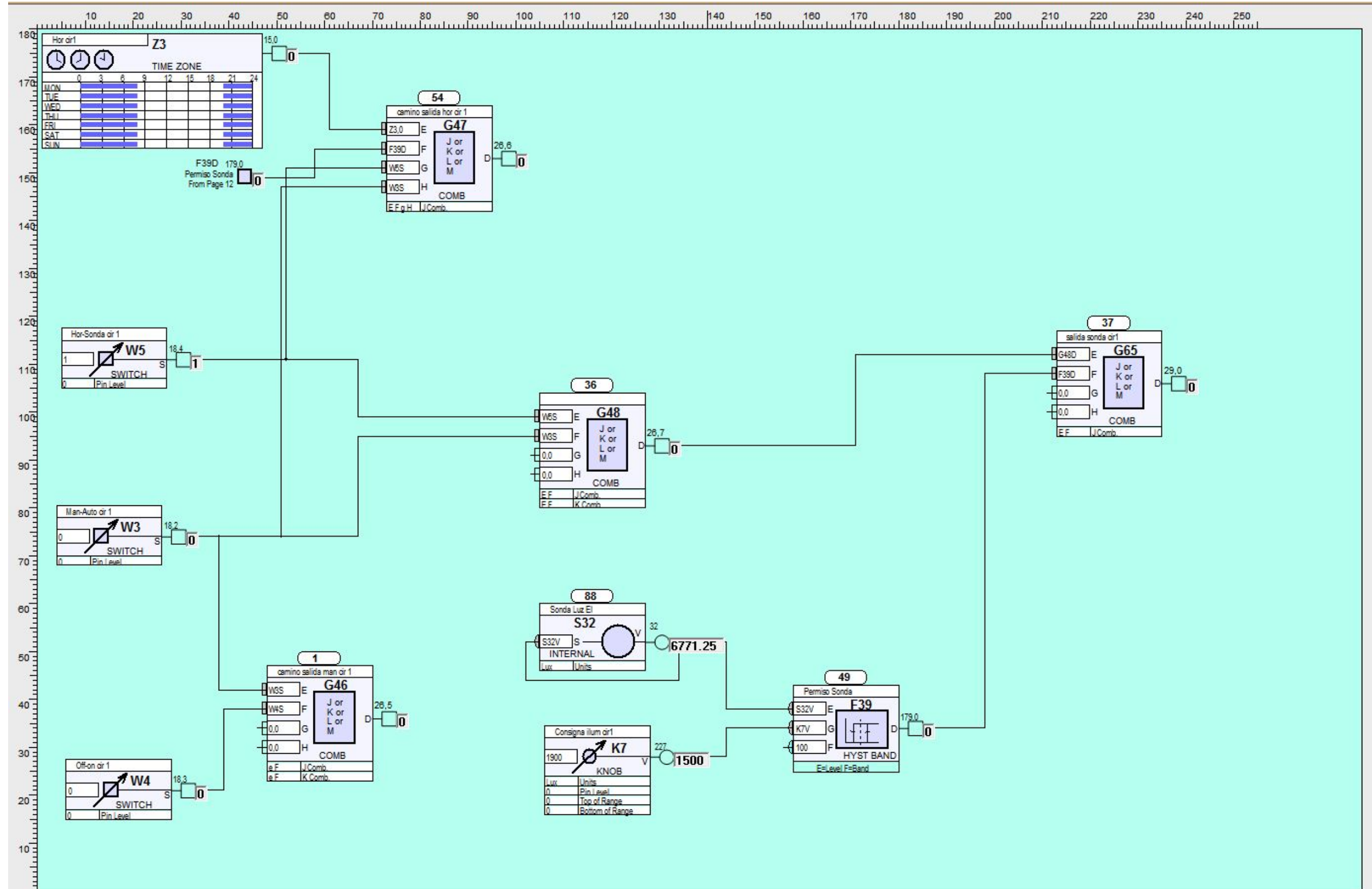
Diagrama 3. Ejemplo control horario.

En el diagrama 3 se muestra como ejemplo parte de cómo sería el control horario. El resto del diagrama sería igual, añadiendo las horas hasta completar el horario de funcionamiento y añadiendo el resto de meses del año. Los porcentajes de encendido son los mostrados en las tablas del apartado 5.1 de este trabajo.



Análisis y mejora de la eficiencia energética del sistema de iluminación de los pasillos de circulación de un centro sanitario.



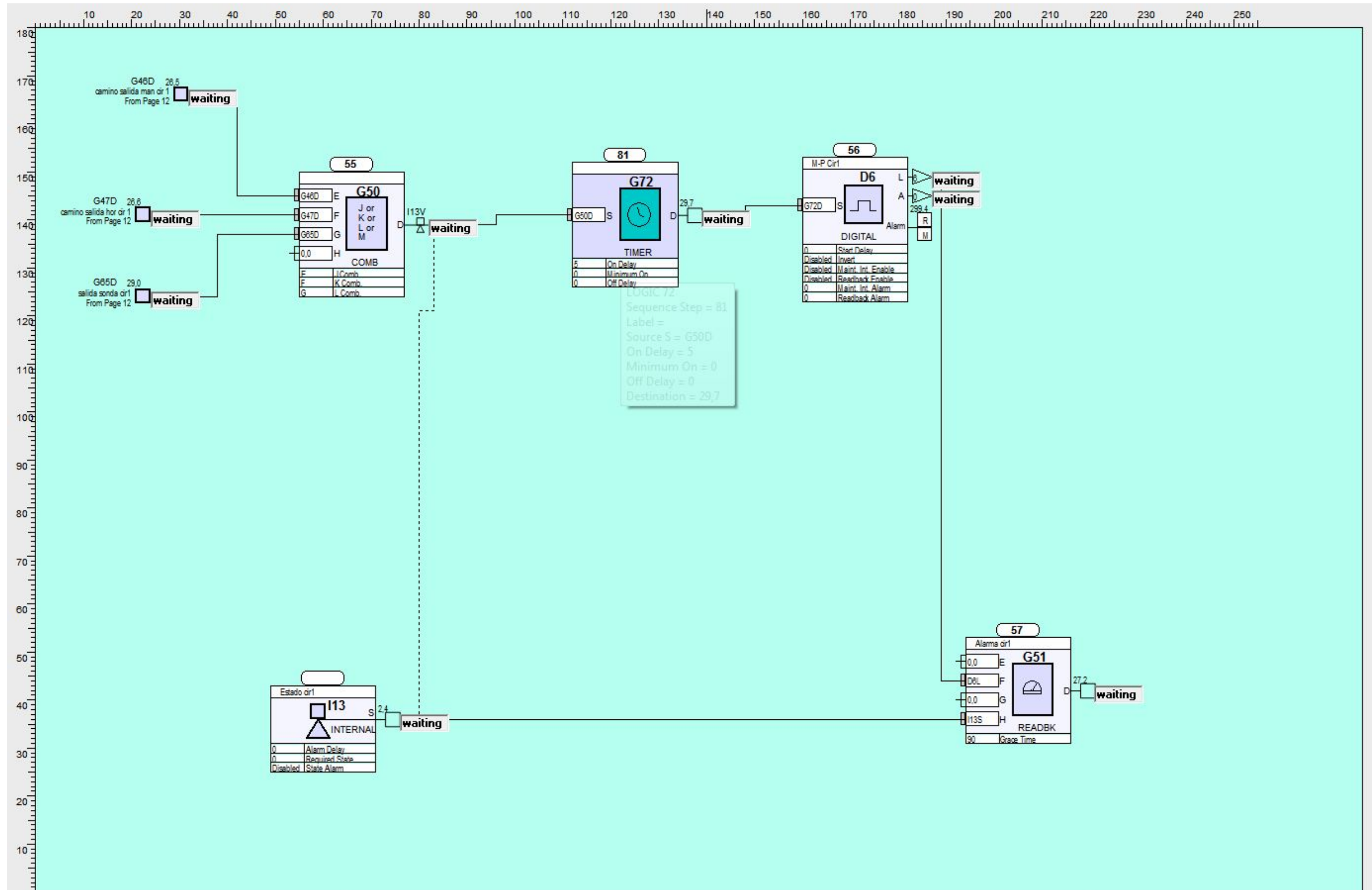


Esquema 1. Ejemplo programación horaria con sonda de iluminación de un circuito de alumbrado.



Análisis y mejora de la eficiencia energética del sistema de iluminación de los pasillos de circulación de un centro sanitario.





Esquema 2. Ejemplo programación alarmas y estado del sistema de un circuito de alumbrado.



Análisis y mejora de la eficiencia energética del sistema de iluminación de los pasillos de circulación de un centro sanitario.





Capítulo 5

Resultados.

Para nuestro escenario, hemos simulado para cada mes, el día medio meteorológico en el periodo de tiempo de funcionamiento del área a estudio, teniendo en cuenta la salida y la puesta de sol, esto es, el correspondiente a las horas de sol diarias de dicho mes, y para los tres estados de cielo: despejado, parcialmente nublado y nublado.

Debido a que se han realizado más de 500 simulaciones y la cantidad de información resultante es muy elevada, en este capítulo la sintetizamos en lo que consideramos más significativo.

En el Anexo 1, se muestra, a modo de ejemplo, información correspondiente a las características de las luminarias, los niveles de iluminación en nuestro escenario mediante isolíneas y colores falsos, así como el valor de eficiencia energética.

5.1 Regulación del sistema de iluminación.

Mostramos a continuación, las tablas 10 a 21, los porcentajes de regulación de los grupos de control anteriormente descritos para los tres estados de cielo y para las horas de funcionamiento diarias.



ENERO

Hora	Estado de cielo											
	Despejado				Parcialmente nublado				Nublado			
	GRC1 (%)	GRC2 (%)	GRC3 (%)	GRC4 (%)	GRC1 (%)	GRC2 (%)	GRC3 (%)	GRC4 (%)	GRC1 (%)	GRC2 (%)	GRC3 (%)	GRC4 (%)
8:00	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
9:00	-	-	-	85	90	90	30	100	90	90	30	100
10:00	-	-	-	30	-	-	-	85	-	50	-	95
11:00	-	-	-	-	-	-	-	65	25	25	-	95
12:00	-	-	-	-	-	-	-	60	-	-	-	95
13:00	-	-	-	-	-	-	-	60	-	-	-	95
14:00	-	-	-	30	-	-	-	65	-	-	-	95
15:00	-	-	-	40	-	-	-	75	30	30	-	100
16:00	-	-	-	65	20	20	0	90	55	55	25	100
17:00	80	75	20	90	95	95	40	100	95	95	40	100
18:00	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
19:00	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
20:00	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Tabla 10. Porcentaje de regulación, mes de Enero.



FEBRERO

Hora	Estado de cielo											
	Despejado				Parcialmente nublado				Nublado			
	GRC1 (%)	GRC2 (%)	GRC3 (%)	GRC4 (%)	GRC1 (%)	GRC2 (%)	GRC3 (%)	GRC4 (%)	GRC1 (%)	GRC2 (%)	GRC3 (%)	GRC4 (%)
8:00	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
9:00	60	60	30	100	85	85	75	100	85	85	75	100
10:00	-	-	-	75	-	20	-	95	70	70	-	100
11:00	-	-	-	20	-	-	-	70	30	30	-	95
12:00	-	-	-	-	-	-	-	45	-	-	-	95
13:00	-	-	-	-	-	-	-	40	-	-	-	95
14:00	-	-	-	10	-	-	-	40	-	-	-	95
15:00	-	-	-	25	-	-	-	50	-	-	-	95
16:00	-	-	-	40	-	-	-	65	30	35	-	95
17:00	-	-	-	65	60	60	25	809	65	65	25	95
18:00	85	85	70	85	95	95	75	95	95	95	75	95
19:00	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
20:00	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Tabla 1.1. Porcentaje de regulación, mes de Febrero.



MARZO

Hora	Estado de cielo											
	Despejado				Parcialmente nublado				Nublado			
	GRC1 (%)	GRC2 (%)	GRC3 (%)	GRC4 (%)	GRC1 (%)	GRC2 (%)	GRC3 (%)	GRC4 (%)	GRC1 (%)	GRC2 (%)	GRC3 (%)	GRC4 (%)
8:00	-	-	-	85	50	50	25	95	70	70	50	95
9:00	-	-	-	65	-	-	-	75	50	50	-	95
10:00	-	-	-	15	-	-	-	50	-	-	-	95
11:00	-	-	-	-	-	-	-	35	-	-	-	90
12:00	-	-	-	20	-	-	-	30	-	-	-	90
13:00	-	-	-	25	-	-	-	30	-	-	-	85
14:00	-	-	-	35	-	-	-	45	-	-	-	90
15:00	-	-	-	50	-	-	-	60	-	-	-	95
16:00	-	-	-	65	-	-	-	75	15	15	-	95
17:00	-	-	-	85	-	-	-	90	50	50	20	95
18:00	55	55	40	95	80	80	60	100	80	80	65	100
19:00	80	80	55	100	90	90	75	100	90	90	75	100
19:30	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
20:00	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Tabla 12. Porcentaje de regulación, mes de Marzo.



ABRIL

Hora	Estado de cielo											
	Despejado				Parcialmente nublado				Nublado			
	GRC1 (%)	GRC2 (%)	GRC3 (%)	GRC4 (%)	GRC1 (%)	GRC2 (%)	GRC3 (%)	GRC4 (%)	GRC1 (%)	GRC2 (%)	GRC3 (%)	GRC4 (%)
8:00	15	-	-	90	65	70	15	100	75	80	20	100
9:00	-	-	-	70	-	-	-	85	40	40	20	95
10:00	-	-	-	65	-	-	-	65	-	-	-	95
11:00	-	-	-	20	-	-	-	40	-	-	-	90
12:00	-	-	-	15	-	-	-	35	-	-	-	85
13:00	-	-	-	35	-	-	-	40	-	-	-	85
14:00	-	-	-	45	-	-	-	50	-	-	-	85
15:00	-	-	-	50	-	-	-	55	-	-	-	85
16:00	-	-	-	60	-	-	-	60	-	-	-	90
17:00	-	-	-	75	-	-	-	75	-	-	-	90
18:00	-	-	-	85	-	-	-	85	10	10	-	95
19:00	40	40	-	90	55	55	35	95	65	65	35	95
20:00	85	85	65	100	90	90	80	100	90	90	80	100

Tabla 13. Porcentaje de regulación, mes de Abril.



MAYO

Hora	Estado de cielo											
	Despejado				Parcialmente nublado				Nublado			
	GRC1 (%)	GRC2 (%)	GRC3 (%)	GRC4 (%)	GRC1 (%)	GRC2 (%)	GRC3 (%)	GRC4 (%)	GRC1 (%)	GRC2 (%)	GRC3 (%)	GRC4 (%)
8:00	-	-	-	85	-	-	-	95	-	-	-	100
9:00	-	-	-	65	-	-	75	-	20	25	-	95
10:00	-	-	-	50	-	-	55	-	-	-	-	95
11:00	-	-	-	35	-	-	45	-	-	-	-	85
12:00	-	-	-	30	-	-	50	-	-	-	-	85
13:00	-	-	-	35	-	-	60	-	-	-	-	85
14:00	-	-	-	45	-	-	65	-	-	-	-	85
15:00	-	-	-	65	-	-	65	-	-	-	-	85
16:00	-	-	-	70	-	-	70	-	-	-	-	85
17:00	-	-	-	75	-	-	75	-	-	-	-	90
18:00	-	-	-	80	-	-	80	-	-	-	-	95
19:00	-	-	-	90	10	10	95	-	50	50	-	95
20:00	50	50	20	95	80	80	100	40	80	80	35	100

Tabla 14. Porcentaje de regulación, mes de Mayo.



JUNIO

Hora	Estado de cielo											
	Despejado				Parcialmente nublado				Nublado			
	GRC1 (%)	GRC2 (%)	GRC3 (%)	GRC4 (%)	GRC1 (%)	GRC2 (%)	GRC3 (%)	GRC4 (%)	GRC1 (%)	GRC2 (%)	GRC3 (%)	GRC4 (%)
8:00	-	-	-	85	25	25	-	95	55	-	-	100
9:00	-	-	-	70	-	-	-	75	-	-	-	95
10:00	-	-	-	50	-	-	-	55	-	-	-	90
11:00	-	-	-	40	-	-	-	50	-	-	-	90
12:00	-	-	-	40	-	-	-	60	-	-	-	85
13:00	-	-	-	45	-	-	-	70	-	-	-	85
14:00	-	-	-	60	-	-	-	75	-	-	-	85
15:00	-	-	-	65	-	-	-	75	-	-	-	85
16:00	-	-	-	75	-	-	-	75	-	-	-	85
17:00	-	-	-	75	-	-	-	75	-	-	-	90
18:00	-	-	-	80	-	-	-	80	-	-	-	95
19:00	-	-	-	90	-	-	-	95	25	25	-	95
20:00	30	30	-	95	80	80	10	100	80	80	10	100

Tabla 15. Porcentaje de regulación, mes de Junio.



JULIO

Hora	Estado de cielo											
	Despejado				Parcialmente nublado				Nublado			
	GRC1 (%)	GRC2 (%)	GRC3 (%)	GRC4 (%)	GRC1 (%)	GRC2 (%)	GRC3 (%)	GRC4 (%)	GRC1 (%)	GRC2 (%)	GRC3 (%)	GRC4 (%)
8:00	-	-	-	85	-	-	-	95	-	-	50	100
9:00	-	-	-	70	-	-	80	-	-	-	-	95
10:00	-	-	-	55	-	-	60	-	-	-	-	90
11:00	-	-	-	40	-	-	50	-	-	-	-	85
12:00	-	-	-	35	-	-	55	-	-	-	-	85
13:00	-	-	-	40	-	-	65	-	-	-	-	85
14:00	-	-	-	60	-	-	70	-	-	-	-	85
15:00	-	-	-	65	-	-	70	-	-	-	-	85
16:00	-	-	-	70	-	-	70	-	-	-	-	90
17:00	-	-	-	75	-	-	75	-	-	-	-	90
18:00	-	-	-	80	-	-	80	-	15	20	-	95
19:00	-	-	-	85	-	-	90	-	25	25	-	95
20:00	35	35	-	95	75	75	20	100	75	75	20	100

Tabla 16. Porcentaje de regulación, mes de Julio.



AGOSTO

Hora	Estado de cielo											
	Despejado				Parcialmente nublado				Nublado			
	GRC1 (%)	GRC2 (%)	GRC3 (%)	GRC4 (%)	GRC1 (%)	GRC2 (%)	GRC3 (%)	GRC4 (%)	GRC1 (%)	GRC2 (%)	GRC3 (%)	GRC4 (%)
8:00	-	-	-	90	55	55	15	100	75	75	15	100
9:00	-	-	-	70	-	-	-	85	25	25	-	100
10:00	-	-	-	45	-	-	-	60	-	-	-	95
11:00	-	-	-	30	-	-	-	45	-	-	-	90
12:00	-	-	-	25	-	-	-	45	-	-	-	85
13:00	-	-	-	25	-	-	-	50	-	-	-	85
14:00	-	-	-	50	-	-	-	60	-	-	-	85
15:00	-	-	-	55	-	-	-	60	-	-	-	85
16:00	-	-	-	65	-	-	-	65	-	-	-	90
17:00	-	-	-	75	-	-	-	75	-	-	-	90
18:00	-	-	-	80	-	-	-	80	-	-	-	95
19:00	-	-	-	90	15	20	-	95	55	55	-	100
20:00	70	70	25	100	90	90	45	100	90	90	45	100

Tabla 17. Porcentaje de regulación, mes de Agosto.



SEPTIEMBRE

Hora	Estado de cielo											
	Despejado				Parcialmente nublado				Nublado			
	GRC1 (%)	GRC2 (%)	GRC3 (%)	GRC4 (%)	GRC1 (%)	GRC2 (%)	GRC3 (%)	GRC4 (%)	GRC1 (%)	GRC2 (%)	GRC3 (%)	GRC4 (%)
8:00	95	95	50	100	100	100	90	100	100	100	90	100
9:00	-	-	-	85	40	40	-	95	75	75	15	100
10:00	-	-	-	55	-	-	-	80	20	20	-	95
11:00	-	-	-	25	-	-	-	50	-	-	-	90
12:00	-	-	-	10	-	-	-	35	-	-	-	90
13:00	-	-	-	-	-	-	-	35	-	-	-	85
14:00	-	-	-	35	-	-	-	40	-	-	-	85
15:00	-	-	-	40	-	-	-	45	-	-	-	85
16:00	-	-	-	55	-	-	-	55	-	-	-	90
17:00	-	-	-	65	-	-	-	65	-	-	-	90
18:00	-	-	-	80	-	-	-	80	-	-	-	95
19:00	-	-	-	90	50	50	-	95	65	65	-	100
20:00	90	90	45	100	100	100	75	100	100	100	75	100
20:30	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Tabla 18. Porcentaje de regulación, mes de Septiembre.



OCTUBRE

Hora	Estado de cielo											
	Despejado				Parcialmente nublado				Nublado			
	GRC1 (%)	GRC2 (%)	GRC3 (%)	GRC4 (%)	GRC1 (%)	GRC2 (%)	GRC3 (%)	GRC4 (%)	GRC1 (%)	GRC2 (%)	GRC3 (%)	GRC4 (%)
8:00	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
8:30	85	85	50	100	85	85	50	100	100	100	90	100
9:00	15	-	-	95	80	80	40	100	90	90	45	100
10:00	-	-	-	60	-	-	-	85	55	55	-	100
11:00	-	-	-	20	-	-	-	65	-	-	-	95
12:00	-	-	-	-	-	-	-	40	-	-	-	90
13:00	-	-	-	10	-	-	-	30	-	-	-	90
14:00	-	-	-	20	-	-	-	35	-	-	-	90
15:00	-	-	-	30	-	-	-	45	-	-	-	90
16:00	-	-	-	45	-	-	-	60	-	-	-	90
17:00	-	-	-	65	-	-	-	80	-	-	-	95
18:00	-	-	-	85	-	-	-	90	60	60	-	100
19:00	65	65	35	95	90	90	50	100	90	90	50	100
19:30	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
20:00	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Tabla 19. Porcentaje de regulación, mes de Octubre.



NOVIEMBRE

Hora	Estado de cielo											
	Despejado				Parcialmente nublado				Nublado			
	GRC1 (%)	GRC2 (%)	GRC3 (%)	GRC4 (%)	GRC1 (%)	GRC2 (%)	GRC3 (%)	GRC4 (%)	GRC1 (%)	GRC2 (%)	GRC3 (%)	GRC4 (%)
8:00	80	80	40	100	100	100	75	100	100	100	80	100
9:00	-	-	-	80	60	60	-	95	80	80	30	100
10:00	-	-	-	25	-	-	-	80	50	50	-	95
11:00	-	-	-	-	-	-	-	60	10	10	-	95
12:00	-	-	-	-	-	-	-	50	-	-	-	95
13:00	-	-	-	10	-	-	-	50	-	-	-	90
14:00	-	-	-	25	-	-	-	60	-	-	-	95
15:00	-	-	-	40	-	-	-	75	10	10	-	95
16:00	-	-	-	65	-	-	-	90	50	50	-	95
17:00	25	25	-	90	80	80	40	95	90	90	40	95
18:00	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
19:00	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
20:00	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Tabla 20. Porcentaje de regulación, mes de Noviembre.



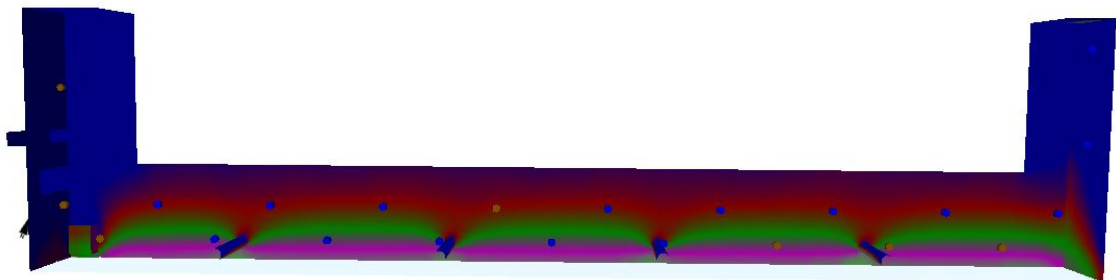
DICIEMBRE

Hora	Estado de cielo											
	Despejado				Parcialmente nublado				Nublado			
	GRC1 (%)	GRC2 (%)	GRC3 (%)	GRC4 (%)	GRC1 (%)	GRC2 (%)	GRC3 (%)	GRC4 (%)	GRC1 (%)	GRC2 (%)	GRC3 (%)	GRC4 (%)
8:00	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
8:35	60	65	20	95	100	100	80	100	100	100	80	100
9:00	-	-	-	85	85	85	25	100	85	85	40	100
10:00	-	-	-	30	-	-	-	90	65	65	-	100
11:00	-	-	-	-	-	-	-	70	30	30	-	95
12:00	-	-	-	-	-	-	-	60	10	10	-	95
13:00	-	-	-	-	-	-	-	60	-	-	-	95
14:00	-	-	-	25	-	-	-	70	15	15	-	95
15:00	-	-	-	45	-	-	-	80	45	45	-	95
16:00	-	-	-	70	40	40	-	95	70	70	20	100
17:00	70	70	25	95	100	100	55	100	100	100	55	100
17:45	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
18:00	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
19:00	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
20:00	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

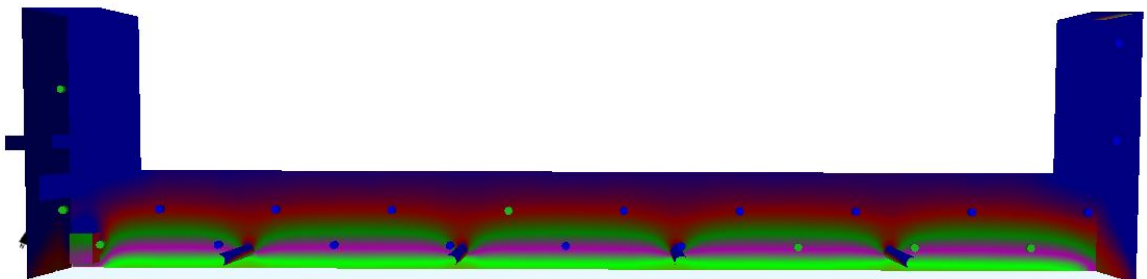
Tabla 21. Porcentaje de regulación, mes de Diciembre.

A modo de ejemplo se muestran unas representaciones, para las 17:00 horas del día 14 de Noviembre, del nivel de iluminación, aportado por la luz natural, por la regulación, y la suma de ambas opciones (figuras 41,42 y 43), a nivel de suelo, mediante colores falsos.

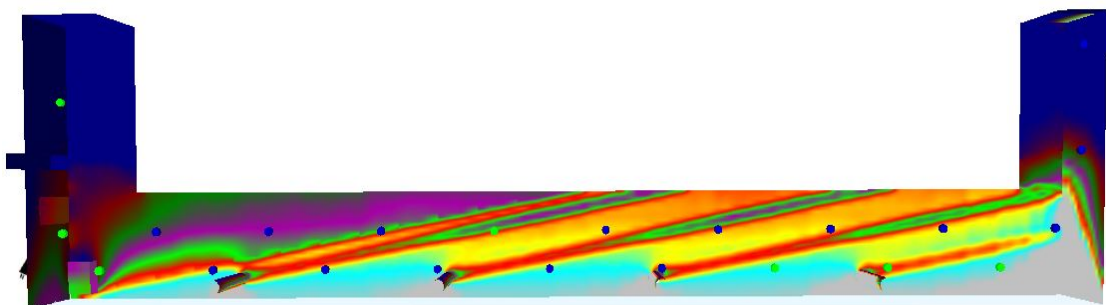
LUZ NATURAL



Estado de cielo: Nublado



Estado de cielo: Parcialmente Nublado



Estado de cielo: Soleado

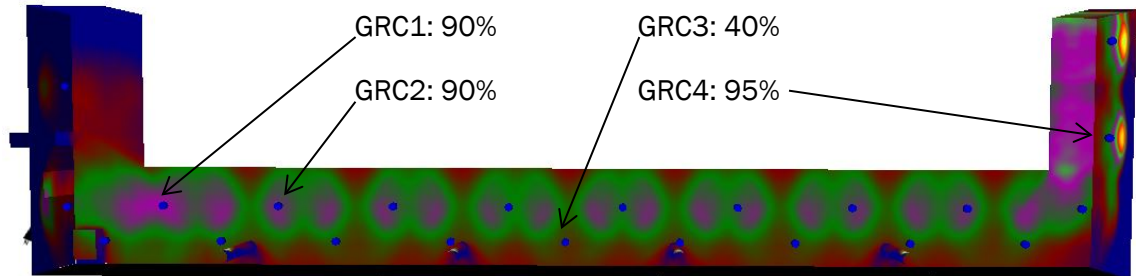


50 100 150 200 250 300 400 500 600

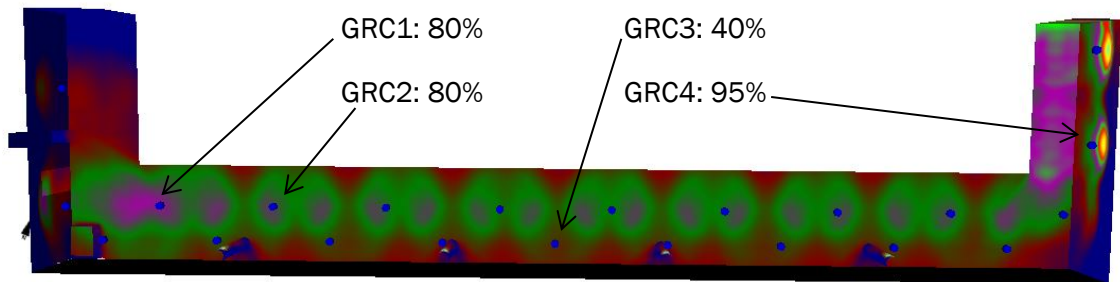
lx

Figura 41. Aporte de luz natural, el 14 de Noviembre a las 17:00 horas.

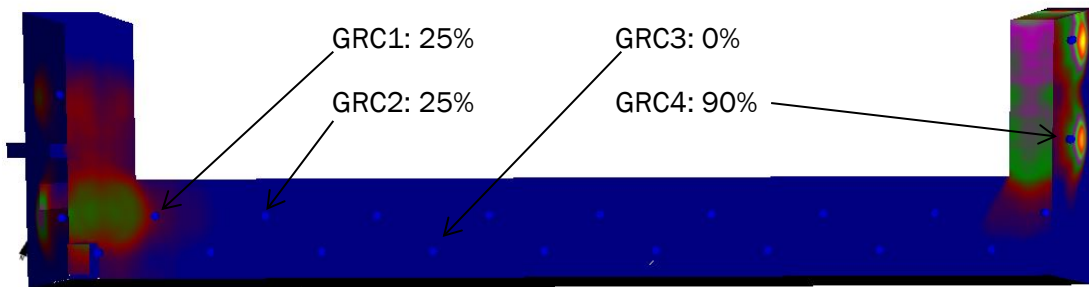
LUZ ARTIFICIAL



Estado de cielo: Nublado



Estado de cielo: Parcialmente Nublado



Estado de cielo: Soleado

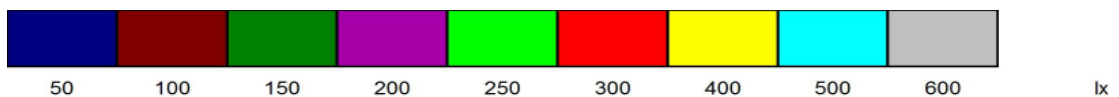
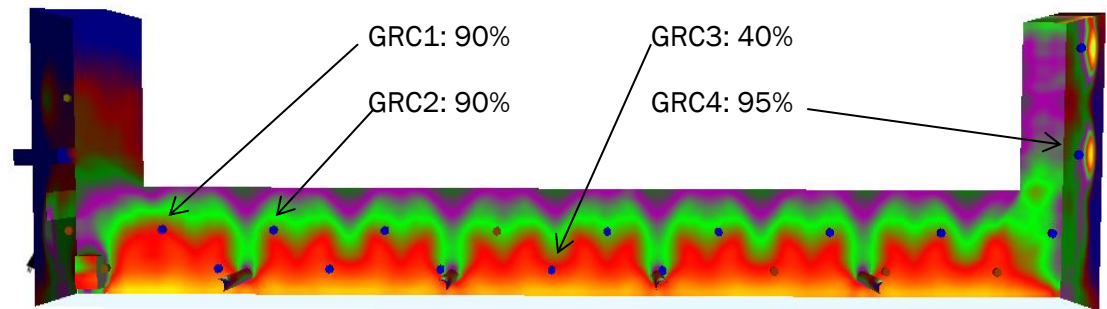
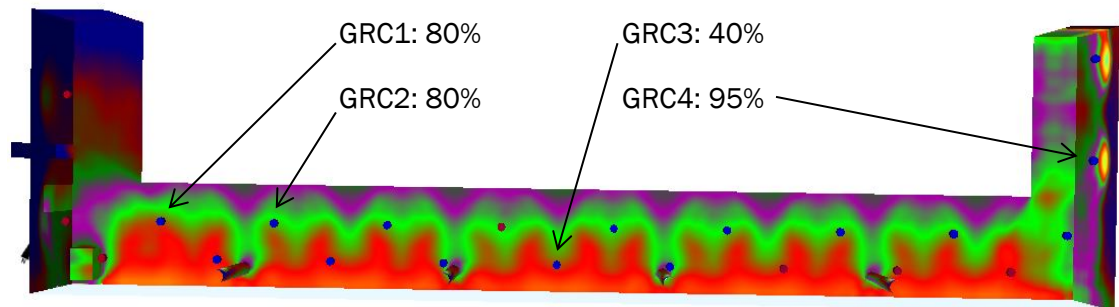


Figura 42. Aporte de luz artificial, el 14 de Noviembre a las 17:00 horas.

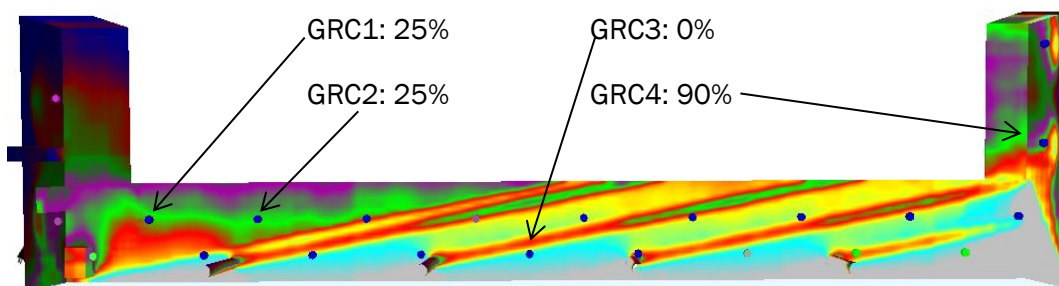
LUZ NATURAL + LUZ ARTIFICIAL



Estado de cielo: Nublado



Estado de cielo: Parcialmente Nublado



Estado de cielo: Soleado

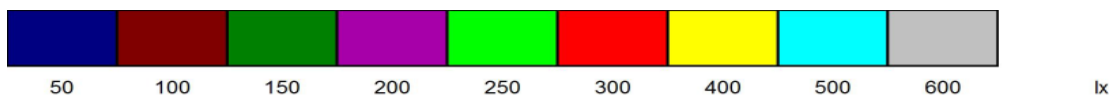


Figura 43. Aporte de luz natural y artificial, el 14 de Noviembre a las 17:00 horas.



5.2 Eficiencia energética de la instalación de iluminación.

Los valores de eficiencia energética, para todos los casos estudiados, se muestran en las tablas 22 a 33.

Cuando toda la iluminación proviene del aporte de luz natural, no procede hablar de valor de eficiencia energética, por tanto, en esos casos no se mostrará ningún valor en la celda correspondiente.

ENERO

Hora	Estado de cielo		
	Despejado	Parcialmente nublado	Nublado
	VEEI	VEEI	VEEI
8:00	3,28	3,28	3,28
9:00	0,55	2,30	2,63
10:00	0,11	0,47	1,77
11:00	-	0,27	1,53
12:00	-	0,21	0,58
13:00	-	0,21	0,56
14:00	0,02	0,25	0,59
15:00	0,03	0,37	1,58
16:00	0,63	1,65	2,34
17:00	2,11	2,98	2,82
18:00	3,28	3,28	3,28
19:00	3,28	3,28	3,28
20:00	3,28	3,28	3,28

Tabla 22. VEE del sistema de iluminación con control horario, Enero.



FEBRERO

Hora	Estado de cielo		
	Despejado	Parcialmente nublado	Nublado
	VEEI	VEEI	VEEI
8:00	3,28	3,28	3,28
8:30	2,62	3,01	3,19
9:00	0,24	0,86	1,83
10:00	0,04	0,18	1,52
11:00	-	0,11	0,53
12:00	-	0,09	0,48
13:00	0,02	0,09	0,46
14:00	0,03	0,11	0,48
15:00	0,04	0,15	0,54
16:00	0,08	0,26	1,55
17:00	0,31	2,43	2,43
18:00	2,94	3,16	3,28
19:00	3,28	3,28	3,28
20:00	3,28	3,28	3,28

Tabla 23. VEE del sistema de iluminación con control horario, Febrero.

MARZO

Hora	Estado de cielo		
	Despejado	Parcialmente nublado	Nublado
	VEEI	VEEI	VEEI
8:00	0,15	2,34	2,45
9:00	0,17	0,20	1,32
10:00	0,03	0,11	0,33
11:00	-	0,08	0,28
12:00	0,02	0,07	0,25
13:00	0,02	0,08	0,25
14:00	0,03	0,09	0,26
15:00	0,05	0,12	0,29
16:00	0,11	0,18	1,19
17:00	0,35	0,37	2,15
18:00	2,55	2,59	2,63
19:00	2,76	3,03	3,03
19:30	3,28	3,28	3,28
20:00	3,28	3,28	3,28

Tabla 24. VEE del sistema de iluminación con control horario, Marzo.



ABRIL

Hora	Estado de cielo		
	Despejado	Parcialmente nublado	Nublado
	VEEI	VEEI	VEEI
8:00	0,50	2,48	2,48
9:00	0,06	0,25	2,09
10:00	0,06	0,12	0,33
11:00	0,02	0,09	0,27
12:00	0,02	0,08	0,23
13:00	0,02	0,08	0,22
14:00	0,03	0,09	0,21
15:00	0,04	0,10	0,22
16:00	0,08	0,12	0,25
17:00	0,16	0,25	0,30
18:00	0,27	0,33	1,13
19:00	1,54	2,32	2,44
20:00	2,93	3,03	3,28

Tabla 25. VEE del sistema de iluminación con control horario, Abril.

MAYO

Hora	Estado de cielo		
	Despejado	Parcialmente nublado	Nublado
	VEEI	VEEI	VEEI
8:00	0,13	0,35	1,37
9:00	0,05	0,15	1,23
10:00	0,03	0,09	0,33
11:00	0,03	0,07	0,24
12:00	0,02	0,07	0,21
13:00	0,03	0,09	0,20
14:00	0,03	0,10	0,20
15:00	0,05	0,10	0,21
16:00	0,11	0,15	0,23
17:00	0,13	0,22	0,27
18:00	0,20	0,27	0,29
19:00	0,36	1,24	1,28
20:00	2,49	2,53	2,84

Tabla 26. VEE del sistema de iluminación con control horario, Mayo.



JUNIO

Hora	Estado de cielo		
	Despejado	Parcialmente nublado	Nublado
	VEEI	VEEI	VEEI
8:00	0,15	0,98	1,27
9:00	0,06	0,14	0,30
10:00	0,04	0,09	0,23
11:00	0,03	0,08	0,19
12:00	0,03	0,08	0,17
13:00	0,03	0,10	0,16
14:00	0,04	0,11	0,16
15:00	0,06	0,12	0,17
16:00	0,09	0,12	0,18
17:00	0,12	0,13	0,21
18:00	0,16	0,18	0,26
19:00	0,33	0,32	1,20
20:00	1,58	2,30	2,61

Tabla 27. VEE del sistema de iluminación con control horario, Junio.

JULIO

Hora	Estado de cielo		
	Despejado	Parcialmente nublado	Nublado
	VEEI	VEEI	VEEI
8:00	0,16	0,36	2,08
9:00	0,06	0,15	0,32
10:00	0,04	0,09	0,24
11:00	0,03	0,08	0,20
12:00	0,03	0,08	0,18
13:00	0,03	0,09	0,16
14:00	0,03	0,11	0,16
15:00	0,05	0,11	0,17
16:00	0,08	0,11	0,18
17:00	0,11	0,13	0,21
18:00	0,18	0,26	1,20
19:00	0,33	0,31	1,19
20:00	1,55	2,26	2,55

Tabla 28. VEE del sistema de iluminación con control horario, Julio.



AGOSTO

Hora	Estado de cielo		
	Despejado	Parcialmente nublado	Nublado
	VEEI	VEEI	VEEI
8:00	0,17	2,22	2,31
9:00	0,05	0,19	1,18
10:00	0,03	0,10	0,26
11:00	0,02	0,07	0,21
12:00	0,02	0,07	0,19
13:00	0,02	0,07	0,17
14:00	0,03	0,08	0,17
15:00	0,04	0,09	0,18
16:00	0,08	0,10	0,20
17:00	0,13	0,20	0,23
18:00	0,20	0,26	0,26
19:00	0,37	1,30	1,34
20:00	2,51	2,51	2,89

Tabla 29. VEE del sistema de iluminación con control horario, Agosto.

SEPTIEMBRE

Hora	Estado de cielo		
	Despejado	Parcialmente nublado	Nublado
	VEEI	VEEI	VEEI
8:00	2,80	2,83	2,81
9:00	0,12	1,43	2,28
10:00	0,04	0,17	1,19
11:00	0,02	0,09	0,27
12:00	0,02	0,07	0,22
13:00	0,01	0,06	0,20
14:00	0,02	0,06	0,19
15:00	0,02	0,07	0,20
16:00	0,04	0,09	0,21
17:00	0,07	0,12	0,25
18:00	0,20	0,24	0,33
19:00	0,39	1,39	1,41
20:00	2,54	2,59	2,80
20:30	3,28	3,28	3,28

Tabla 30. VEE del sistema de iluminación con control horario, Septiembre.



OCTUBRE

Hora	Estado de cielo		
	Despejado	Parcialmente nublado	Nublado
	VEEI	VEEI	VEEI
8:00	3,28	3,28	3,28
8:30	2,59	2,81	2,81
9:00	0,76	2,62	2,74
10:00	0,06	0,26	1,35
11:00	0,03	0,12	0,33
12:00	-	0,08	0,26
13:00	0,02	0,07	0,24
14:00	0,02	0,07	0,23
15:00	0,02	0,08	0,24
16:00	0,03	0,11	0,27
17:00	0,06	0,17	0,33
18:00	0,22	0,38	1,37
19:00	2,48	2,63	2,89
19:30	3,28	3,28	3,28
20:00	3,28	3,28	3,28

Tabla 31. VEE del sistema de iluminación con control horario, Octubre.

NOVIEMBRE

Hora	Estado de cielo		
	Despejado	Parcialmente nublado	Nublado
	VEEI	VEEI	VEEI
8:00	2,73	2,86	2,94
9:00	0,15	1,60	2,42
10:00	0,05	0,22	1,31
11:00	-	0,13	1,16
12:00	-	0,10	0,30
13:00	0,02	0,10	0,29
14:00	0,03	0,11	0,30
15:00	0,04	0,16	1,18
16:00	0,08	0,30	1,36
17:00	1,09	2,41	2,51
18:00	3,28	3,28	3,28
19:00	3,28	3,28	3,28
20:00	3,28	3,28	3,28

Tabla 32. VEE del sistema de iluminación con control horario, Noviembre.



DICIEMBRE

Hora	Estado de cielo		
	Despejado	Parcialmente nublado	Nublado
	VEEI	VEEI	VEEI
8:00	3,28	3,28	3,28
8:35	2,70	2,72	2,77
9:00	0,26	2,62	2,64
10:00	0,06	0,30	1,42
11:00	-	0,17	1,25
12:00	-	0,13	1,16
13:00	-	0,12	0,33
14:00	0,03	0,15	1,18
15:00	0,05	0,23	1,27
16:00	0,13	1,44	2,26
17:00	2,57	2,73	2,92
17:45	3,28	3,28	3,28
18:00	3,28	3,28	3,28
19:00	3,28	3,28	3,28
20:00	3,28	3,28	3,28

Tabla 33. VEE del sistema de iluminación con control horario, Diciembre.

5.3 Consumos de potencia y energía en la zona de estudio.

A la hora de calcular el consumo de energía de la zona en estudio se utilizará la hipótesis de que todas las luminarias iguales, presentan los mismos consumos.

En la tabla 34 se muestran los consumos teóricos de las luminarias que se van a utilizar:

Tipo de luminaria	Potencia teórica(W)
Downlight "Crater"	32
Downlight "Crater"	42

Tabla 34. Consumos teóricos de las luminarias.



Análisis y mejora de la eficiencia energética del sistema de iluminación de los pasillos de circulación de un centro sanitario.



En la situación que consideramos como inicial, suponemos que todas las luminarias se encuentren funcionando, lo que es muy posible debido a la presencia de los pulsadores, como ya se ha comentado en el apartado 1.2 del presente trabajo.

Esta situación supone un consumo de energía elevado, sin obtener un beneficio apreciable debido a que cuando se produce aporte de luz natural, éste es mucho mayor que el aporte de las luminarias y no se nota si se encuentran encendidas o apagadas. Además podría darse la situación de que se quedaran encendidas toda la noche, con lo que se aumentaría el consumo de manera innecesaria, ya que la zona no tiene ocupación nocturna.

La potencia y energía consumida en esta situación inicial sería la mostrada en la tabla 35.

	GRC1	GRC2	GRC3	GRC4
Tipo de luminaria	Downlight	Downlight	Downlight	Downlight
Nº de luminarias	5	4	9	2
Potencia de luminaria (W)	42	42	32	42
Nº horas de funcionamiento diario, mensual	24	24	24	24
Energía total diaria (kWh)	5,04	4,03	6,91	2,02

Tabla 35. Situación inicial.

La situación propuesta en este trabajo, se basa en la estrategia de control horaria. Se observa claramente que solo se produciría aporte de luz artificial para cumplir con los valores mínimos establecido, no siendo posible, salvo fallo, que se queden encendidas fuera del horario de funcionamiento.

Si nos basamos en las tablas de porcentajes obtenidas, y utilizamos la potencia que tiene cada grupo de control, obtendremos la potencia total durante las diferentes horas, y por tanto, obtendríamos la energía total consumida durante el horario de funcionamiento en cada estado de cielo (despejado, nublado y parcialmente nublado).

A partir de esa potencia consumida, y basándonos en la información obtenida de la NASA sobre la probabilidad del tipo de cielo, podemos obtener la potencia/energía consumida del día medio mensual. Para ello, se realizará una media ponderada de la potencia total consumida por horas para cada estado de cielo y la probabilidad de que se produzca.



Análisis y mejora de la eficiencia energética del sistema de iluminación de los pasillos de circulación de un centro sanitario.



Estos valores de potencia consumida por horas se muestran, en las tablas 36 a 47, para cada grupo de control.

Enero

	Potencia consumida (W)			
	GRC1	GRC2	GRC3	GRC4
8:00	210	168	288	84
9:00	145	116	66	81
10:00	53	42	-	65
11:00	26	21	-	54
12:00	-	-	-	55
13:00	-	-	-	55
14:00	-	-	-	61
15:00	29	23	-	66
16:00	66	53	33	75
17:00	192	152	102	82
18:00	210	168	288	84
19:00	210	168	288	84
20:00	210	168	288	84

Tabla 36. Potencia diaria consumida por horas, mes de Enero

Febrero

	Potencia consumida (W)			
	GRC1	GRC2	GRC3	GRC4
8:00	189	151	239	84
9:00	73	68	-	78
10:00	31	25	-	61
11:00	-	-	-	51
12:00	-	-	-	50
13:00	-	-	-	52
14:00	-	-	-	57
15:00	-	-	-	62
16:00	30	28	-	70
17:00	102	81	55	78
18:00	194	156	212	84
19:00	210	168	288	84
20:00	210	168	288	84

Tabla 37. Potencia diaria consumida por horas, mes de Febrero



Marzo

	Potencia consumida (W)			
	GRC1	GRC2	GRC3	GRC4
8:00	96	77	86	77
9:00	50	40	-	69
10:00	-	-	-	52
11:00	-	-	-	43
12:00	-	-	-	46
13:00	-	-	-	46
14:00	-	-	-	53
15:00	-	-	-	61
16:00	14	11	-	68
17:00	48	38	26	76
18:00	151	121	161	83
19:00	196	157	243	84
20:00	210	168	288	84

Tabla 38. Potencia diaria consumida por horas, mes de Marzo

Abril

	Potencia consumida (W)			
	GRC1	GRC2	GRC3	GRC4
8:00	116	92	37	82
9:00	39	32	27	72
10:00	-	-	-	66
11:00	-	-	-	49
12:00	-	-	-	43
13:00	-	-	-	50
14:00	-	-	-	55
15:00	-	-	-	57
16:00	-	-	-	62
17:00	-	-	-	69
18:00	10	8	-	75
19:00	116	93	69	78
20:00	186	148	217	84

Tabla 39. Potencia diaria consumida por horas, mes de Abril



Mayo

	Potencia consumida (W)			
	GRC1	GRC2	GRC3	GRC4
8:00	54	47	-	79
9:00	20	20	-	69
10:00	-	-	-	61
11:00	-	-	-	52
12:00	-	-	-	50
13:00	-	-	-	53
14:00	-	-	-	57
15:00	-	-	-	63
16:00	-	-	-	65
17:00	-	-	-	69
18:00	-	-	-	73
19:00	55	44	-	78
20:00	148	119	90	83

Tabla 40. Potencia diaria consumida por horas, mes de Mayo

Junio

	Potencia consumida (W)			
	GRC1	GRC2	GRC3	GRC4
8:00	62	50	-	79
9:00	-	-	-	68
10:00	-	-	-	56
11:00	-	-	-	52
12:00	-	-	-	50
13:00	-	-	-	54
14:00	-	-	-	60
15:00	-	-	-	62
16:00	-	-	-	66
17:00	-	-	-	67
18:00	-	-	-	72
19:00	19	15	-	78
20:00	124	99	17	82

Tabla 41. Potencia diaria consumida por horas, mes de Junio



Julio

	Potencia consumida (W)			
	GRC1	GRC2	GRC3	GRC4
8:00	25	20	10	77
9:00	-	-	-	66
10:00	-	-	-	55
11:00	-	-	-	45
12:00	-	-	-	42
13:00	-	-	-	46
14:00	-	-	-	57
15:00	-	-	-	59
16:00	-	-	-	62
17:00	-	-	-	66
18:00	8	8	-	70
19:00	13	10	-	74
20:00	116	93	29	82

Tabla 42. Potencia diaria consumida por horas, mes de Julio

Agosto

	Potencia consumida (W)			
	GRC1	GRC2	GRC3	GRC4
8:00	65	52	21	80
9:00	16	13	-	70
10:00	-	-	-	54
11:00	-	-	-	44
12:00	-	-	-	38
13:00	-	-	-	39
14:00	-	-	-	52
15:00	-	-	-	54
16:00	-	-	-	60
17:00	-	-	-	66
18:00	-	-	-	71
19:00	41	35	-	79
20:00	170	136	103	84

Tabla 43. Potencia diaria consumida por horas, mes de Agosto



Septiembre

	Potencia consumida (W)			
	GRC1	GRC2	GRC3	GRC4
8:00	207	166	227	84
9:00	91	73	18	79
10:00	17	14	-	67
11:00	-	-	-	50
12:00	-	-	-	42
13:00	-	-	-	38
14:00	-	-	-	48
15:00	-	-	-	48
16:00	-	-	-	57
17:00	-	-	-	62
18:00	-	-	-	72
19:00	80	64	-	80
20:00	206	165	237	84

Tabla 44. Potencia diaria consumida por horas, mes de Septiembre

Octubre

	Potencia consumida (W)			
	GRC1	GRC2	GRC3	GRC4
8:00	202	161	244	84
9:00	150	115	91	83
10:00	56	45	-	73
11:00	-	-	-	59
12:00	-	-	-	48
13:00	-	-	-	47
14:00	-	-	-	50
15:00	-	-	-	53
16:00	-	-	-	59
17:00	-	-	-	70
18:00	60	48	-	79
19:00	193	154	211	83
20:00	210	168	288	84

Tabla 45. Potencia diaria consumida por horas, mes de Octubre



Noviembre

	Potencia consumida (W)			
	GRC1	GRC2	GRC3	GRC4
8:00	201	161	203	84
9:00	122	98	46	79
10:00	56	45	-	64
11:00	11	9	-	56
12:00	-	-	-	53
13:00	-	-	-	53
14:00	-	-	-	60
15:00	10	8	-	63
16:00	52	42	-	72
17:00	147	118	77	79
18:00	210	168	288	84
19:00	210	168	288	84
20:00	210	168	288	84

Tabla 46. Potencia diaria consumida por horas, mes de Noviembre

Diciembre

	Potencia consumida (W)			
	GRC1	GRC2	GRC3	GRC4
8:00	202	162	248	84
9:00	138	111	76	81
10:00	66	52	-	68
11:00	30	24	-	56
12:00	11	8	-	53
13:00	-	-	-	53
14:00	16	13	-	60
15:00	48	38	-	66
16:00	96	76	29	77
17:00	199	159	175	83
18:00	210	168	288	84
19:00	210	168	288	84
20:00	210	168	288	84

Tabla 47. Potencia diaria consumida por horas, mes de Diciembre

Toda esta información, la podemos sintetizar en forma de energía consumida, para facilitar su posterior utilización (tabla 48).



Análisis y mejora de la eficiencia energética del sistema de iluminación de los pasillos de circulación de un centro sanitario.



	Energía diaria consumida (kWh)				
	GRC1	GRC2	GRC3	GRC4	Total
Enero	1,35	1,08	1,35	0,93	4,71
Febrero	1,04	0,85	1,08	0,89	3,86
Marzo	0,76	0,61	0,80	0,84	3,02
Abril	0,47	0,37	0,35	0,84	2,03
Mayo	0,28	0,23	0,09	0,85	1,45
Junio	0,21	0,16	0,02	0,85	1,23
Julio	0,16	0,13	0,04	0,80	1,13
Agosto	0,29	0,24	0,12	0,79	1,44
Septiembre	0,60	0,48	0,48	0,81	2,37
Octubre	0,87	0,69	0,83	0,87	3,27
Noviembre	1,23	0,98	1,19	0,92	4,32
Diciembre	1,43	1,15	1,39	0,93	4,91

Tabla 48. Resumen mensual de energía consumida diaria con control

Podemos comparar la situación inicial, con la situación estudiada, de tal manera que, en la tabla 49 se observa el ahorro de energía en el uso de esta estrategia de control horaria.

	Energía diaria consumida (kWh)			
	Situación inicial	Situación con control horario	Ahorro total	Ahorro en %
Enero	18,00	4,71	13,29	73,83
Febrero	18,00	3,86	14,14	78,56
Marzo	18,00	3,02	14,98	83,22
Abril	18,00	2,03	15,97	88,72
Mayo	18,00	1,45	16,55	91,94
Junio	18,00	1,23	16,77	93,17
Julio	18,00	1,13	16,87	93,72
Agosto	18,00	1,44	16,56	92,00
Septiembre	18,00	2,37	15,63	86,83
Octubre	18,00	3,27	14,73	81,83
Noviembre	18,00	4,32	13,68	76,00
Diciembre	18,00	4,91	13,09	72,72
Total	216,00	33,76	182,25	84,37

Tabla 49. Comparación de la energía consumida y el ahorro resultante

A continuación se muestran, los gráficos 2 y 3, los datos más destacables de la información mostrada en las tablas anteriores.

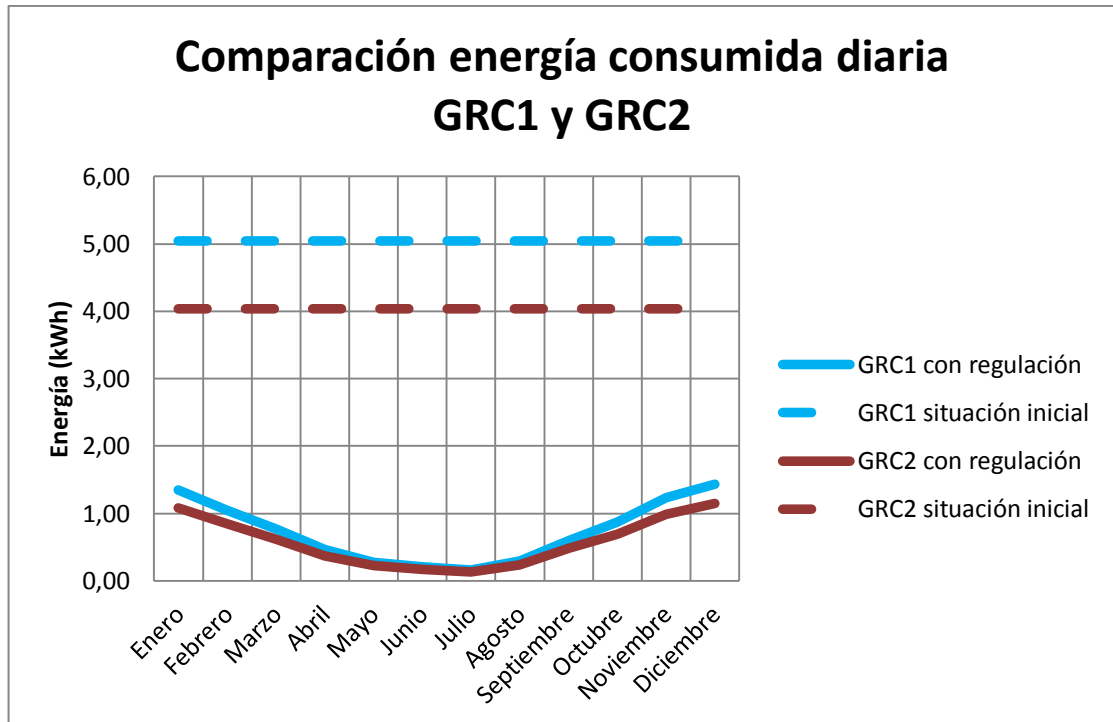


Gráfico 2. Comparativa de consumo de energía diaria entre la situación inicial y la situación con regulación.

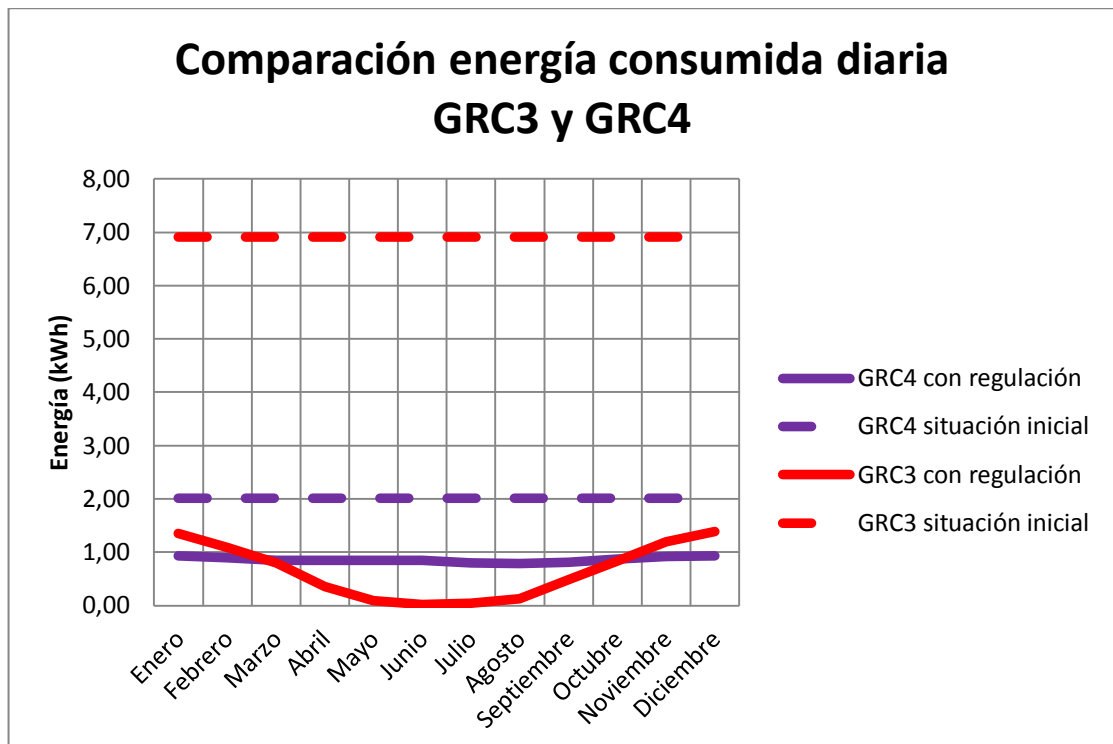


Gráfico 3. Comparativa de consumo de energía diaria entre la situación inicial y la situación con regulación.

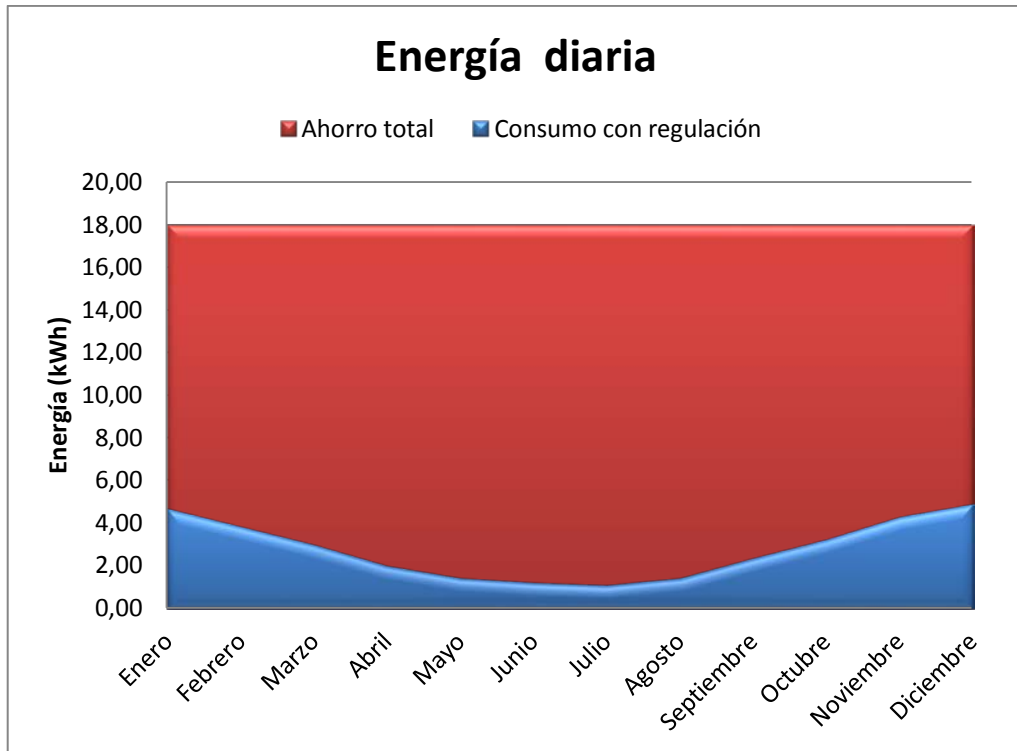


Gráfico 4. Energía total diaria.

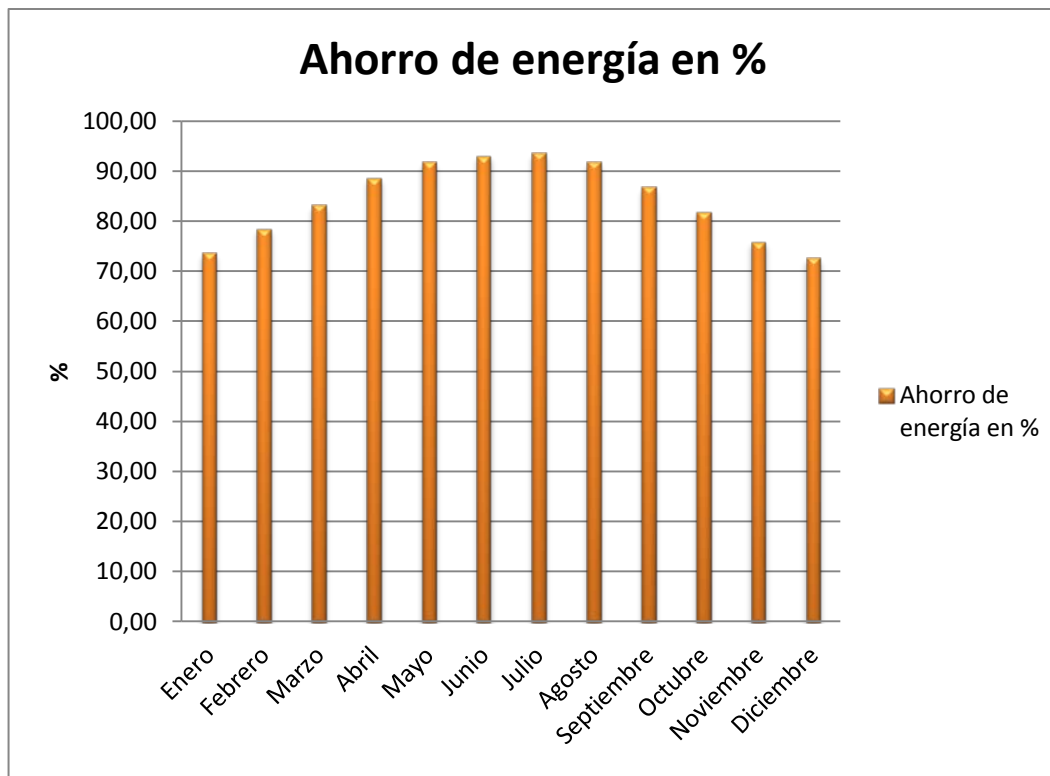


Gráfico 5. Ahorro de energía porcentual.



Análisis y mejora de la eficiencia energética del sistema de iluminación de los pasillos de circulación de un centro sanitario.





Capítulo 6

Estudio económico.

6.1 Costes de materiales.

A la hora de poder llevar a cabo este trabajo, se necesitan una serie de materiales, equipos, etc. que aparecen en la tabla 50.

Debido a que las luminarias presentes en la zona a estudio, admiten el cambio de potencia sólo cambiando la lámpara, se reutilizarán las que allí se encuentran, pero cambiando las lámparas existentes por otras nuevas de la potencia requerida.

También se aprovechará la aparamenta eléctrica de corte y protección existente en el cuadro secundario del que se alimenta la instalación actual.



Análisis y mejora de la eficiencia energética del sistema de iluminación de los pasillos de circulación de un centro sanitario.



Material	Precio/ud.	Uds.	Total
Sonda iluminación	147,50 €	1	147,50 €
Cable 2 hilos apantallado	0,49 €	50	24,50 €
IQ3XCITE	700,00 €	1	700,00 €
Interruptor diferencial	234,78 €	1	234,78 €
Interruptor automático	57,52 €	1	57,52 €
Contactador	82,98 €	4	331,92 €
Selector	12,02 €	4	48,08 €
Downlight "Crater"	45,17 €	5	225,85 €
Lámpara 1x32W	11,00 €	9	99,00 €
Lámpara 1x42 W	11,00 €	11	121,00 €
Cable 1.5 mm ²	0,37 €	210	77,70
TOTAL			2.067,85 €

Tabla 50. Coste material, equipos, etc.

Al coste de estos materiales, habría que sumar la mano de obra en la realización de estos trabajos:

Professional	Precio/hora.	horas	Total
Oficial 1 ^a , Electricista	7,66 €	4	30,64 €
Ingeniero/programador	16,04 €	2	32,08 €
TOTAL			62,72 €

Tabla 51. Coste mano de obra.

En la tabla 51 se muestran el coste que supondría la mano de obra que se utilizaría para llevar a cabo estos trabajos, pero es importante señalar que no habría que tener en cuenta dicho coste, ya que estos trabajos serían realizados por el propio personal del hospital, pero en cambio sí que habría un coste de oportunidad.

El coste de oportunidad significa el coste que supone hacer algo, por no hacer otra cosa, es decir, para el hospital este coste de oportunidad sería el coste del personal dedicado a la realización de los trabajos descritos como la colocación de las luminarias, programación, etc., ya que mientras realicen estos trabajos no pueden realizar otros.

Teniendo en cuenta lo anterior, la inversión que habría que realizar sería de:

2.067,85 €



6.2 Valor actual neto (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:

$$VAN = -I_0 + \sum_{i=0}^n \frac{Q_i}{(1+k)^i} \quad (13)$$

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 6.1 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, se tomará la media de los últimos 10 años en Valladolid, con lo que para electricidad tendrá un valor de 6,14 %.

El número de periodos considerados será de 10 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, los flujos de caja están formados por dos términos: 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



Análisis y mejora de la eficiencia energética del sistema de iluminación de los pasillos de circulación de un centro sanitario.



por otras nuevas cada dos años (6000 horas de funcionamiento), lo que llamamos Q_i'' .

$$Q_i = Q_i' - Q_i'' \quad (14)$$

Q_i' = ahorro de energía = 803,22 €

Q_i'' = gastos de mantenimiento/sustitución = 220,00 €

En la tabla 52, se muestra el VAN:

Año	Q_i'	Q_i''	Q_i	$Q_i/(1+k)^i$	VAN
1	-	-	- 2.067,85 €	- 2.067,85 €	-2.067,85 €
2	803,22 €	220,00 €	583,22 €	549,48 €	-1.518,37 €
3	803,22 €		803,22 €	712,98 €	-805,39 €
4	803,22 €	220,00 €	583,22 €	487,75 €	-317,64 €
5	803,22 €		803,22 €	632,87 €	315,23 €
6	803,22 €	220,00 €	583,22 €	432,95 €	748,18 €
7	803,22 €		803,22 €	561,77 €	1.309,95 €
8	803,22 €	220,00 €	583,22 €	384,31 €	1.694,26 €
9	803,22 €		803,22 €	498,66 €	2.192,91 €
10	803,22 €	220,00 €	583,22 €	341,13 €	2.534,04 €

Tabla 52. Cálculo del VAN.

La inversión realizada a 10 años con una tasa de actualización constante a lo largo del tiempo, da lugar a un VAN positivo, por lo que el proyecto es realizable.

$$\text{VAN}_{10}(k=6,14\%) = 2.534,04 \text{ €} > 0$$

Por tanto, la regulación de la iluminación y el aprovechamiento de la luz natural, puede suponer un ahorro de alrededor de 2.534,04 € considerando que los costes de la electricidad y la sustitución de lámparas son constantes e iguales.

En la figura 41 se puede observar el VAN a lo largo de los años (va en aumento), y el flujo de caja actualizado que representa el ahorro anual (va en descenso)

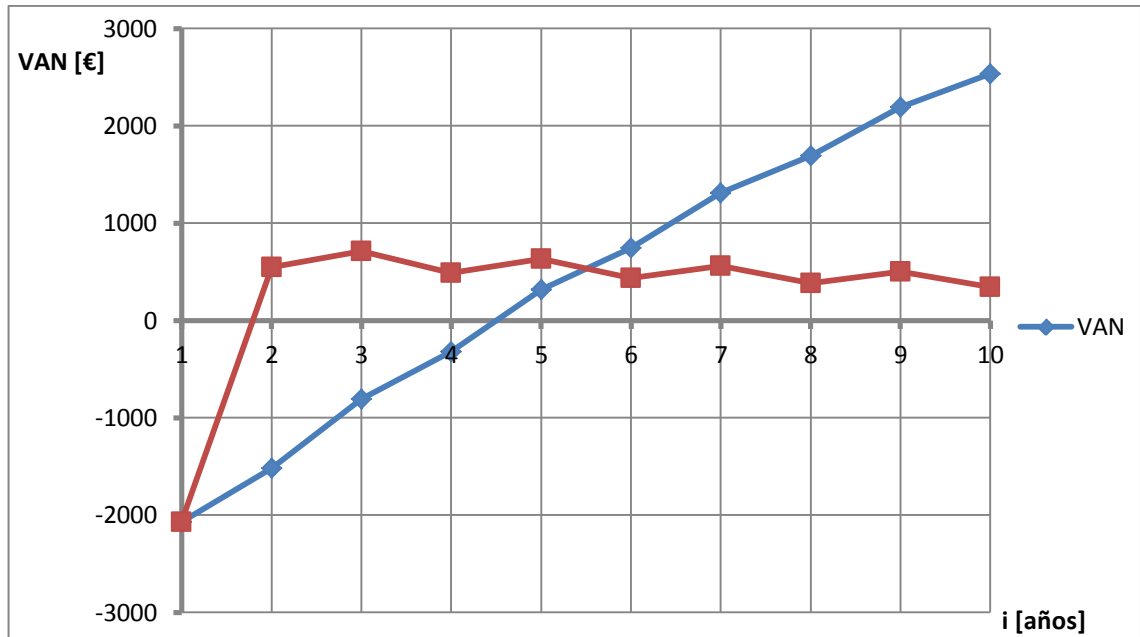


Figura 44. Ahorro anual estimado mediante el VAN a 10 años.

6.3 Pay-Back descontado (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. Éste 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:

$$I_0 = \sum_{i=0}^{PB^*} \frac{Q_i}{(1+k)^i} \quad (15)$$

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 52 de manera analítica, o bien de la figura 41 de manera gráfica, se puede obtener el plazo de recuperación descontado. Se amortiza en 4,5 años, lo que quiere decir que a partir del año 5 se obtienen beneficios únicamente.

$$PB^* = 5 \text{ años}$$

6.4 Tasa interna de retorno (TIR).

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

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, la TIR se compara con una tasa mínima o tasa de corte, el coste de oportunidad de la inversión a ese nivel de riesgo.

$$TIR = r \quad \text{tal que} \quad VAN(k = r) = 0 \quad (16)$$

$$0 = -I_0 + \sum_{i=0}^n \frac{Q_i}{(1+k)^i} \quad (17)$$

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 22%.

Tenemos que $r = 22\%$, que es un valor mayor a $k=6,14\%$, por lo que el proyecto es realizable y rentable.

$$VAN_{10}(k=22\%) = 0$$

$$TIR = r = 22\%$$



Capítulo 7

Conclusiones.

Para finalizar el presente trabajo, se pueden obtener una serie de conclusiones de dicho estudio, que se muestran a continuación:

La primera acción que se ha realizado ha sido la sustitución del sistema de iluminación presente por otro, con nueva disposición y nuevas características de las lámparas, para poder cumplir con los valores mínimos exigidos y obtener una iluminación lo más uniforme posible.

Mediante un software de cálculo de iluminación, que permite realizar tanto modelados de escenas interiores como exteriores, se ha realizado el modelado de la escena objeto de nuestro estudio, ajustando sus parámetros para que los resultados obtenidos en la simulación se ajusten lo más posible a los datos reales.

Se ha decidido implementar una estrategia de control horaria a fin de poder realizar una regulación de la iluminación artificial teniendo en cuenta el aporte de luz natural.

A partir del modelo ajustado, se han realizado las simulaciones de las diferentes situaciones que nos podemos encontrar, en cuanto a estados de cielo, partiendo de los datos meteorológicos obtenidos de la NASA para la localización geográfica deseada.



Análisis y mejora de la eficiencia energética del sistema de iluminación de los pasillos de circulación de un centro sanitario.



Con los resultados obtenidos, se han calculado las necesidades de potencia y el consumo de energía para la situación inicial y para la situación propuesta, a fin de poder realizar una comparación entre ambas situaciones.

Para obtener un control efectivo, se ha implementado la estrategia propuesta, en el sistema de control del HURH, mediante equipos programables, que permiten poder controlar las variables del sistema en uno o varios puestos.

La comparación entre ambas situaciones, arroja unos resultados importantes en cuanto al consumo de energía, ya que la utilización de esta estrategia de control horaria supone un ahorro medio de energía con respecto a la situación inicial del 84% aproximadamente.

Este ahorro de energía se traduce a un ahorro económico, que variará en función del precio de la energía.

La realización de un estudio e implementación de un control de iluminación similar a éste en otras zonas del complejo hospitalario, puede suponer ahorros muy importantes, en cuanto a consumo se refiere, debido al tratamiento constructivo del complejo que permite la entrada de luz natural en los espacios interiores.

También puede ser interesante para un estudio posterior, la implementación de un control continuo en el que en función del nivel de iluminación exterior, ajustemos la regulación del encendido de las luminarias a las necesidades de cada momento.



8. Bibliografía

- [1]. Indalux, *Luminotecnia, control y aplicación de la luz*, 2002
- [2]. Raitelli, Mario, “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
- [3]. Ramírez Vázquez, José con la colaboración de Carlos Buigás Sans e Ignacio Munilla Morales, *Luminotecnia*, Barcelona: CEAC. 1999
- [4]. 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.
- [5]. Real Decreto 842/2002, de 2 de Agosto, por el que se aprueba el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT).
- [6]. EN 12.464-1: 2003, Iluminación. “Iluminación de los lugares de trabajo. Parte 1: Lugares de trabajo en interiores.
- [7]. UNE 72-163-84: Niveles de iluminación. Asignación de Tareas.
- [8]. UNE 72-112-85: Tareas visuales. Clasificación.
- [9]. “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



Análisis y mejora de la eficiencia energética del sistema de iluminación de los pasillos de circulación de un centro sanitario.



- [10]. Decreto 314/2006, de 17 de Marzo, que desarrolla el Código Técnico de la Edificación (CTE).
- [11]. *Hospital Universitario Rio Hortega*, SACYL [Consulta: 19 de Febrero]. Disponible en: <http://www.saludcastillayleon.es/HRHortega/es>
- [12]. *Surface meteorology and Solar Energy. A renewable energy resource web site*, Paul W. Stackhouse, Jr., Ph.D. [Consulta: 10 de Marzo]. Disponible en: <https://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>
- [13]. TREND, TREND CONTROLS [Consulta: 5 de Junio]. Disponible en: <https://www.trendcontrols.com/es-ES/Paginas/default.aspx>



Anexos

Anexo 1. Resultados Luminotécnicos.

En las siguientes páginas se muestra parte de la información obtenida en algunas simulaciones con el programa informático Dialux 4.12.

Iluminación Planta Consultas

Elaboración de la simulación de la influencia de la luz natural en el pasillo de consultas comprendientes de la .91 a la .98 del Hospital Universitario Rio Hortega, Valladolid

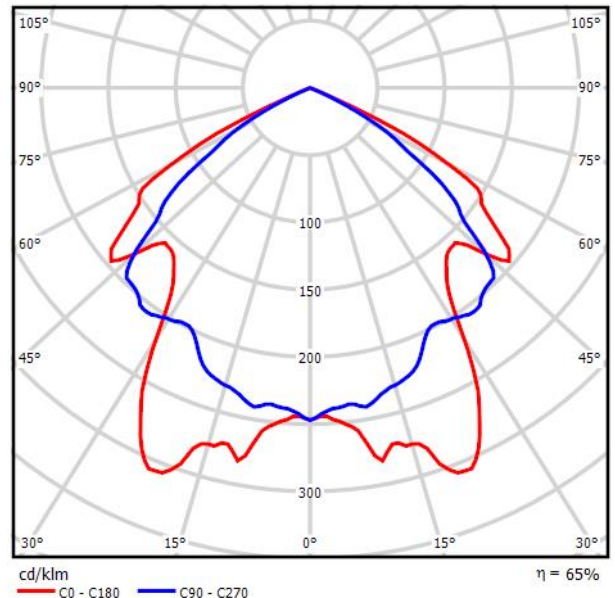
Contacto:
N° de encargo:
Empresa:
N° de cliente:

Fecha: 04.06.2014
Proyecto elaborado por: Cristian Gómez García
Datos simulación:
 Mes: Marzo
 Hora: 8:00
 Cielo: Soleado

Proyecto elaborado por Cristian Gómez García
 Teléfono
 Fax
 e-Mail

BEGHELLI 82-034/142/C Dorado / Hoja de datos de luminarias

Emisión de luz 1:



Clasificación luminarias según CIE: 100
 Código CIE Flux: 55 94 100 100 65

TECHNICAL FEATURES: recessed downlight in panel ceiling; max. width 50 mm, horizontal compact fl. lamp 1x42W, electronic ballast.
 BODY: steel sheet finished by powder technology varnishing.
 REFLECTOR: polished aluminium sheet.
 IP PROTECTION DEGREE: 20

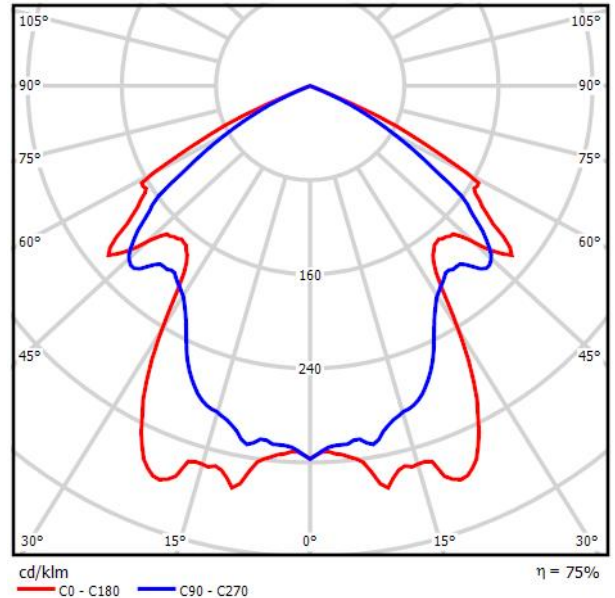
Emisión de luz 1:

Valoración de deslumbramiento según UGR											
Techo	70	70	50	50	30	70	70	50	50	30	
Paredes	50	30	50	30	30	50	30	50	30	30	
Suelo	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	
Tamaño del local X Y	Mirado en perpendicular al eje de lámpara					Mirado longitudinalmente al eje de lámpara					
2H	2H	24.3	25.5	24.6	25.7	25.9	22.7	23.9	23.0	24.1	24.3
	3H	24.3	25.3	24.6	25.6	25.8	22.6	23.6	22.9	23.9	24.1
	4H	24.2	25.2	24.5	25.4	25.7	22.5	23.5	22.8	23.7	24.0
	6H	24.1	25.0	24.5	25.3	25.6	22.4	23.3	22.8	23.6	23.9
	8H	24.1	24.9	24.4	25.2	25.5	22.4	23.2	22.7	23.5	23.9
4H	2H	24.4	25.4	24.8	25.7	26.0	23.1	24.1	23.4	24.3	24.6
	3H	24.4	25.2	24.8	25.5	25.9	23.0	23.8	23.3	24.1	24.4
	4H	24.3	25.0	24.7	25.4	25.7	22.9	23.6	23.3	23.9	24.3
	6H	24.3	24.9	24.7	25.3	25.6	22.8	23.4	23.2	23.8	24.2
	8H	24.2	24.8	24.7	25.2	25.6	22.8	23.3	23.2	23.7	24.1
8H	2H	24.2	24.7	24.6	25.1	25.5	22.8	23.3	23.2	23.7	24.1
	4H	24.2	24.8	24.7	25.2	25.6	22.8	23.3	23.2	23.7	24.1
	6H	24.2	24.6	24.6	25.0	25.5	22.7	23.2	23.2	23.6	24.0
	8H	24.1	24.5	24.6	25.0	25.4	22.7	23.1	23.1	23.5	24.0
	12H	24.1	24.4	24.6	24.9	25.4	22.6	23.0	23.1	23.4	23.9
12H	4H	24.2	24.7	24.6	25.1	25.5	22.8	23.3	23.2	23.7	24.1
	6H	24.1	24.5	24.6	25.0	25.4	22.7	23.1	23.1	23.5	24.0
	8H	24.1	24.4	24.6	24.9	25.4	22.6	23.0	23.1	23.4	23.9
	4H	24.2	24.7	24.6	25.1	25.5	22.8	23.3	23.2	23.7	24.1
	8H	24.1	24.4	24.6	24.9	25.4	22.6	23.0	23.1	23.4	23.9
Variación de la posición del espectador para separaciones S entre luminarias											
S = 1.0H	+0.4 / -0.4					+0.7 / -0.5					
S = 1.5H	+1.6 / -2.8					+2.3 / -4.6					
S = 2.0H	+2.6 / -22.7					+3.0 / -29.6					
Tabla estándar	BK01					BK01					
Sumando de corrección	5.0					3.5					
Índice de deslumbramiento corregido en relación a 3200lm Flujo luminoso total											

Proyecto elaborado por Cristian Gómez García
 Teléfono
 Fax
 e-Mail

BEGHELLI 82-034/132/C Dorado / Hoja de datos de luminarias

Emisión de luz 1:



Clasificación luminarias según CIE: 100
 Código CIE Flux: 54 92 100 100 74

TECHNICAL FEATURES: recessed downlight in panel ceiling; max. width 50 mm, horizontal compact fl. lamp 1x32W, electronic ballast.
 BODY: steel sheet finished by powder technology varnishing.
 REFLECTOR: polished aluminium sheet.
 IP PROTECTION DEGREE: 20

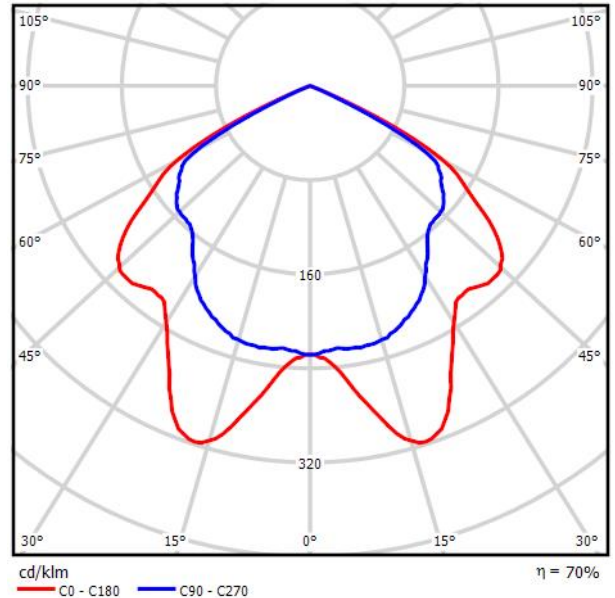
Emisión de luz 1:

Valoración de deslumbramiento según UGR												
	70	70	50	50	30	70	70	50	50	30		
Techo	50	30	50	30	30	50	30	50	30	30		
Suelo	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20		
Tamaño del local	X	Y	Mirado en perpendicular al eje de lámpara					Mirado longitudinalmente al eje de lámpara				
2H	2H		23.8	25.0	24.1	25.2	25.4	22.4	23.6	22.6	23.8	24.0
	3H		23.9	25.0	24.2	25.2	25.5	22.3	23.4	22.6	23.6	23.9
	4H		23.8	24.8	24.2	25.1	25.4	22.2	23.2	22.5	23.5	23.8
	6H		23.8	24.7	24.1	25.0	25.3	22.1	23.1	22.5	23.3	23.7
	8H		23.7	24.6	24.1	24.9	25.2	22.1	23.0	22.5	23.3	23.6
12H		23.7	24.5	24.0	24.8	25.2	22.1	22.9	22.4	23.2	23.5	
4H	2H		24.0	25.0	24.3	25.3	25.6	22.8	23.8	23.1	24.1	24.3
	3H		24.1	24.9	24.5	25.3	25.6	22.7	23.6	23.1	23.9	24.2
	4H		24.0	24.8	24.4	25.1	25.5	22.7	23.4	23.1	23.7	24.1
	6H		24.0	24.6	24.4	25.0	25.4	22.6	23.2	23.0	23.6	24.0
	8H		23.9	24.5	24.4	24.9	25.3	22.6	23.1	23.0	23.5	23.9
12H		23.9	24.4	24.3	24.8	25.2	22.5	23.0	23.0	23.4	23.9	
8H	4H		23.9	24.5	24.4	24.9	25.3	22.6	23.1	23.0	23.5	23.9
	6H		23.9	24.3	24.3	24.7	25.2	22.5	22.9	22.9	23.4	23.8
	8H		23.8	24.2	24.3	24.7	25.1	22.4	22.8	22.9	23.3	23.8
	12H		23.8	24.1	24.3	24.6	25.1	22.4	22.7	22.9	23.2	23.7
12H	4H		23.9	24.4	24.3	24.8	25.2	22.5	23.0	23.0	23.4	23.9
	6H		23.8	24.2	24.3	24.7	25.1	22.4	22.8	22.9	23.3	23.8
	8H		23.8	24.1	24.3	24.6	25.1	22.4	22.7	22.9	23.2	23.7
Variación de la posición del espectador para separaciones S entre luminarias												
S = 1.0H	+0.5 / -0.3					+0.5 / -0.4						
S = 1.5H	+1.4 / -2.5					+1.8 / -3.8						
S = 2.0H	+2.6 / -15.5					+2.8 / -21.7						
Tabla estándar	BK01					BK01						
Sumando de corrección	5.1					3.7						
Índice de deslumbramiento corregido en relación a 2400lm Flujo luminoso total												

Proyecto elaborado por Cristian Gómez García
 Teléfono
 Fax
 e-Mail

BEGHELLI 82-004/213/C Dorado / Hoja de datos de luminarias

Emisión de luz 1:



Clasificación luminarias según CIE: 100
 Código CIE Flux: 54 92 100 100 70

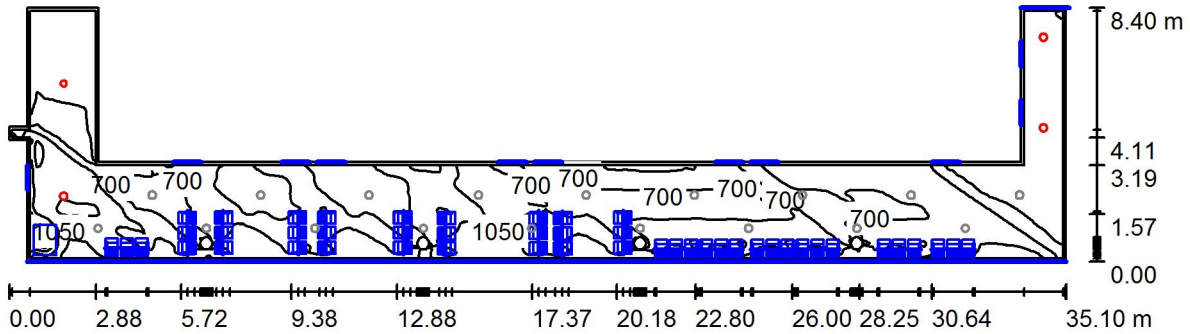
TECHNICAL FEATURES: recessed downlight in panel ceiling; max. width 50 mm, horizontal compact fl. lamps 2x13W, electronic ballast.
 BODY: steel sheet finished by powder technology varnishing.
 REFLECTOR: polished aluminium sheet.
 IP PROTECTION DEGREE: 20

Emisión de luz 1:

Valoración de deslumbramiento según UGR											
		70	70	50	50	30	70	70	50	50	30
Techo		50	30	50	30	30	50	30	50	30	30
Suelo		20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Tamaño del local	X Y	Mirado en perpendicular al eje de lámpara					Mirado longitudinalmente al eje de lámpara				
2H	2H	23.6	24.8	23.9	25.0	25.2	22.8	24.0	23.1	24.3	24.5
	3H	23.6	24.7	24.0	25.0	25.2	22.8	23.8	23.1	24.1	24.4
	4H	23.6	24.6	23.9	24.8	25.1	22.7	23.7	23.0	24.0	24.2
	6H	23.5	24.4	23.8	24.7	25.0	22.6	23.5	23.0	23.8	24.1
	8H	23.5	24.3	23.8	24.6	25.0	22.6	23.5	22.9	23.8	24.1
	12H	23.4	24.3	23.8	24.6	24.9	22.5	23.4	22.9	23.7	24.0
4H	2H	23.9	24.9	24.2	25.1	25.4	23.2	24.2	23.5	24.5	24.8
	3H	23.9	24.7	24.3	25.1	25.4	23.1	24.0	23.5	24.3	24.6
	4H	23.8	24.6	24.2	24.9	25.3	23.1	23.8	23.5	24.1	24.5
	6H	23.8	24.4	24.2	24.8	25.2	23.0	23.6	23.4	24.0	24.4
	8H	23.7	24.3	24.2	24.7	25.1	23.0	23.5	23.4	23.9	24.3
	12H	23.7	24.2	24.1	24.6	25.0	22.9	23.5	23.4	23.9	24.3
8H	4H	23.7	24.3	24.2	24.7	25.1	23.0	23.5	23.4	23.9	24.3
	6H	23.7	24.1	24.1	24.5	25.0	22.9	23.4	23.4	23.8	24.2
	8H	23.6	24.0	24.1	24.5	24.9	22.9	23.3	23.3	23.7	24.2
	12H	23.6	23.9	24.1	24.4	24.9	22.8	23.2	23.3	23.6	24.1
12H	4H	23.7	24.2	24.1	24.6	25.0	22.9	23.5	23.4	23.9	24.3
	6H	23.6	24.0	24.1	24.5	24.9	22.9	23.3	23.3	23.7	24.2
	8H	23.6	23.9	24.1	24.4	24.9	22.8	23.2	23.3	23.6	24.1
Variación de la posición del espectador para separaciones S entre luminarias											
S = 1.0H		+0.2 / -0.3					+0.8 / -0.5				
S = 1.5H		+1.1 / -2.0					+1.9 / -2.2				
S = 2.0H		+2.3 / -12.2					+2.6 / -14.6				
Tabla estándar		BK01					BK01				
Sumando de corrección		4.7					3.9				
Índice de deslumbramiento corregido en relación a 1800lm Flujo luminoso total											

Proyecto elaborado por Cristian Gómez García
 Teléfono
 Fax
 e-Mail

Pasillo de consultas 3º Planta / Escena de luz natural / Resumen



Altura del local: 2.700 m, Factor mantenimiento: 0.90

Valores en Lux, Escala 1:251

Superficie	ρ [%]	E _m [lx]	E _{min} [lx]	E _{max} [lx]	E _{min} / E _m
Plano útil	/	751	92	1690	0.122
Suelo	20	752	98	1847	0.130
Techo	70	235	48	1155	0.204
Paredes (12)	50	632	75	3307	/

Plano útil:

Altura: 0.000 m
 Trama: 128 x 128 Puntos
 Zona marginal: 0.100 m

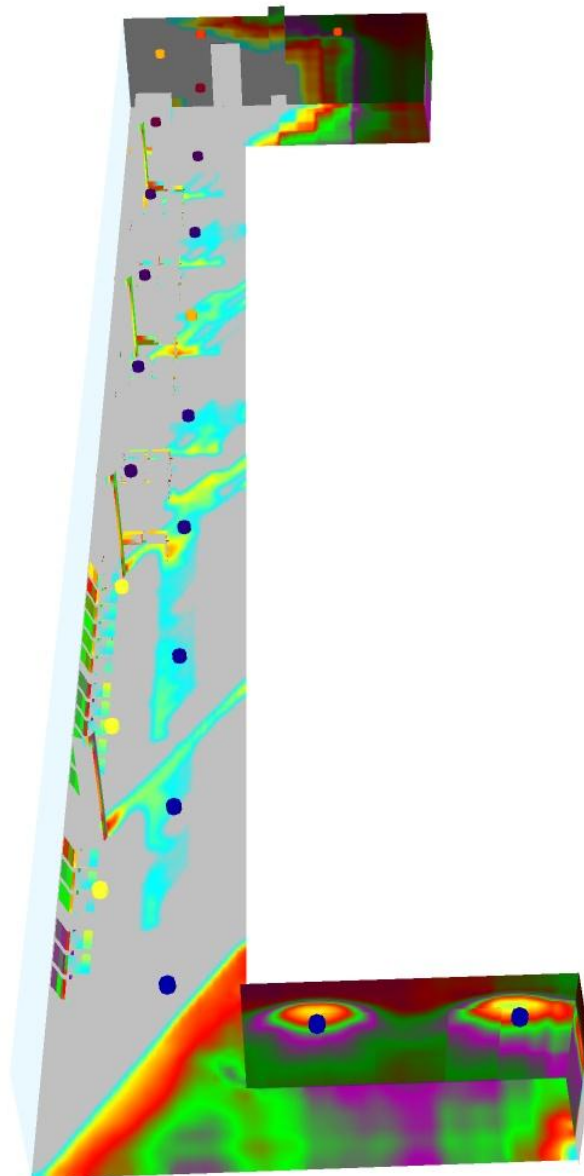
Lista de piezas - Luminarias

Nº	Pieza	Designación (Factor de corrección)	Φ (Luminaria) [lm]	Φ (Lámparas) [lm]	P [W]
1	1	BEGHELLI 82-004/213/C Dorado (1.000)	1254	1800	26.0
2	3	BEGHELLI 82-034/142/C Dorado (1.000)	2066	3200	42.0
			Total: 7452	Total: 11400	152.0

Valor de eficiencia energética: 1.14 W/m² = 0.15 W/m²/100 lx (Base: 133.60 m²)

Proyecto elaborado por Cristian Gómez García
Teléfono
Fax
e-Mail

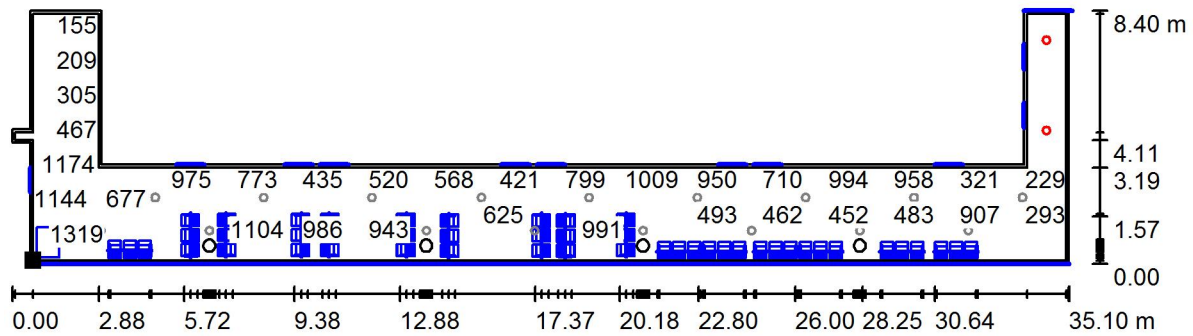
Pasillo de consultas 3º Planta / Escena de luz natural / Rendering (procesado) de colores falsos



50 100 150 200 250 300 400 500 600 lx

Proyecto elaborado por Cristian Gómez García
 Teléfono
 Fax
 e-Mail

Pasillo de consultas 3º Planta / Escena de luz natural / Plano útil / Gráfico de valores (E)



Valores en Lux, Escala 1 : 251

No pudieron representarse todos los valores calculados.

Situación de la superficie en el local:
 Plano útil con 0.100 m Zona marginal
 Punto marcado:
 (0.100 m, 0.100 m, 0.000 m)



Trama: 128 x 128 Puntos

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
751	92	1690	0.122	0.054

Iluminacion Planta Consultas

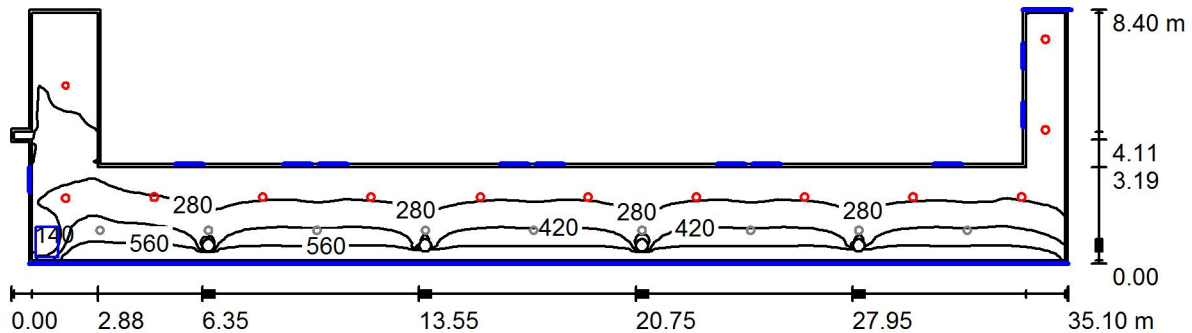
Elaboración de la simulación de la influencia de la luz natural en el pasillo de consultas comprendientes de la .91 a la .98 del Hospital Universitario Rio Hortega, Valladolid

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

Fecha: 04.06.2014
Proyecto elaborado por: Cristian Gómez García
Datos simulación:
 Mes: Julio
 Hora: 19:00
 Cielo: Cubierto

Proyecto elaborado por Cristian Gómez García
Teléfono
Fax
e-Mail

Pasillo de consultas 3º Planta / Escena de luz natural / Resumen



Altura del local: 2.700 m, Factor mantenimiento: 0.90

Valores en Lux, Escala 1:251

Superficie	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Plano útil	/	334	41	697	0.122
Suelo	20	335	41	733	0.121
Techo	70	62	19	156	0.302
Paredes (12)	50	127	28	451	/

Plano útil:

Altura: 0.000 m
Trama: 128 x 128 Puntos
Zona marginal: 0.100 m

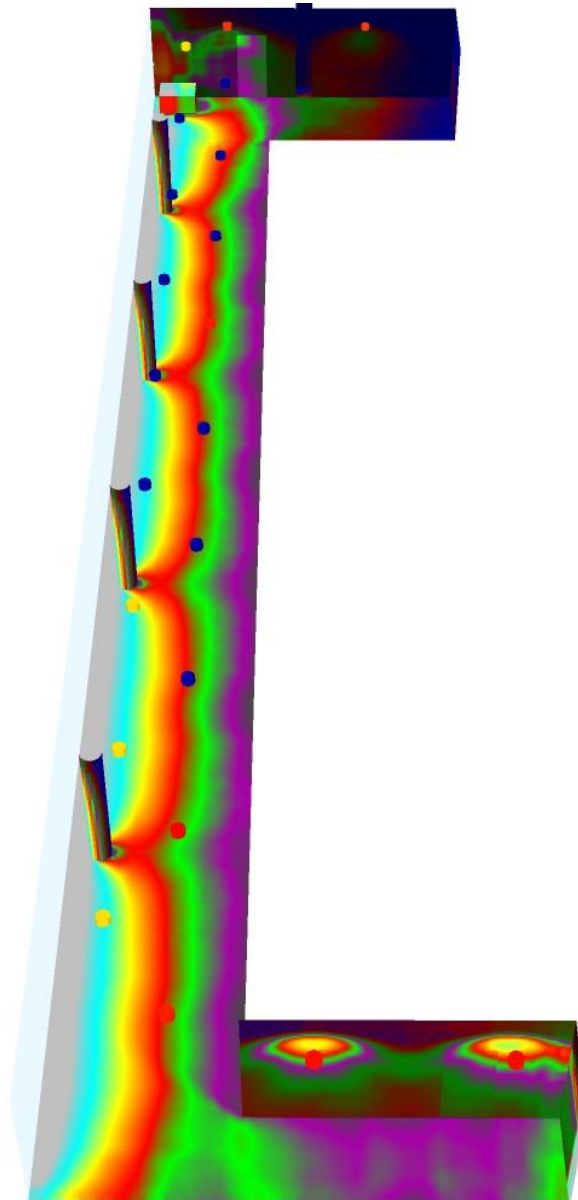
Lista de piezas - Luminarias

Nº	Pieza	Designación (Factor de corrección)	Φ (Luminaria) [lm]	Φ (Lámparas) [lm]	P [W]
1	1	BEGHELLI 82-004/213/C Dorado (1.000)	1254	1800	26.0
2	12	BEGHELLI 82-034/142/C Dorado (1.000)	2066	3200	42.0
			Total: 26043	Total: 40200	530.0

Valor de eficiencia energética: $3.97 \text{ W/m}^2 = 1.19 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Base: 133.60 m^2)

Proyecto elaborado por Cristian Gómez García
Teléfono
Fax
e-Mail

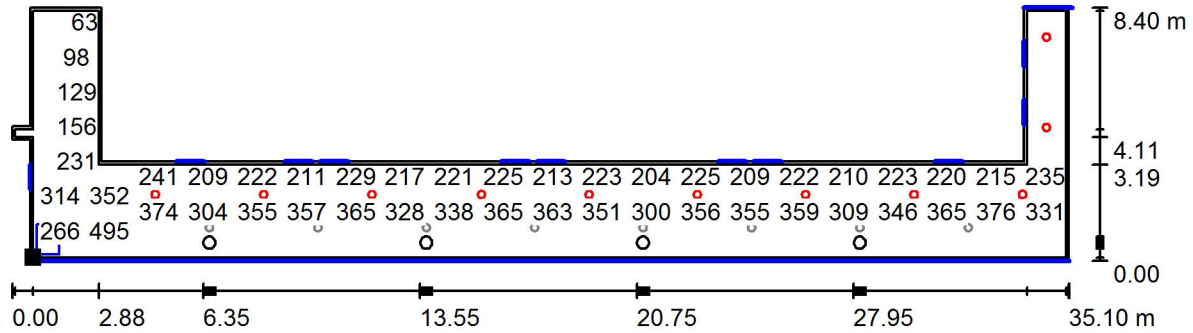
Pasillo de consultas 3º Planta / Escena de luz natural / Rendering (procesado) de colores falsos



50 100 150 200 250 300 400 500 600 lx

Proyecto elaborado por Cristian Gómez García
 Teléfono
 Fax
 e-Mail

Pasillo de consultas 3º Planta / Escena de luz natural / Plano útil / Gráfico de valores (E)



Valores en Lux, Escala 1 : 251

No pudieron representarse todos los valores calculados.

Situación de la superficie en el local:
 Plano útil con 0.100 m Zona marginal
 Punto marcado:
 (0.100 m, 0.100 m, 0.000 m)



Trama: 128 x 128 Puntos

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
334	41	697	0.122	0.058

Iluminacion Planta Consultas

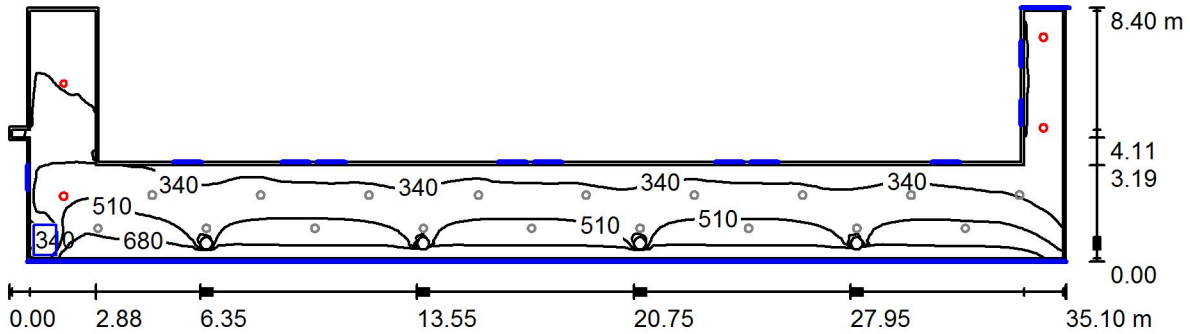
Elaboración de la simulación de la influencia de la luz natural en el pasillo de consultas comprendientes de la .91 a la .98 del Hospital Universitario Rio Hortega, Valladolid

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

Fecha: 04.06.2014
Proyecto elaborado por: Cristian Gómez García
Datos simulación:
 Mes: Octubre
 Hora: 10:00
 Cielo: Parcialmente cubierto

Proyecto elaborado por Cristian Gómez García
 Teléfono
 Fax
 e-Mail

Pasillo de consultas 3º Planta / Escena de luz natural / Resumen



Altura del local: 2.700 m, Factor mantenimiento: 0.90

Valores en Lux, Escala 1:251

Superficie	ρ [%]	E _m [lx]	E _{min} [lx]	E _{max} [lx]	E _{min} / E _m
Plano útil	/	434	47	848	0.107
Suelo	20	433	53	850	0.122
Techo	70	87	29	262	0.327
Paredes (12)	50	201	42	653	/

Plano útil:

Altura: 0.000 m
 Trama: 128 x 128 Puntos
 Zona marginal: 0.100 m

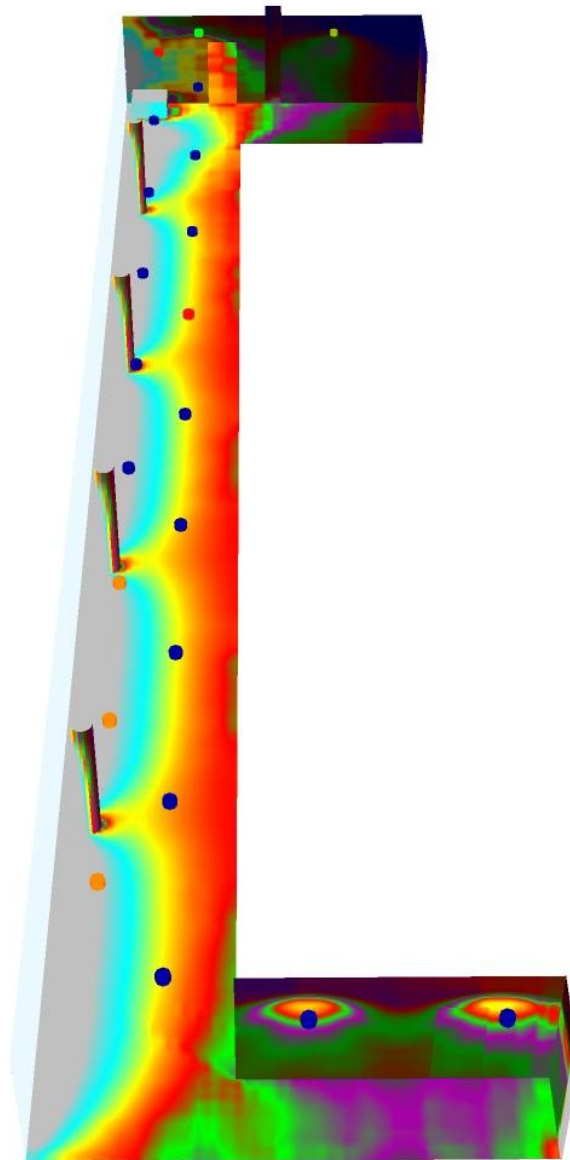
Lista de piezas - Luminarias

Nº	Pieza	Designación (Factor de corrección)	Φ (Luminaria) [lm]	Φ (Lámparas) [lm]	P [W]
1	1	BEGHELLI 82-004/213/C Dorado (1.000)	1254	1800	26.0
2	3	BEGHELLI 82-034/142/C Dorado (1.000)	2066	3200	42.0
			Total: 7452	Total: 11400	152.0

Valor de eficiencia energética: 1.14 W/m² = 0.26 W/m²/100 lx (Base: 133.60 m²)

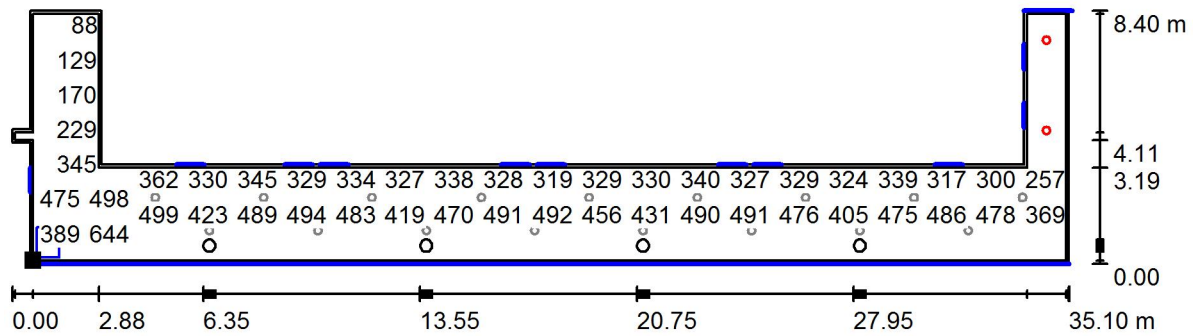
Proyecto elaborado por Cristian Gómez García
Teléfono
Fax
e-Mail

Pasillo de consultas 3º Planta / Escena de luz natural / Rendering (procesado) de colores falsos



Proyecto elaborado por Cristian Gómez García
 Teléfono
 Fax
 e-Mail

Pasillo de consultas 3º Planta / Escena de luz natural / Plano útil / Gráfico de valores (E)



Valores en Lux, Escala 1 : 251

No pudieron representarse todos los valores calculados.

Situación de la superficie en el local:
 Plano útil con 0.100 m Zona marginal
 Punto marcado:
 (0.100 m, 0.100 m, 0.000 m)



Trama: 128 x 128 Puntos

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
434	47	848	0.107	0.055