



**UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA**



**ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR DE
ARQUITECTURA**

Grado en Fundamentos de la Arquitectura

Dpto. de Construcciones Arquitectónicas

**TRABAJO FIN DE GRADO EN LA REHABILITACIÓN
ENERGÉTICA**

EVALUACIÓN DE PROPUESTAS DE MEJORA DE LA ILUMINACIÓN ARTIFICIAL DE UN AULA

AUTOR: BERRADA, MERYEM

TUTOR: CASTILLA CABANES, NURIA

Convocatoria: Octubre 2018

Curso Académico: 2018-2019

RESUMEN

El objetivo de este proyecto es la elaboración de unas propuestas de mejora del diseño de la iluminación artificial de un aula de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de la Universidad Politécnica de Valencia, garantizando una alta eficiencia energética.

Inicialmente, se analiza el estado de la iluminación artificial existente en el aula mediante un software específico en iluminación, el programa DIALux evo, obteniendo así, toda la información sobre su rendimiento visual y energético.

Partiendo del análisis de los resultados del estado actual, se propone un par de propuestas de mejora de la iluminación introduciendo cambios que mejoren su eficiencia energética.

En la primera propuesta, se apuesta por un renovado de los componentes del alumbrado, manteniendo el mismo diseño interior del aula, lo que permite reducir inmediata y significativamente el consumo energético de la iluminación.

La segunda propuesta supone una renovación integral del diseño interior del aula, teniendo en consideración los nuevos métodos de enseñanza y el avance tecnológico, junto con una adecuada elección de los materiales y componentes de la instalación del alumbrado. Así, de una parte, la flexibilidad del espacio docente, y la alta calidad de iluminación aseguran un rendimiento académico eficiente, y de otra parte, una reducción importante del consumo energético del alumbrado se garantiza mediante la elección de lámparas y luminarias eficientes.

Palabras Clave: Iluminación artificial, centros docentes, eficiencia energética.

ABSTRACT

The aim of this project is to study the artificial lighting of a classroom at the Architecture school at Polytechnics University of Valencia. Therefore, to make proposals to improve the design of interior lighting, in order to ensure high-energy efficiency.

First, the current state of the classroom lighting will be designed using specific lighting software, DIALux evo, thus obtaining all the information on its visual and energy performance.

After the simulation, the results obtained will be analyzed, and then based on the outputs; a couple of options are proposed to improve the lighting design by introducing changes to optimize its energy efficiency.

The first suggestion requests a renewal of the lighting components, maintaining the same interior design of the classroom, which allows reducing immediately the energy consumption of the lighting.

The second option involves a complete renovation of the classroom's interior design, taking into consideration new teaching methods and technological progress, together with an adequate choice of the materials and efficient lighting components. Thus, on the one hand, the flexibility of the space and the high quality of lighting contribute to the improvement of learning; on the other hand, a significant diminution in the energy consumption of lighting is guaranteed by the choice of efficient lamps and luminaires.

Keywords: Artificial lighting, educational establishments, energy efficiency.

ÍNDICE

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

I.1 CONTEXTO Y PROPÓSITO.....	5
I.2 OBJETIVOS DEL TRABAJO.....	6
I.3 ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO.....	6

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO. ESTADO DE LA CUESTIÓN

II.1 LA ILUMINACIÓN EN LOS ESPACIOS DOCENTES.....	7
II.1.1 La iluminación artificial en los espacios docentes.....	7
II.1.2 Necesidades de los usuarios en los espacios docentes.....	8
II.1.3 Espacios docentes y actividad visual.....	11
II.2 CONCEPTOS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA.....	12
II.2.1 Índice de eficiencia energética.....	12
II.2.2 Evaluación del consumo.....	12
II.2.3 Etiquetado energético.....	13
II.3 CRITERIOS DE DISEÑO DE LA ILUMINACIÓN ARTIFICIAL EFICIENTE EN LOS ESPACIOS DOCENTES.....	14
II.3.1 Elección de los componentes de la instalación del alumbrado.....	14
II.3.1.1 Criterios de elección de lámparas según su eficacia.....	14
II.3.1.2 Criterios de elección de luminarias según su eficiencia.....	16
II.3.1.3 Equipos auxiliares.....	18
II.3.2 Elementos del diseño interior.....	18
II.3.3 Gestión de la iluminación artificial eficiente: Sistemas de regulación y control.....	19
II.3.4 Mantenimiento energético.....	19
II.4. EFICIENCIA ENERGÉTICA. NORMATIVA APLICABLE.....	20
II.4.1 Aplicación de la sección HE3 al Alumbrado.....	20
II.4.1.1 Requisitos del alumbrado para áreas interiores, tareas y actividades según la UNE-EN12464-1.....	20
II.4.1.2 Potencia total máxima instalada.....	21
II.4.1.3 Valor de eficiencia energética de una instalación de iluminación.....	22

CAPÍTULO III: DESARROLLO DEL TRABAJO

III.1 ANÁLISIS DEL ESTADO ACTUAL DE LA ILUMINACIÓN ARTIFICIAL EN UN AULA DE LA ETSA.....	23
III.1.1 Descripción del aula.....	23
III.1.2 Análisis de la iluminación artificial existente del aula.....	24
III.1.3 Simulación del alumbrado actual del aula con DIALux evo.....	28
III.1.3.1 Resultados del rendimiento del alumbrado actual del aula generados con DIALux evo.....	29
III.2 PROPUESTAS DE MEJORA DEL DISEÑO DE LA ILUMINACIÓN EN EL AULA.....	33
III.2.1 Propuesta 1.....	33
III.2.1.1 Descripción del nuevo alumbrado en el aula.....	33
III.2.1.2 Simulación del alumbrado propuesto del aula con DIALux evo.....	36
III.2.1.3 Resultados del rendimiento del nuevo alumbrado del aula generados con DIALux evo.....	37
III.2.1.4 Comparación entre el rendimiento del alumbrado actual y el nuevo alumbrado propuesto.....	41
III.2.2 Propuesta 2.....	41
III.2.2.1 Nuevo diseño del aula.....	41
III.2.2.2 Descripción del nuevo alumbrado propuesto en el aula....	41
III.2.2.3 Resultados del rendimiento del nuevo alumbrado del aula generados con DIALux evo.....	46
III.2.2.4 Comparación entre el rendimiento del alumbrado actual y el nuevo alumbrado propuesto.....	51
III.3 Comprobación del cumplimiento de la sección HE3.....	52
CONCLUSIONES.....	53
BIBLIOGRAFÍA.....	54

ANEXOS

ANEXO 1: Índice de figuras y tablas.

ANEXO 2: Fichas técnicas de las luminarias y lámparas.

ANEXO 3: Resultados del cálculo con DIALux evo.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

I.1 Contexto y propósito

El desarrollo económico y social que experimenta la sociedad actual, hace que esta reclame un alto consumo de energía para poder satisfacer sus necesidades y mantener su nivel de vida y confort.

El aumento del consumo de energía, derivado de este crecimiento, hace cada vez más urgente la integración de los aspectos medioambientales y el desarrollo sostenible en la política energética (Rey y Velasco, 2006).

En los países industrializados, la iluminación representa entre el 5 y el 15% del consumo total de energía eléctrica (Ryckaert, Lootens, Geldof y Hanselaer, 2010).

En España, según la Guía Técnica de iluminación eficiente (DGIEM y CAEE, 2006), la iluminación representa un porcentaje elevado del consumo eléctrico que puede llegar a alcanzar en algunos casos más del 50%.

En cuanto al sector educativo, el consumo energético en concepto de iluminación es de unos 770 GWh/año (Comité Español de iluminación, 2001), lo que representa el 0.5% del consumo energético nacional y es responsable de la emisión de 462 mil toneladas de CO₂ al año.

Por consiguiente, cualquier medida de ahorro energético en iluminación, conlleva a reducciones considerables en las emisiones del dióxido de carbono, sin olvidar su importante repercusión en los costes.

Últimamente, la eficiencia energética se ha convertido en la principal preocupación de los proyectistas de los centros educativos (FENERCOM, 2012), y la demanda de mejora de la calidad de sus sistemas de iluminación está incrementando sustancialmente, con el objeto de reducir las necesidades energéticas, manteniendo unos altos estándares de calidad. Lo que afluye en unos ahorros significativos que podrían ser dedicados a otras funciones, además de la disminución de su impacto medioambiental.



Ilustración 1: Iluminación eficiente para proteger el medioambiente. (Espinosa Muñoz, 2004)

I.2 Objetivos del proyecto

El objetivo del presente trabajo es la realización de unas propuestas de mejora de la iluminación artificial de un aula de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de la Universitat Politècnica de València para obtener una alta eficiencia energética de la misma.

Para conseguirlo, primero se realiza un estudio de la iluminación artificial existente en el aula mediante un software específico en iluminación, el programa DIALux evo, adquiriendo así, los datos significativos referentes a su rendimiento visual y energético.

Después, se plantean dos propuestas de mejora de la iluminación artificial, asegurando unas condiciones visuales adecuadas y una alta eficiencia energética.

Finalmente, es necesario subrayar que las propuestas de mejora de la iluminación artificial del aula están basadas en el cumplimiento de la normativa vigente en iluminación interior de edificios docentes.

I.3 Organización del documento

Este proyecto se estructura en las siguientes secciones:

En el Capítulo I, se introduce el contexto nacional e internacional del consumo de energía eléctrica relativo al sector educativo, como se exponen los objetivos del proyecto y la estructura de la memoria.

En el Capítulo II, se expresan las características de un proyecto de iluminación artificial en un entorno docente, como se exponen los conceptos básicos de iluminación y las necesidades de los usuarios en un entorno educativo. Luego, se explican fundamentalmente los conceptos de eficiencia energética relacionados con la iluminación en centros docentes. Finalmente, se detalla el código técnico específico requerido en los establecimientos docentes y la aplicación de la sección HE3 al Alumbrado.

En el Capítulo III, se realiza un estudio de la iluminación interior de un aula de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura, en el que se detallan las características de la misma (materiales, colores, texturas), como las de las lámparas y luminarias existentes (tipo, cantidad, distribución).

El diseño actual de la iluminación interior del aula se elabora con un Software específico en iluminación, el programa DIALux evo.

Partiendo del estudio del estado actual, y aplicando los conceptos detallados en el capítulo II, se elaboran dos propuestas de mejora del diseño de la iluminación artificial del aula.

La primera propuesta propone una renovación de las luminarias, lámparas, equipos auxiliares existentes, manteniendo los materiales existentes del diseño interior del aula.

La segunda propuesta propone una renovación integral tanto del diseño interior del aula como de todos los componentes del proyecto de iluminación.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO. ESTADO DE LA CUESTIÓN

II.1. LA ILUMINACIÓN EN LOS ESPACIOS DOCENTES

II.1.1 La iluminación artificial en los espacios docentes

El aprendizaje es un proceso continuo y duradero. Uno de los requisitos más importantes para un próspero aprendizaje, es un ambiente educativo idóneo, un entorno docente que haga de la educación una experiencia agradable y motive tanto a los estudiantes como al personal docente. Una sensación de bienestar y motivación, junto con las buenas condiciones visuales constituyen la clave para un aprendizaje eficiente (Fördergemeinschaft Gutes Licht, 1994).

Tanto para los niños como para los adultos, la calidad de la iluminación en el entorno educativo influye directamente en la experiencia de aprendizaje (Raynham, 2010). Por ello, la importancia de un ambiente visual apropiado para la realización de las tareas de aprendizaje nunca puede ser sobrevalorada.

"La iluminación es una de las aportaciones medioambientales más importantes por detrás del agua y los alimentos" (Tanner, 2009).

El efecto de la iluminación en un ambiente de aprendizaje va más allá del confort visual de los usuarios (Fox, 2001), cada vez salen a la luz estudios que evidencian la repercusión de ésta, tanto en la salud como en el comportamiento y el rendimiento académico de los estudiantes (Knirk, 1979) y (Boyce, 2004).

Existe una relación directa entre la calidad de la iluminación y el rendimiento académico (Fördergemeinschaft Gutes Licht, 1994), como a su vez existe entre la fatiga visual y la salud ocular que repercute en la salud y bienestar general. Y es bien sabido que no hay marcha atrás en lo que a salud respecta, y por ello, hay que hacer especial hincapié en el diseño de la iluminación de las aulas, para conseguir un rendimiento académico óptimo a la vez que preservar la salud ocular de los alumnos.

El informe de Richard J. Wurtman (Wurtman, 1968), que estudia las implicaciones biológicas de la iluminación artificial sobre los seres humanos y otros mamíferos, señala que además de proporcionar estímulos visuales, la iluminación ejerce profundos efectos biológicos y sirve como sincronizador de los ritmos básicos del cuerpo.

Por consiguiente, es necesario que las instalaciones de iluminación de un centro docente, proporcionen un entorno visual confortable, que permite a los usuarios seguir su actividad sin demandar de ellos un sobre esfuerzo visual.

Finalmente, se concluye que, además de garantizar un rendimiento eficiente de las tareas visuales, un buen sistema de iluminación contribuye significativamente al carácter estético y psicológico del espacio de aprendizaje, por eso, la iluminación debe ser una parte integrante del diseño de toda la instalación educativa (Baas, 1973).

II.1.2 Necesidades de los usuarios en los espacios docentes

El diseño de un proyecto de iluminación en un centro docente, debe centrarse principalmente en las necesidades de los usuarios y las tareas visuales que deben ejercer, adaptándose a las nuevas tecnologías y métodos docentes, con objeto de crear un ambiente incitante, agradable y acogedor, es decir, garantizar un confort visual y una sensación de bienestar.

Los elementos a considerar a la hora de diseñar un proyecto de iluminación artificial, que definen su calidad y garantizan el confort visual de los usuarios son los siguientes:

Illuminancia (E)

La iluminancia se refiere al nivel de flujo luminoso que incide sobre una superficie y se mide en lux (1lumen/m²).

La verificación de la iluminancia que se refiere a una tarea específica, debe ser medida en el plano de la tarea.

Para poder realizar la tarea visual de modo confortable y seguro en un aula, la norma UNE EN 12464-1, nos indica que la iluminancia media no debe estar por debajo de 300lx sobre el área de tarea, y de 200lx sobre las áreas circundantes inmediatas.

Uniformidad (U)

La distribución de la luz, en el área de la tarea, debe ser lo más uniforme posible para evitar molestias visuales que puedan causar cierta incomodidad y afectar al confort de los usuarios (Waide y Tanishima, 2006).

La uniformidad media de la iluminancia es el cociente entre la iluminancia mínima y la iluminancia media sobre el área de tarea: $U_0 = E_{\min}/E_m$

La norma UNE EN 12464-1 especifica una uniformidad mayor o igual a 0,5 para la iluminancia de las áreas circundantes, y una uniformidad mayor o igual a 0,7 para la iluminancia del área de la tarea (Ver tabla 1).

La norma UNE EN 12464-1, en el apartado II.4.1.1, expone los valores de la uniformidad media de la iluminancia que precisa según las distintas tareas y actividades que se desempeñan en un establecimiento educativo (Ver tabla 5).

Illuminancia de tarea lux	Illuminancia de áreas circundantes inmediatas lux
≥ 750	500
500	300
300	200
≤ 200	E_{tarea}
Uniformidad: ≥ 0,7	Uniformidad: ≥ 0,5

Tabla 1: Uniformidades y relación entre iluminancias de áreas circundantes inmediatas al área de tarea.(AENOR, 2012)

Deslumbramiento

El deslumbramiento es uno de los efectos secundarios más perturbadores de la iluminación, que ocurre cuando una parte de la escena visual es mucho más brillante que el resto dentro del campo visual. El deslumbramiento puede ser directo, debido a las lámparas sin protección, cuyo flujo incide directamente en el ojo; o indirecto mediante su reflejo en una superficie especular.

El deslumbramiento puede ser experimentado de dos formas, como deslumbramiento incapacitante, que supone una disminución en la capacidad del sistema visual (Castilla, 2015); o como deslumbramiento molesto, cuando se experimentan molestias visuales que puedan causar fatiga ocular y dolores de cabeza (Winterbottom y Wilkins, 2009).

La limitación del deslumbramiento directo se indica mediante el índice de deslumbramiento unificado (UGR), que debería ser de 19, según la norma UNE EN 12464-1, en el caso de los centros docentes y para la realización de la mayoría de las actividades.



*Ilustración 2: Deslumbramiento indirecto incapacitante, Roy Thomson Hall, Toronto, Canadá.
(J.Vetterli, 2008)*

Índice de reproducción cromática (IRC/Ra)

La forma en la que percibimos los colores bajo luz artificial depende de las propiedades de reproducción cromática de las lámparas.

El índice de reproducción cromática (IRC) mide la capacidad de una fuente de luz para reproducir con fidelidad los colores de los objetos que ilumina.

Según la Comisión Internacional de la Iluminación (CIE, 1995), el IRC se basa en la comparación del aspecto cromático de los objetos bajo una fuente de luz con su aspecto bajo una fuente de luz de referencia.



Ilustración 3: Comparación de los rendimientos cromáticos correspondientes a distintos IRC. (Philips Lighting, 2018)

El valor máximo de Ra es de 100. La norma establece un valor mínimo de 80 para iluminar cualquier zona en la que haya permanencia de personas. Es importante para las prestaciones visuales y la sensación de bienestar, que los colores del entorno sean reproducidos de forma natural. Según (Küller, Ballal, Laike, Mikellides y Tonello, 2006), la exposición de objetos a lámparas con alto índice de reproducción cromática, ayuda a mejorar el estado de ánimo de los usuarios.

Temperatura de color (TC)

La apariencia de color de la lámpara o temperatura de color de una fuente de luz se define comparando su color dentro del espectro luminoso con la luz que emitiría un cuerpo negro calentado a una temperatura determinada (Wikipedia, 2015).

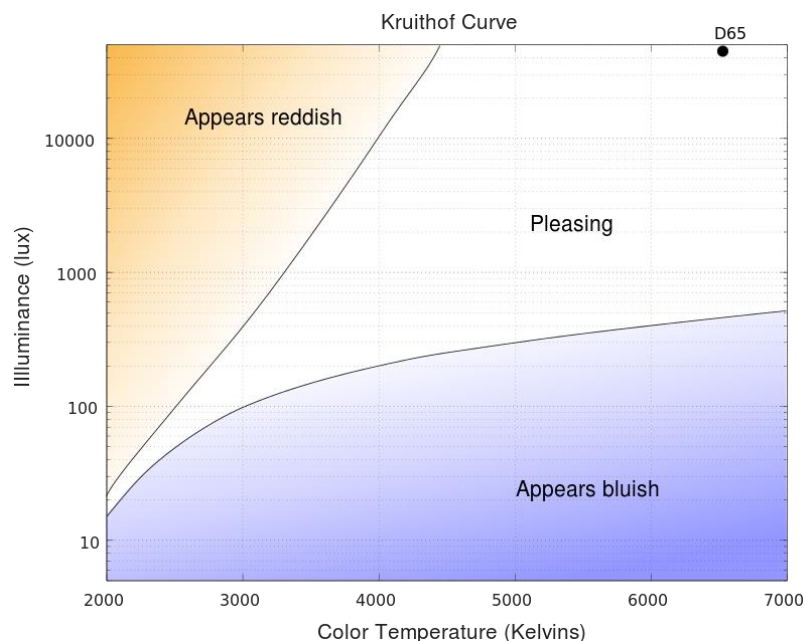


Ilustración 4: Curvas de Kruithof: Relación entre la iluminancia y la temperatura de color. (S.Weintraub, 2000)

Las fuentes de luz con un valor TC bajo producen una luz amarilla cálida, mientras que las fuentes de luz con una valor más alto producen una luz azul fría.

La luz puede tener diferentes temperaturas de color y se expresan en Kelvin.

Apariencia de color	Temperatura de color correlacionada T_{CP} K
Cálida	inferior a 3 300 K
Intermedia	3 300 K a 5 300 K
Fría	superior a 5 300 K

Tabla 2: Grupos de apariencia de color de lámparas. (AENOR, 2012)



Ilustración 5: Comparación de colores de luz de distintas fuentes de luz. (S.Weintraub, 2000)

II.1.3 Espacios docentes y actividad visual

En las distintas dependencias de un centro docente, se suelen desarrollar diferentes actividades que requieren tratamientos específicos según los requisitos visuales de cada.

Estas actividades se pueden clasificar según el nivel de percepción que se precisa para realizar una tarea determinada (Comité Español de iluminación, 2001).

Los espacios con actividad visual elevada, como son los talleres, requieren un nivel más intenso de iluminación y una gran uniformidad. Otro aspecto muy importante en el alumbrado de las aulas de enseñanza práctica, es la apariencia del color, por lo cual se requieren unas fuentes de luz con un alto índice de reproducción cromática.

Las aulas de teoría se consideran como espacios con actividad visual normal, donde el alumbrado tiene que proporcionar una iluminación más suave, agradable y muy uniforme. En el caso de las áreas donde se requiere un nivel más alto de iluminancia, se puede mejorar sustancialmente la visibilidad mediante una iluminación de acento, dependiendo de la tarea que se desea realizar en ellas, garantizando así el nivel adecuado.

Asimismo, para adaptar el diseño del aula a las nuevas tecnologías y nuevos métodos docentes, hay que permitir una libre distribución de mobiliario, y para ello evitar en gran medida deslumbramientos y reflejos.

Hoy en día, la mayoría de los estudiantes trabajan sobre un ordenador, lo que requiere una iluminación sin deslumbramiento, prevenir los reflejos en las pantallas, asegurar que los colores se reproducen adecuadamente y que se mantenga siempre el mismo nivel de brillo de las pantallas.

Además, hay que prestar especial atención a la iluminación del plano de la pizarra. Las sombras y reflejos en la pizarra dificultan la lectura y causan fatiga visual, lo que conlleva a una pérdida tanto de la concentración como de la motivación (Fördergemeinschaft Gutes Licht, 1994).

Por ello, se recomienda el uso de los bañadores de pared para iluminar el plano de la pizarra (Comité Español de iluminación, 2001), otorgando así una gran iluminación vertical, sin que haya zonas que salgan del área iluminada.

En el caso de recibir las instrucciones mediante un proyector, la iluminación frontal puede ser atenuada para hacer que las imágenes proyectadas se vean con más claridad.

En los espacios con actividad visual baja, como son los pasillos, los aseos y almacenes, los requerimientos del alumbrado no son tan exigentes como lo son para los espacios citados anteriormente, siempre que se garanticen los niveles de iluminancia, la limitación del deslumbramiento y el índice de reproducción cromática indicados en la normativa.

II.2 . CONCEPTOS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

La cantidad de energía consumida por una instalación de iluminación es relevante y ocupa, en la mayoría de los casos, el segundo lugar después de la calefacción, refrigeración y ventilación (Ruffells, 2017). Por lo tanto, existe un margen considerable de actuación para reducir el consumo energético mediante una instalación de alumbrado eficiente que permite, a la vez, la disminución de las necesidades energéticas y el impacto medioambiental sin renunciar a los altos estándares de calidad.

II.2.1 Índice de eficiencia energética (IEE):

El índice de eficiencia energética, es un factor que mide la eficiencia energética de una instalación. Se calcula comparando su potencia corregida en función de las posibles pérdidas de los mecanismos de control, con su potencia de referencia (El Parlamento Europeo, 2012), mediante la siguiente fórmula:

$$\text{IEE} = P_{\text{corr}}/P_{\text{ref.}}$$

El IEE medio recomendado es un intervalo entre un IEE óptimo y un IEE máximo.

El baremo para los centros docentes:

IEE óptimo 2,0 < IEE medio 3,5 < IEE máximo 4,5

II.2.2 Evaluación del consumo

La electricidad que consumen las lámparas eléctricas constituye un porcentaje significativo de la demanda total de electricidad de la Unión Europea (El Parlamento Europeo, 2012). Las medidas de ahorro en el consumo eléctrico, conllevan a unas reducciones considerables en el consumo energético que puede afectar a la eficiencia energética de la instalación.

El consumo energético (E):

La energía consumida en (kWh) es igual a la potencia instalada del sistema de alumbrado multiplicada por el número de horas de uso del local iluminado.

Potencia instalada (P):

La potencia instalada depende de la fuente de luz y la luminaria, las proporciones del interior y la reflectancia de las superficies interiores, y se calcula multiplicando el número de lámparas por su potencia unitaria, teniendo en cuenta que en la potencia de la lámpara es necesario incluir la potencia del equipo auxiliar si existe.

“La forma más simple de conseguir una reducción del consumo energético con la iluminación consiste en limitar las horas de uso al tiempo mínimo necesario”

(Ruffells, 2017).

II.2.3 Etiquetado energético

La etiqueta energética indica qué grado de eficiencia energética tiene una fuente de luz, lo que permite comparar y saber que lámparas ahorran más energía.

El reglamento delegado (UE) N° 874/2012 de la comisión de 12 de julio de 2012 (El Parlamento Europeo, 2012), especifica el siguiente diseño para las etiquetas que se utilizan en lámparas y luminarias:

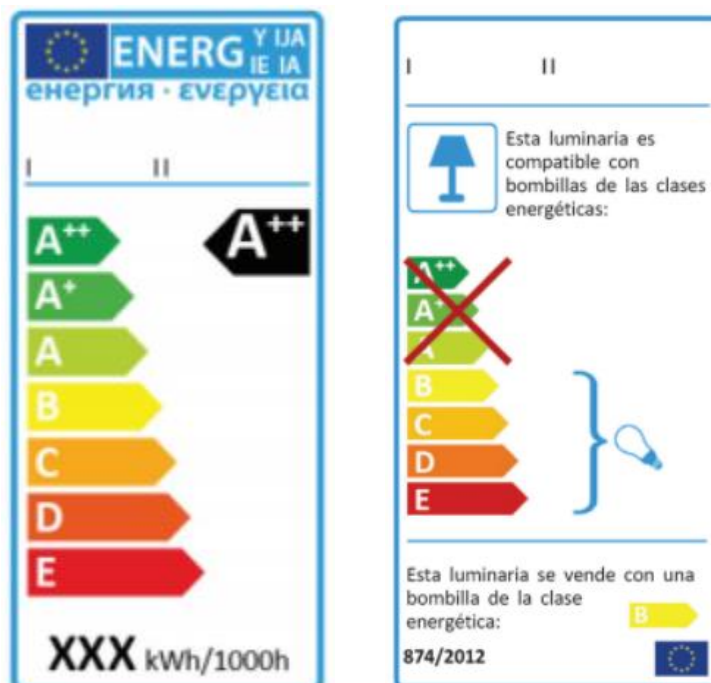


Ilustración 6: Izquierda: Etiqueta para lámparas; Derecha: Etiqueta para luminarias. (El Parlamento Europeo, 2012)

En la parte superior de las etiquetas se indican el nombre del proveedor y el código identificador del modelo.

Toda etiqueta incluye la clase de eficiencia energética.

Existen siete clases de eficiencia energética, identificadas con una letra desde la A (máxima eficiencia) a la E (mínima eficiencia).

La clase de eficiencia energética de las lámparas se determinará en base a su índice de eficiencia energética (IEE).

Clase de eficiencia energética	Índice de eficiencia energética (IEE) para lámparas no direccionales	Índice de eficiencia energética (IEE) para lámparas direccionales
A++ (máxima eficiencia)	$IEE \leq 0,11$	$IEE \leq 0,13$
A+	$0,11 < IEE \leq 0,17$	$0,13 < IEE \leq 0,18$
A	$0,17 < IEE \leq 0,24$	$0,18 < IEE \leq 0,40$
B	$0,24 < IEE \leq 0,60$	$0,40 < IEE \leq 0,95$
C	$0,60 < IEE \leq 0,80$	$0,95 < IEE \leq 1,20$
D	$0,80 < IEE \leq 0,95$	$1,20 < IEE \leq 1,75$
E (mínima eficiencia)	$IEE > 0,95$	$IEE > 1,75$

Tabla 3: Clases de eficiencia energética para lámparas. (El Parlamento Europeo, 2012)

En la parte inferior se indica el consumo de energía en kWh por periodo de 1000 horas.

En el caso de las etiquetas energéticas de las luminarias, se informa sobre las clases de eficiencia energética de las lámparas compatibles.

II.3 . CRITERIOS DE DISEÑO DE LA ILUMINACIÓN ARTIFICIAL EFICIENTE EN LOS ESPACIOS DOCENTES

Un sistema de alumbrado energéticamente eficiente proporciona un alto nivel de confort visual, mejor luz para cada tarea y permite obtener una importante reducción del consumo, sin necesidad de disminuir la calidad de sus prestaciones.

Para obtener buenos resultados de confort visual y asegurar una alta eficiencia energética, es preciso atribuir calidad al diseño, teniendo en cuenta todos aquellos componentes que intervienen en la obtención de una buena iluminación, como son los elementos del diseño interior (el color y la textura de las superficies, el mobiliario, los elementos de control de la luz natural y artificial), junto a una adecuada elección de los componentes de la instalación del alumbrado (luminarias, lámparas y equipos auxiliares), sin olvidar los mecanismos de gestión, control y mantenimiento.

II.3.1 Elección de los componentes del proyecto de iluminación artificial

II.3.1.1 Criterios de elección de lámparas según su eficacia

La lámpara es un aparato que transforma una energía eléctrica o química en energía lumínica y por consiguiente nos permite interpretar nuestro entorno en caso de deficiencia o ausencia de luz natural.

Para conseguir una iluminación eficiente, primero hay que determinar el tipo de tarea visual que se realiza en el espacio a iluminar (Ver tabla5).

El criterio de elección de las lámparas, según la tarea visual, se basa en unos parámetros que determinan sus características y por consiguiente su rendimiento.

El flujo luminoso

Es la cantidad de luz emitida por una fuente de luz en una unidad de tiempo, y se expresa en lumen (lm):

$$F = Q / t$$

Eficacia luminosa

Eficacia o eficiencia luminosa de una fuente de luz, es la cantidad de energía eléctrica consumida por esta, que se transforma en luz visible.

El índice de eficacia es una medida de la eficiencia luminosa de una lámpara, y se determina como el cociente entre su flujo luminoso y la potencia eléctrica consumida. Se expresa en lumen por vatio (lm/W):

$$E = F / w$$

Según la guía técnica de iluminación eficiente (DGIEM y CAEE, 2006), en los centros docentes en general, se deben utilizar lámparas con una eficacia mayor o igual a 60 lm/W.

Vida útil

La vida útil de una lámpara es el tiempo durante el cual su flujo luminoso no desciende por debajo del 70% de su valor nominal (Giménez, Villa, y María, 1995), es decir, funciona sin perder rendimiento luminoso. Se expresa en horas.

Además, las lámparas se eligen también por sus propiedades de color, temperatura de color e índice de reproducción cromática (Ver apartado II.1.2).

La siguiente figura muestra una comparación de los distintos tipos de lámparas en función de su eficacia luminosa, vida útil, costes, y propiedades cromáticas.

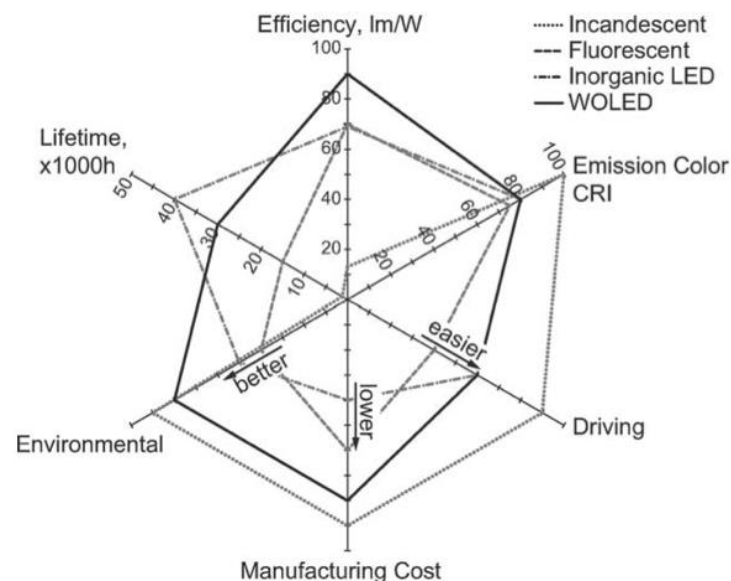


Ilustración 7: Comparación de las distintas fuentes de luz en función de su eficacia luminosa, vida útil, costes, y propiedades cromáticas (Gather, Köhnen, & Meerholz, 2011).

Las lámparas incandescentes presentan el mayor índice de reproducción cromática; sin embargo, su eficacia luminosa y vida útil son muy bajas.

Las lámparas fluorescentes, generalmente son las lámparas más utilizadas en centros docentes, presentan una mejora de eficacia del orden del 60%, así como un aumento en la vida útil de 10 veces respecto a las lámparas incandescentes.

Los Diodos Emisores de Luz (LED: Lighting Emitting Diode), están basados en semiconductores que transforman directamente la corriente eléctrica en luz (FENERCOM, 2012), por lo que tienen una elevada vida útil (hasta 50.000 horas) y son muy resistentes a los golpes. Las lámparas LED son un 60 % más eficientes que las lámparas incandescentes.

Los Diodos Emisores Orgánicos de Luz (OLEDs : Organic Light-Emitting Diodes), son fuentes de luz de panel plano conceptualmente diferentes de las fuentes de luz utilizadas actualmente. Sus ventajas incluyen una alta eficiencia energética que rivaliza con el rendimiento de las lámparas fluorescentes y los LED, además de ser antideslumbrantes (Gather et al., 2011). Antes, estas fuentes de luz se utilizaban para una iluminación decorativa. Últimamente, se ha constatado que se puede lograr paneles OLED, de luz blanca, con una eficacia hasta 150lm/W, que podrían ser utilizados en un alumbrado general (Bommel, Rouhana, & Philips, 2011).

Se deduce que el incremento de la vida útil de las lámparas influye notablemente en los gastos de mantenimiento y el consumo eléctrico. Por lo cual, la mejor manera, para disminuir el gasto energético de una instalación de alumbrado, cambiando solo las lámparas, es la elección de lámparas de mayor vida útil.

II.3.1.2 Criterios de elección de luminarias según su eficiencia

La luminaria es un aparato, que forma parte de la instalación de alumbrado, responsable de la repartición, filtración o transformación de la luz emitida por las lámparas y que comprende todos los dispositivos necesarios para su soporte, fijación y protección. Para conseguir una iluminación eficiente, además de la eficacia de las lámparas, hay que tener en cuenta el rendimiento de la luminaria, de forma que refleje y distribuya mejor la luz emitida por las lámparas.

Distribución de la intensidad luminosa

La curva de distribución luminosa es un diagrama polar donde se representa la intensidad luminosa de una lámpara o de una luminaria.

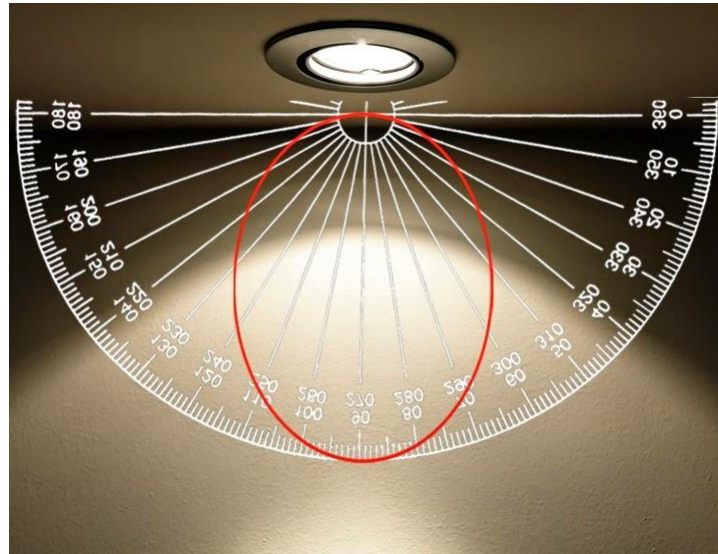


Ilustración 8: Curva de distribución de la intensidad luminosa. (CEC, 2014)

Cada luminaria tiene una curva de distribución luminosa propia que se adapta a unos determinados criterios de alumbrado.

En la siguiente ilustración se da una recomendación del tipo de aplicación para cada tipo de distribución.






Tipo de distribución	Aplicación
Difusa	 Iluminación general y decorativa
Extensiva	 Iluminación general
Intensiva	 Iluminación general para grandes alturas
Asimétrica	 Iluminación perimetral y pizarras
Intensiva orientable	 Iluminación de acento y decorativa

Ilustración 9: Tipo de aplicación recomendada según la curva de distribución de la intensidad luminosa. (Comité Español de iluminación, 2001)

La curva de distribución de la intensidad luminosa de la luminaria depende del difusor y el reflector, y es distinta de la curva obtenida de la lámpara sin luminaria. Lo que determina su rendimiento luminoso.

Índice de rendimiento de luminarias recomendado

El rendimiento luminoso (L.O.R.L.: Light Output Ratio Luminaire), se define como el cociente entre el flujo luminoso de la luminaria y el flujo luminoso de la lámpara.

$$n = \text{Flujo luminoso luminaria} / \text{Flujo luminoso lámpara}$$

Para el alumbrado general en las aulas, se recomienda el uso de luminarias con un rendimiento mayor o igual al 60% (DGIEM y CAEE, 2006).

Factor de utilización (UF)

El factor de utilización de una instalación de alumbrado o la utilancia, se define como el cociente entre el flujo luminoso que llega al plano útil y el flujo luminoso emitido por la luminaria. Este factor depende de la eficacia de las luminarias, de la reflectancia de las paredes y del índice del local (K).

La guía técnica de eficiencia energética en iluminación estima que para una instalación energéticamente eficiente, el factor de utilización del sistema de iluminación debe ser superior a 0,5.

Se concluye entonces, que un alumbrado eficiente es el que tiene un alto factor de utilización y bajo consumo de energía, además de proporcionar el nivel de iluminación requerido.

II.3.1.3 Equipos auxiliares

El equipo auxiliar es un dispositivo eléctrico que acompaña una lámpara y tiene como funciones proveer los medios de arranque, establecer el control de la lámpara para el encendido/ apagado y mantener los valores nominales constantes del funcionamiento de las lámparas.

El equipo auxiliar influye de forma determinante en la eficiencia energética del conjunto (Assaf, 2006). Por lo cual, hay que considerar el consumo eléctrico de estos equipos a la hora de evaluar el consumo total del sistema de iluminación.

Los equipos auxiliares más comunes son los balastos, arrancadores y condensadores.

Balasto

Es un dispositivo que limita y estabiliza la corriente que pasa a través de él, impidiendo que dicha corriente crezca indefinidamente hasta la destrucción de la lámpara.

Condensador

El condensador es el componente que va asociado al balasto, para corregir el factor de potencia o regular la corriente que pasa a través de él.

Arrancador

El arrancador es el componente que proporciona la tensión necesaria para el cebado de la lámpara en el momento del encendido. Los arrancadores pueden ser eléctricos, electrónicos o electromecánicos.

II.3.2 Elementos del diseño interior

Factor de reflexión

El techo y las paredes de un local pueden considerarse como una extensión de las superficies reflectantes de la luminaria (Ruffells, 2017). Por lo cual hay que tener mucho cuidado con los materiales y colores empleados, es decir respetar los valores de reflexión recomendados para cada tipo de superficie, para mantener el nivel de confort visual y evitar molestias que impidan el desarrollo de la tarea de manera eficiente.

Superficie	Valores de Reflexión
Techos	0,70 - 0,80
Paredes	0,50 - 0,70
Divisiones	0,50 - 0,70
Pizarra oscura	0,05 - 0,20
Pizarra clara	0,50 - 0,70
Suelos	0,15 - 0,20
Mobiliario y equipo	0,20 - 0,40
Cortinas y/o persianas	0,50 - 0,70

Tabla 4: Valores de reflexión recomendadas para cada tipo de superficie. (Comité Español de iluminación, 2001)

II.3.3 Gestión de la iluminación artificial eficiente: Sistemas de regulación y control

Los sistemas de regulación y control de la luz permiten un mejor aprovechamiento de la energía consumida, reduciendo los costes energéticos y de mantenimiento.

El ahorro energético conseguido al instalar un sistemas de control, puede llegar hasta el 85% (FENERCOM, 2012).

El sistema de control del alumbrado puede ser mediante interruptores, detectores de movimiento y de presencia, células fotosensibles o calendarios y horarios preestablecidos.

Cuando se opta por un sistema de control de la iluminación artificial mediante interruptores manuales, los ocupantes del local pueden apagar el alumbrado durante su ausencia. Si se utilizan interruptores temporizados, las lámparas son apagadas desde un panel central según un calendario establecido.

También es posible establecer un sistema centralizado de gestión, aplicando un control horario, de acuerdo con las necesidades del usuario, que evite dejar luces encendidas. Este tipo de sistema es muy recomendable en universidades o centros de formación.

El control de alumbrado artificial mediante detectores de presencia consiste en el apagado de la instalación si, a pesar de la presencia de alguna persona en el interior, esta permanece durante un periodo de tiempo en actitud estática.

Otro tipo de regulación de iluminación artificial, es mediante el control de la aportación de luz natural en el interior del local, por medio de fotocélulas consistentes en un sensor que mide la cantidad de luz natural que recibe el plano de trabajo, y que ajusta automáticamente la aportación de luz artificial necesaria para la correcta realización de la tarea que se desea desarrollar.

“Además de reducir el uso, se consigue mayor eficiencia utilizando los equipos de control más adecuados”. (Ruffells, 2017)

II.3.4 Mantenimiento energético

Para garantizar en el transcurso del tiempo el mantenimiento de los parámetros luminotécnicos adecuados y el valor de eficiencia energética de la instalación, se elabora un plan de mantenimiento de las instalaciones de iluminación que incluye la limpieza de las luminarias, la sustitución de lámparas al final de su vida útil y la revisión periódica del estado de los distintos componentes de la instalación.

II.4 EFICIENCIA ENERGÉTICA. NORMATIVA APLICABLE

II.4.1 Aplicación de la sección HE3 al Alumbrado

II.4.1.1 Requisitos del alumbrado para áreas interiores, tareas y actividades según la une-en 12464-1

Para satisfacer las necesidades de confort y prestaciones visuales, es necesario especificar los requisitos mínimos que deben ser estudiados en función de las tareas que se desean realizar en el local a iluminar.

Nº ref.	Tipo de interior, tarea y actividad	\bar{E}_m lx	UGR_L -	U_o -	R_a -	Requisitos específicos
5.36.1	Aulas, aulas de tutoría	300	19	0,60	80	La iluminación debería ser controlable
5.36.2	Aulas para clases nocturnas y educación de adultos	500	19	0,60	80	La iluminación debería ser controlable
5.36.3	Auditorium, sala de lectura	500	19	0,60	80	La iluminación debería ser controlable para colocar varias A/V necesarias
5.36.4	Pizarras negras, verdes y blancas	500	19	0,70	80	Deben evitarse las reflexiones especulares El presentador/profesor debe iluminarse con la iluminancia vertical adecuada
5.36.5	Mesa de demostraciones	500	19	0,70	80	En salas de lectura 750 lx
5.36.6	Aulas de arte	500	19	0,60	80	
5.36.7	Aulas de arte en escuelas de arte	750	19	0,70	90	$5\ 000\ K \leq T_{CP} < 6\ 500\ K$
5.36.8	Aulas de dibujo técnico	750	16	0,70	80	
5.36.9	Aulas de prácticas y laboratorios	500	19	0,60	80	
5.36.10	Aulas de manualidades	500	19	0,60	80	
5.36.11	Talleres de enseñanza	500	19	0,60	80	
5.36.12	Aulas de prácticas de música	300	19	0,60	80	
5.36.13	Aulas de prácticas de informática (guiado por menú)	300	19	0,60	80	Trabajo con EPV, véase el apartado 4.9
5.36.14	Laboratorio de lenguas	300	19	0,60	80	
5.36.15	Aulas de preparación y talleres	500	22	0,60	80	
5.36.16	Vestíbulo de entrada	200	22	0,40	80	
5.36.17	Áreas de circulación, pasillos	100	25	0,40	80	
5.36.18	Escaleras	150	25	0,40	80	
5.36.19	Aulas comunes de estudio y aulas de reunión	200	22	0,40	80	
5.36.20	Salas de profesores	300	19	0,60	80	
5.36.21	Biblioteca: estanterías	200	19	0,60	80	
5.36.22	Biblioteca: áreas de lectura	500	19	0,60	80	
5.36.23	Almacenes de material de profesores	100	25	0,40	80	
5.36.24	Salas de deportes, gimnasios, piscinas	300	22	0,60	80	Véase la Norma EN 12193 para las condiciones de entrenamiento
5.36.25	Cantinas escolares	200	22	0,40	80	
5.36.26	Cocina	500	22	0,60	80	

Tabla 5: Requisitos mínimos de alumbrado en los establecimientos educativos.(AENOR, 2012)

Iluminancia mantenida (E_m)

Los valores dados en la tabla son iluminancias mantenidas, por debajo de los cuales no debe caer la iluminancia media de una tarea. Estos valores tienen en cuenta aspectos psicológicos y fisiológicos (Wurtman, 1968), como el confort visual y el bienestar, ergonomía visual, experiencia práctica, seguridad y economía.

Índice de Deslumbramiento Unificado (UGR)

Los valores dados en la tabla se corresponden con el valor límite del Índice de Deslumbramiento Unificado (UGRL), que va de 10 a 31, para cada una de las tareas con el fin de evitar el deslumbramiento molesto.

Uniformidad (U_0)

El valor mínimo de la uniformidad media de la iluminancia, en el aula, recomendada por la normativa es de 0,6.

El índice de reproducción cromática (R_a)

Tal y como se ha avanzado, el índice de reproducción cromática es un factor que representa la capacidad de una fuente de luz para reproducir los colores reales de los objetos que ilumina. Cumplir con los valores límite fijados por la normativa permite una correcta interpretación de nuestro entorno.

II.4.1.2 Potencia total máxima instalada (P)

La potencia total máxima instalada en iluminación es la suma de las potencias de las lámparas y los equipos auxiliares. Según la normativa no debe superar los valores especificados en la siguiente tabla:

Uso del edificio	Potencia máxima instalada [W/m ²]
Administrativo	12
Aparcamiento	5
Comercial	15
Docente	15
Hospitalario	15
Restauración	18
Auditorios, teatros, cines	15
Residencial Público	12
Otros	10
Edificios con nivel de iluminación superior a 600lux	25

Tabla 6: Potencia máxima de iluminación. (Ministerio de Fomento, 2017)

II.4.1.3 Valor de eficiencia energética de una instalación de iluminación (VEEI)

La eficiencia energética de una instalación de iluminación de una zona, se determina mediante el valor de eficiencia energética de la instalación VEEI (W/m²) por cada 100lux mediante la siguiente expresión:

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

siendo

P la potencia de la *lámpara* más el *equipo auxiliar* [W];

S la superficie iluminada [m²];

E_m la *iluminancia media horizontal mantenida* [lux]

Los valores de eficiencia energética límite en recintos interiores vienen en la siguiente tabla:

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, <i>salas técnicas</i> 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

Tabla 7: Valores límite de eficiencia energética de la instalación. (Ministerio de Fomento, 2017)

CAPÍTULO III: DESARROLLO DEL TRABAJO

III.1 Análisis del estado actual de la iluminación artificial en un aula de la ETSA

III.1.1 Descripción del aula

Aula 512 de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de la Universidad Politécnica de Valencia.



Ilustración 10: fotografía del aula 512 de la ETSA. (Elaboración propia)

Superficie: **162** m².

Dimensiones:

- Longitud: **18**m; Anchura: **9**m; Altura: **2,9** m.

Características constructivas:

- Ventanas de 18 m de longitud y 1m de altura.
- Falso techo de aluminio de 7m x 18m.
- Una puerta de 1'20 de anchura y 2'9m de altura.
- Pared pladur.
- Pizarra de 4'80m de longitud y 1m de altura.

Reflectancia de las superficies del aula:

- Falso techo: Acabado color gris claro; reflectancia **0'70**.
- Paneles de corcho 2m de altura; reflectancia **0'2**.
- Pared Pladur: Acabado color blanco; reflectancia **0'60**.
- Suelo: Granítico pulido liso/ mosaico Negro; reflectancia **0'05**.

- Pizarra: Acabado en color verde; reflectancia **0'10**.
- Puertas: Acabado en madera; reflectancia **0'48**.
- Mesas de laqueado blanco semi-mate; reflectancia **0'30**.
- Sillas de madera clara y brillante; reflectancia **0'46**.

III.1.2 Análisis de la iluminación artificial existente del aula

Componentes del alumbrado actual del aula:

Alumbrado general formado por 34 luminarias básicas sin rejilla de **PHILIPS Lineco TMS022**.



Ilustración 11: Luminaria Philips Lineco TMS022. (Resultados DIALux evo)

2 luminarias x 1 lámpara

Las lámparas son fluorescentes instaladas en las luminarias son: **PHILIPS TLD 18W/840**.

El primer dígito (8) indica la reproducción cromática, en este caso es 80, y los dos siguientes dígitos (40) indican la temperatura de color (4000 K).

2 filas x 11 luminarias x 1 lámpara.

1 fila x 10 luminarias x 1 lámpara.

Las lámparas son fluorescentes instaladas en las luminarias son: **PHILIPS TLD 58W/840**.

El primer dígito (8) indica la reproducción cromática, en este caso es 80, y los dos siguientes dígitos (40) indican la temperatura de color (4000 K).



Ilustración 12: fotografía de lámpara Philips TLD 18W/840. (Elaboración propia)



Ilustración 13: fotografía de lámpara Philips TLD 58W/840. (Elaboración propia)

Se adjuntan las fichas técnicas de las distintas luminarias y lámparas instaladas en el Anexo2.

Iluminación del plano de pizarra

Para iluminar de la pizarra, se utiliza la misma luminaria de **PHILIPS Lineco TMS022**, de 1 lámpara fluorescente **PHILIPS TLD 58W/840**, a la cual se añade una carcasa para una mejor distribución de luz en el plano de pizarra y evitar el deslumbramiento.

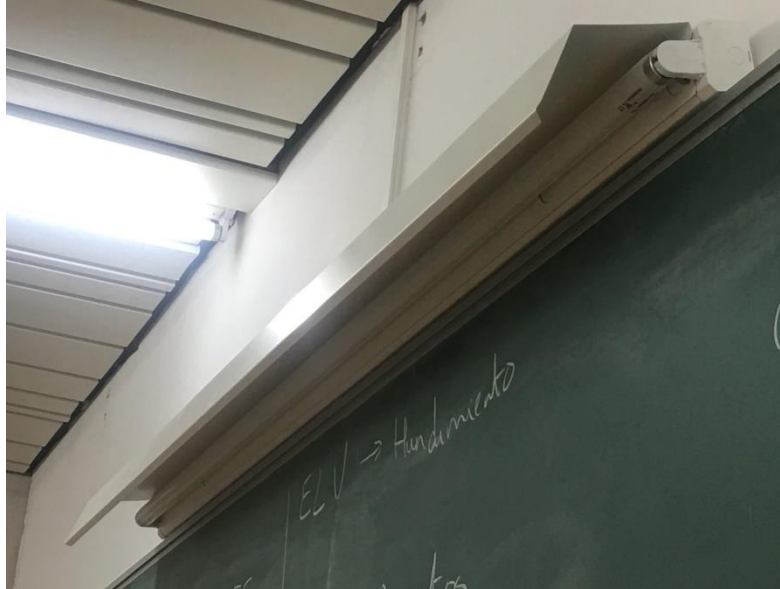
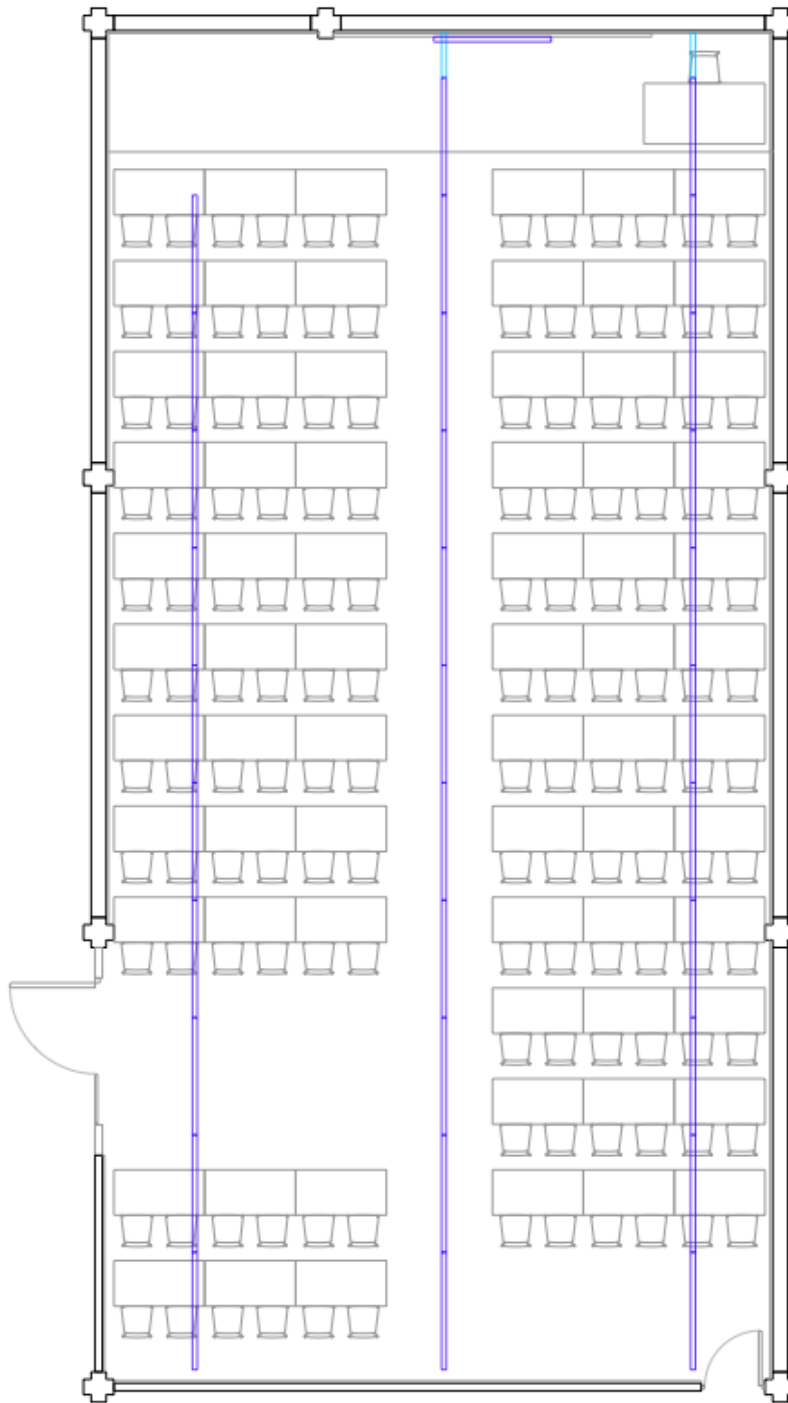


Ilustración 14: fotografía de luminaria utilizada para iluminar el plano de pizarra. (Elaboración propia)

Desde el punto de vista de control de la iluminación, el aula tiene su alumbrado comandado por interruptores manuales, junto con un detector de presencia.

Plano de distribución de las luminarias en el aula:



2xPhilips Lighting-TMS022 1xTL-D18W HFS +GMS022 R
33xPhilips Lighting-TMS022 1xTL-D58W HFS +GMS022 R

Ilustración 15: Plano de distribución actual de las luminarias en el aula. (Elaboración propia)

III.1.3 Simulación del alumbrado actual del aula con DIALux evo



Ilustración 16: Simulación del estado actual del aula con DIALux evo –Vista1-(Elaboración propia)



Ilustración 17: Simulación del estado actual del aula con DIALux evo –Vista2-(Elaboración propia)

III.1.3.1 Resultados del rendimiento del alumbrado actual del aula generados con DIALux evo

Se adjuntan todos los documentos generados con del DIALux evo en el Anexo 3.

Cuantificación de las luminarias del alumbrado del aula

El plano de la superficie de la tarea visual se sitúa a una altura de 0.80m del plano del suelo en el cual se obtienen los siguientes resultados:

$$E_m = 594 \text{ lx}$$

$$E_{\min} = 413 \text{ lx}$$

$$E_{\max} = 700 \text{ lx}$$

$$U = E_{\min} / E_m = 0.70$$

Isolíneas [lx]

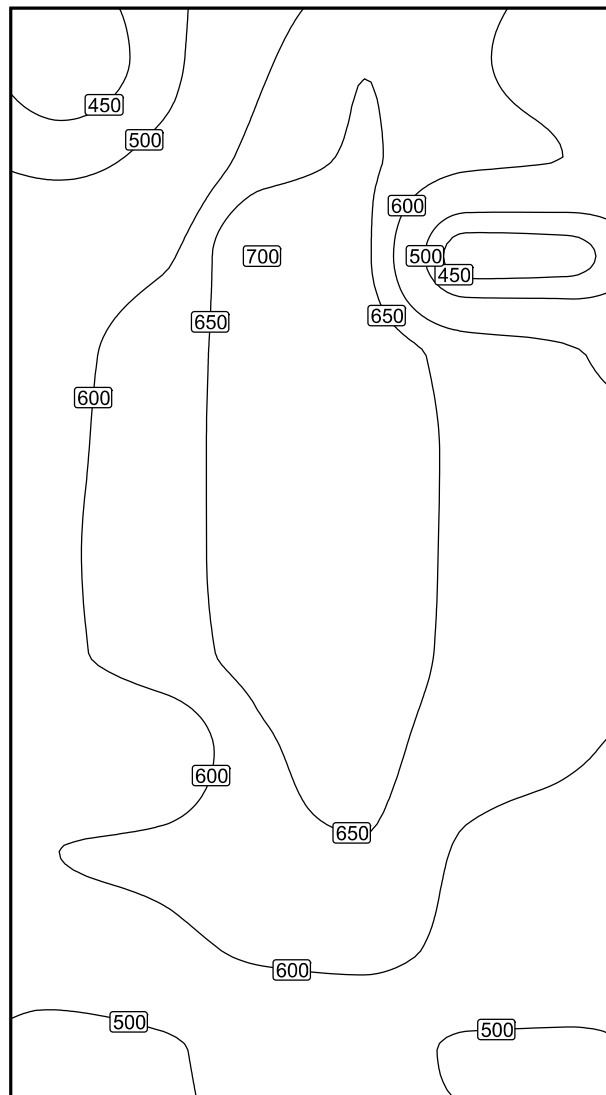


Ilustración 18: Estado actual: Distribución de iluminancia en el área de la tarea. (Elaboración propia)

En cuanto a la iluminación del plano de pizarra obtenemos los siguientes resultados:

$$E_m = 399 \text{ lx}$$

$$E_{\min} = 297 \text{ lx}$$

$$E_{\max} = 798 \text{ lx}$$

$$U = E_{\min} / E_m = 0.74$$

Isolíneas [lx]

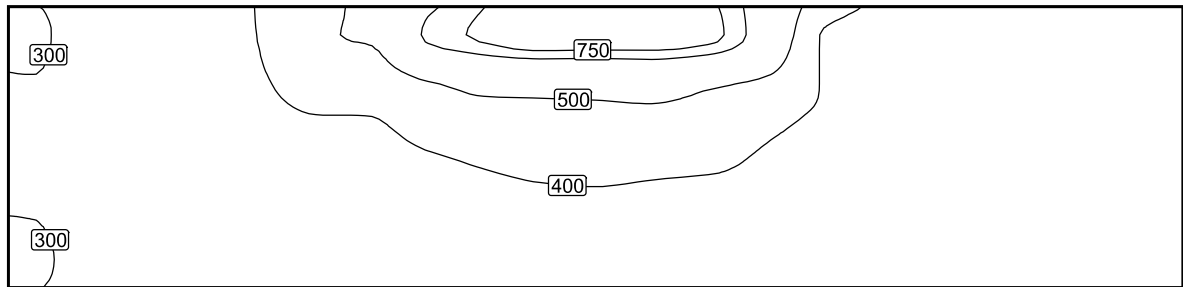


Ilustración 19: Estado actual: Distribución de iluminancia en el plano de pizarra. (Elaboración propia)

Calidad de la distribución luminosa

La altura de vista de una persona sentada es 1.200 m.

UGR de la tarea visual: **26.4**

Máximo deslumbramiento a: 15°, Max: >19.0, Valor límite: ≤19.0.

Área del ángulo visual: 0° - 180°, Amplitud de paso: 15°.

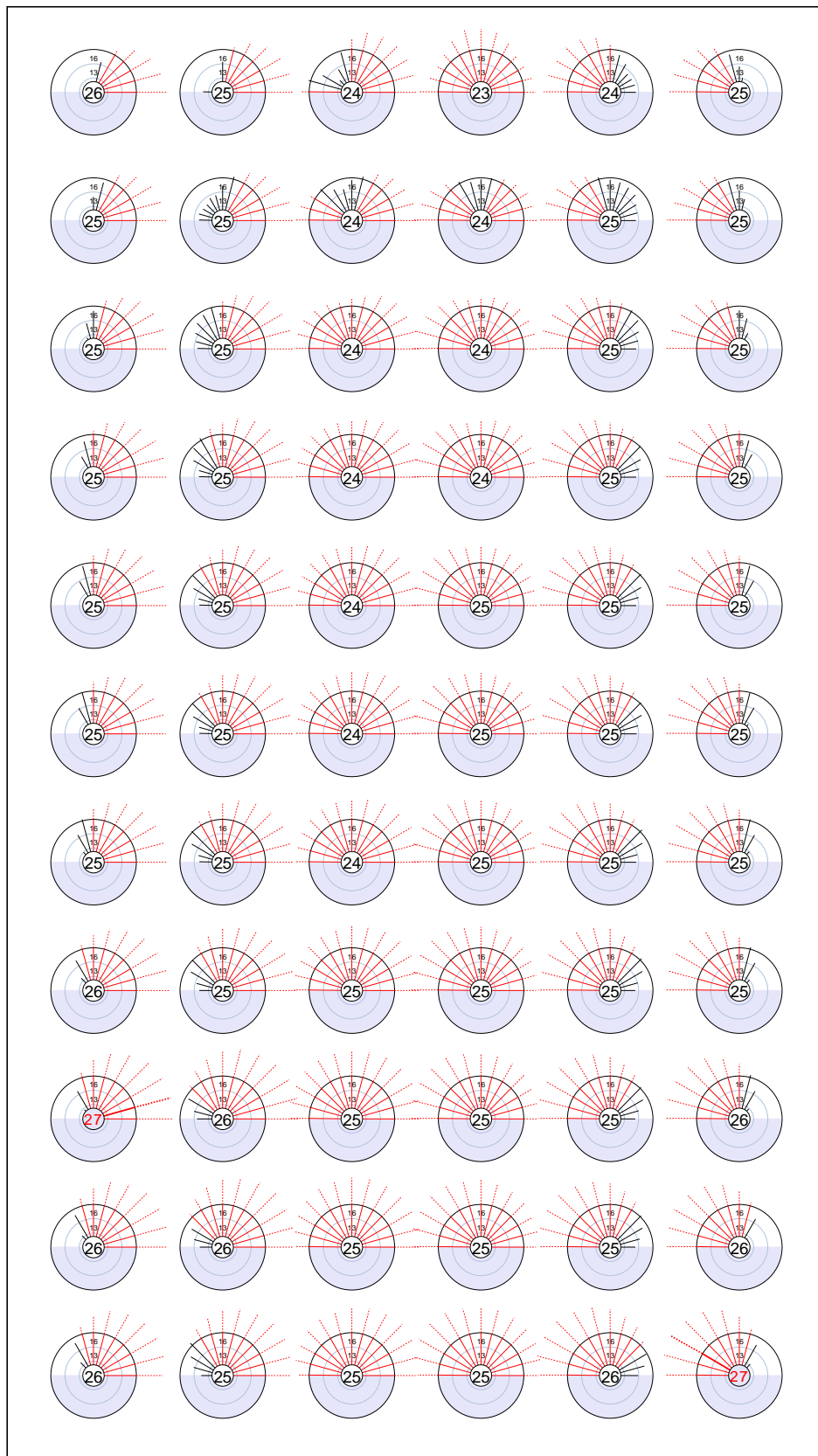


Ilustración 20: Estado actual: Valores del deslumbramiento obtenidos con DIALuxevo. (Elaboración propia)

Rendimiento energético

Potencia máxima instalada: 1853W

Rendimiento lumínico de toda la instalación: 75lm/W

$P = 11.77 \text{ W/m}^2$

$VEEI = 2.14 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$

Consumo de energía: 2750 - 4100 kWh/a de un máximo de 5550 kWh/a

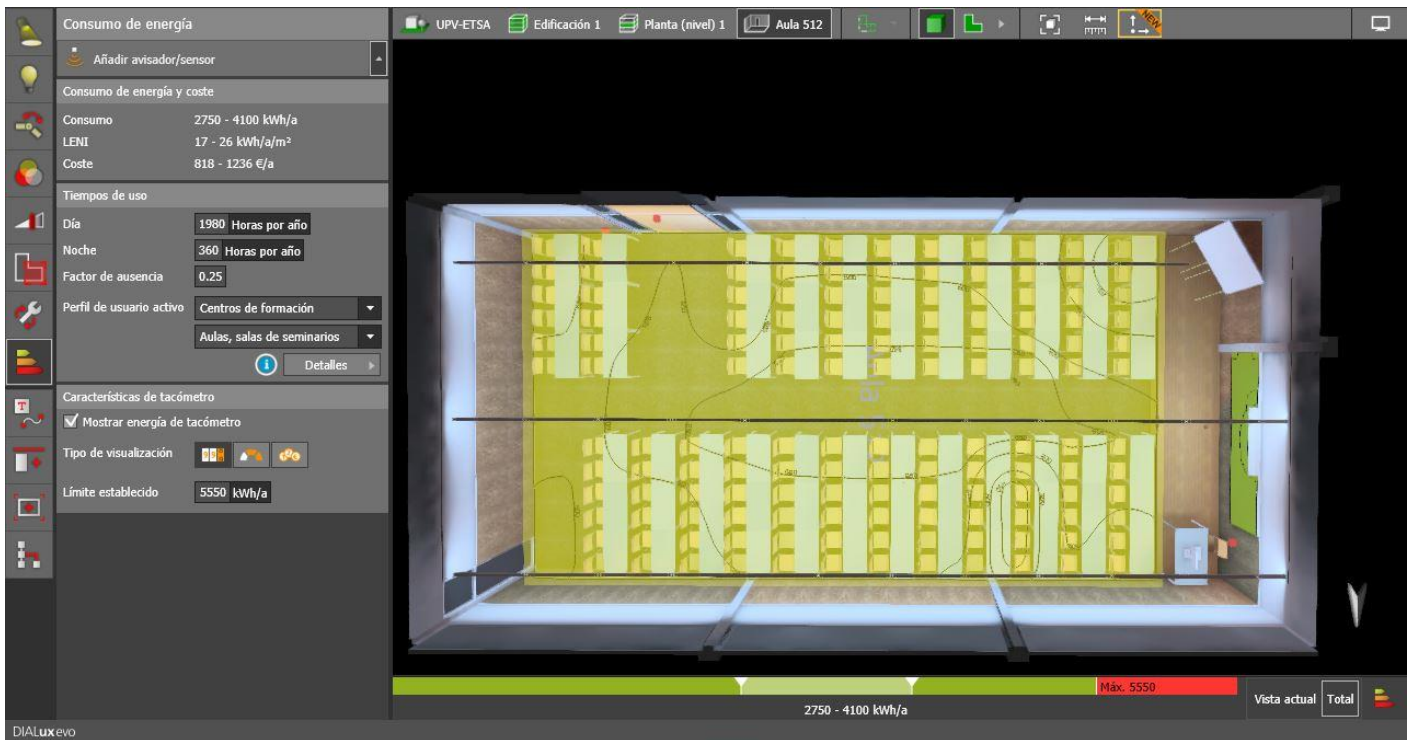


Ilustración 21: Estado actual: Consumo energético del alumbrado. (Elaboración propia)

III.2 Propuestas de mejora del diseño de la iluminación en el aula

El objetivo de estas propuestas puede resumirse en las siguientes premisas:

- Confort del usuario
- Flexibilidad de uso
- Ahorro de energía
- Características lumínicas acordes al uso propuesto, bienestar y facilidad de mantenimiento
- Cumplimiento de la normativa

Bajo estas condiciones, propongo una primera propuesta capaz de reducir inmediatamente el consumo energético del alumbrado, sustituyendo las lámparas existentes por otras más modernas y eficientes. Como una segunda propuesta que supone una renovación integral del diseño interior del aula, teniendo en consideración los nuevos métodos de enseñanza, junto a una adecuada elección de los componentes de la instalación del alumbrado.

Estas actuaciones suponen medidas de bajo coste de inversión con elevados ahorros energéticos. La instalación de detectores de presencia permite el encendido de las luminarias del aula cuando estas zonas sean ocupadas, evitando permanecer iluminadas innecesariamente.

Cabe destacar que, para poder realizar la tarea visual de modo confortable y seguro en esta aula, la norma UNE EN 12464-1, nos indica que la iluminancia media requerida es de 300lx con una uniformidad mínima de 0.6 en la superficie de la tarea visual y una iluminancia media de 500lx con una uniformidad de 0.7 en el plano de pizarra.

III.2.1 Propuesta 1

En esta primera propuesta de mejora de iluminación y su eficiencia energética, se propone un renovado de las luminarias, lámparas, equipos auxiliares (tipo, cantidad, modelo), manteniendo los materiales existentes del diseño interior del aula.

III.2.1.1 Descripción del nuevo alumbrado en el aula

Alumbrado general formado por 24 luminarias empotrables SlimBlend Rectangular de PHILIPS-RC400B POE W30L120.

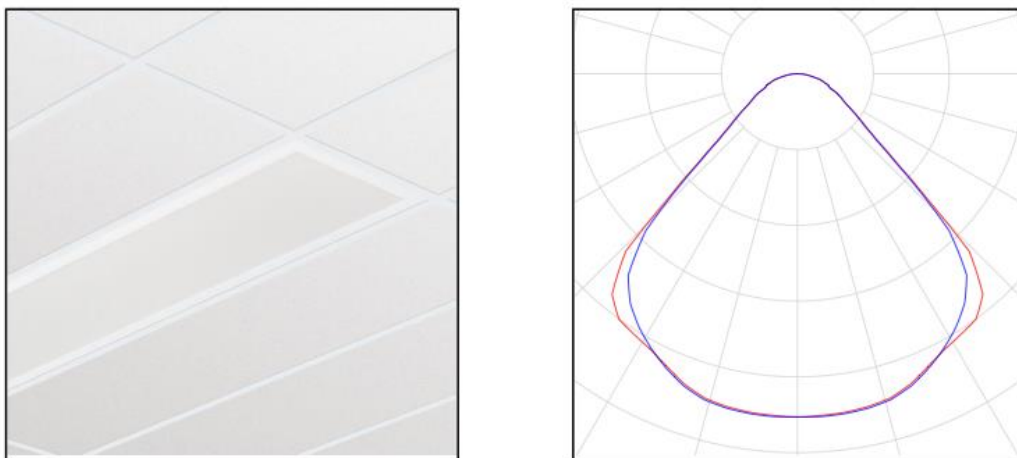


Ilustración 22: Luminaria SlimBlend de la marca PHILIPS y su Curva de distribución de la intensidad luminosa. (Resultados DIALux evo)

24 Luminarias x 1xLED28S/830.

Grado de eficacia de funcionamiento: 99.94%

Flujo luminoso de lámparas: 2800 lm

Flujo luminoso de las luminarias: 2798 lm

Potencia: 24.5 W

Rendimiento lumínico: 114.2 lm/W.

CCT 3000 K, CRI 100

La iluminación del plano de pizarra se asegura mediante 4 bañadores de pared de **ERCO** - **84208000 Quadra Bañador de pared con lente**.

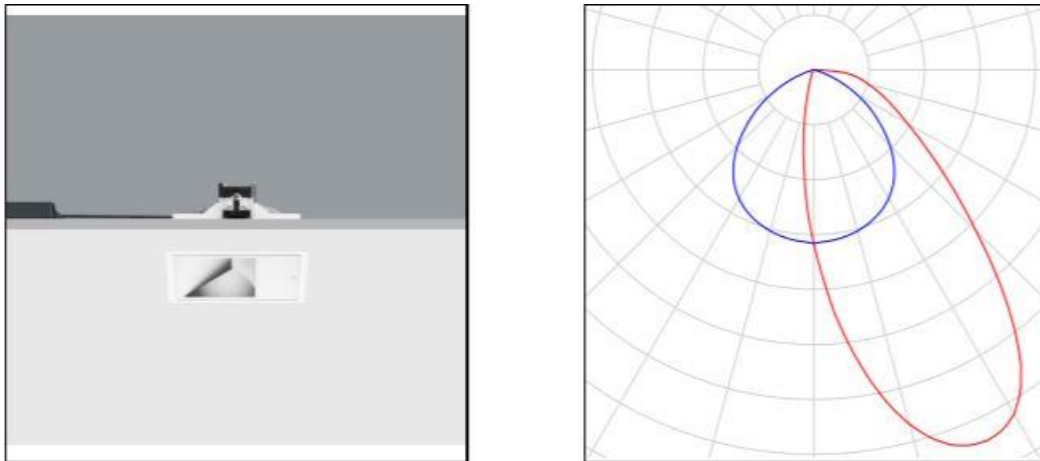


Ilustración 23: Bañador de pared de la marca ERCO y su Curva de distribución de la intensidad luminosa. (Resultados DIALux evo)

4 Luminarias x 1xLED 16W.

Flujo luminoso de las luminarias: 1705 lm

Potencia: 22.0 W

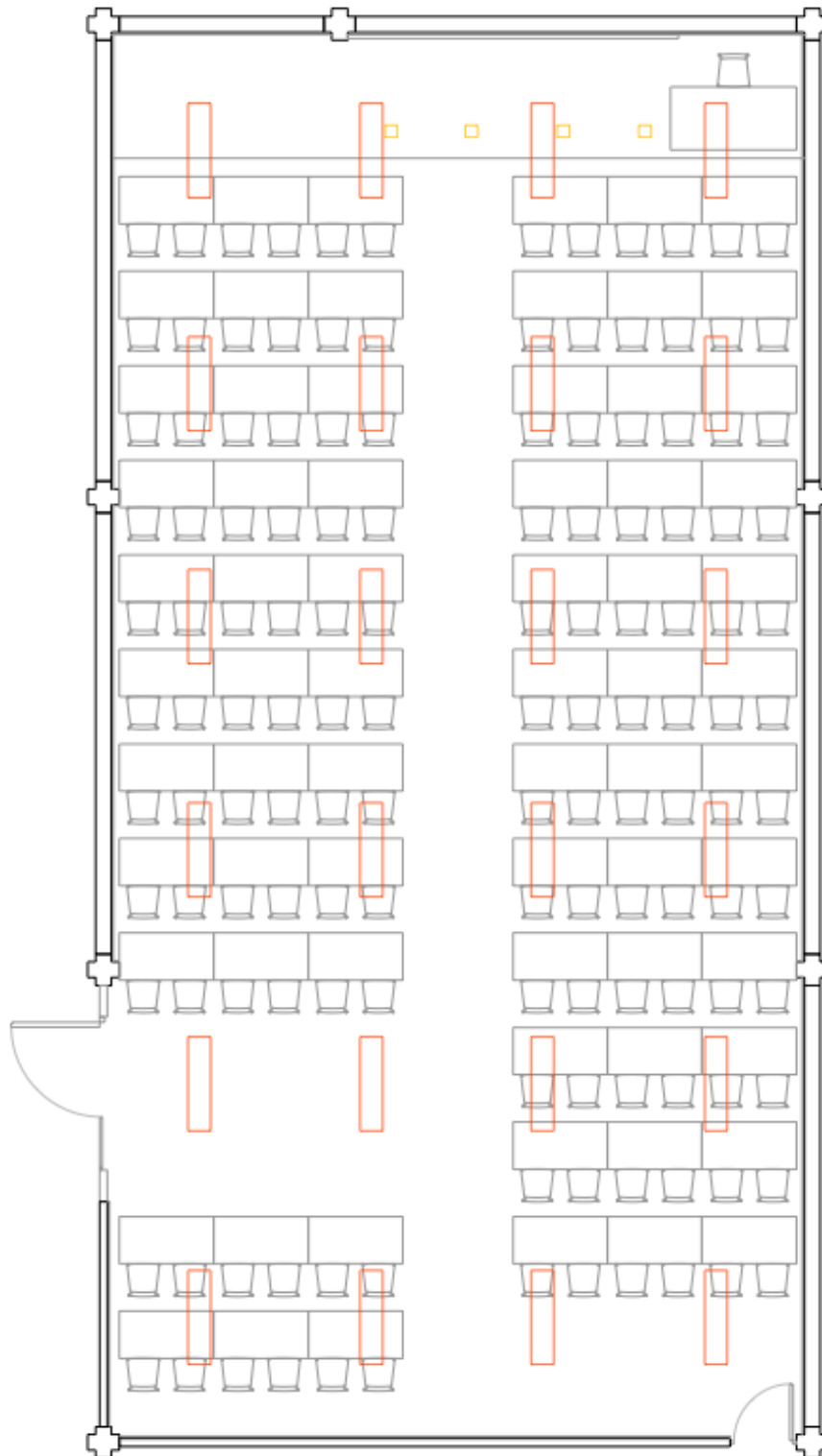
Rendimiento lumínico: 77.5 lm/W

Indicaciones colorimétricas 1xLED 16W blanco neutro

CCT 4000 K, CRI 80

Se adjuntan las fichas técnicas de las distintas luminarias y lámparas instaladas en el Anexo2.

Plano de distribución de las luminarias propuestas en el aula



24x Philips Lighting- RC400B POE W30L120 1 xLED28S/830

4x ERCO - 84208000 Quadra Bañador de pared con lente 1xLED 16W neutral white

Ilustración 24: Propuesta 1: Plano de distribución de las luminarias en el aula. (Elaboración propia)

III.2.1.2 Simulación del alumbrado propuesto del aula con DIALux evo



Ilustración 25: Propuesta1: Simulación del aula con DIALux evo, Vista1-(Elaboración propia)

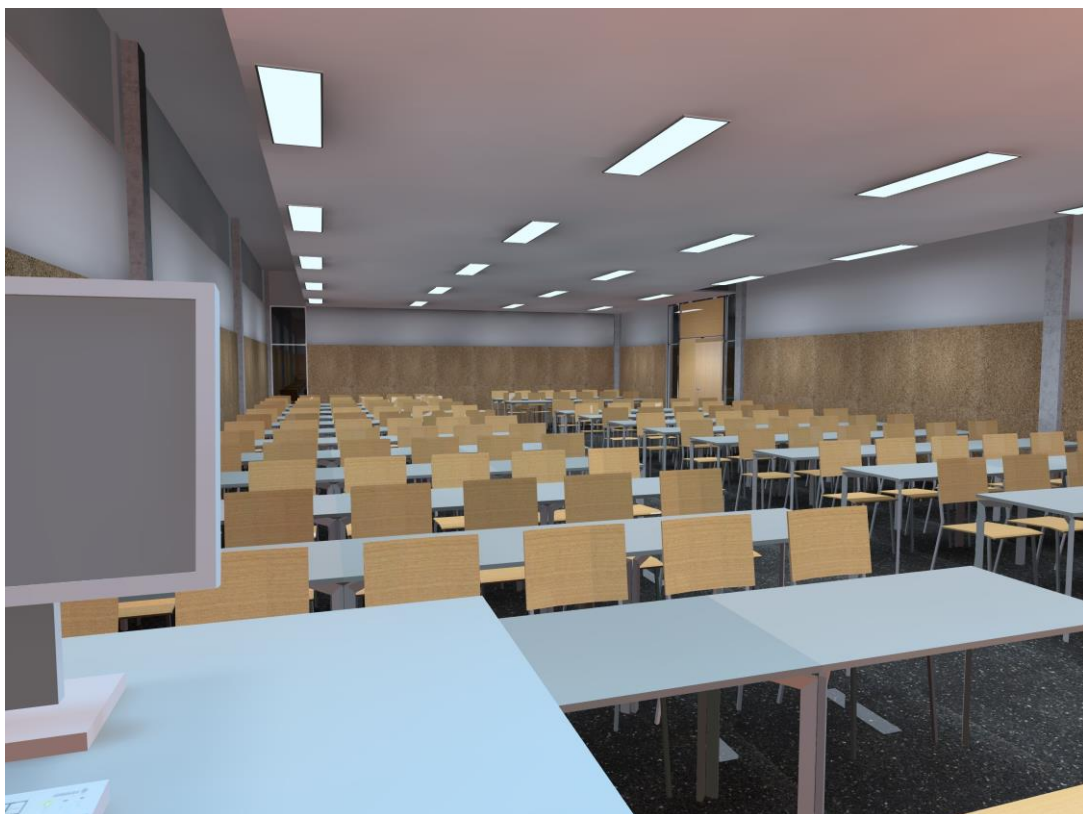


Ilustración 26: Propuesta1: Simulación del aula con DIALux evo, Vista2-(Elaboración propia)

III.2.1.3 Resultados del rendimiento del nuevo alumbrado del aula generados con DIALux evo

Se adjuntan todos los documentos generados con del DIALux evo en el Anexo 3.

Cuantificación de las luminarias del alumbrado propuesto

El plano de la superficie de la tarea visual se sitúa a una altura de 0.80m del plano del suelo en el cual se obtienen los siguientes resultados:

$$E_m = 335 \text{ lx}$$

$$E_{\min} = 215 \text{ lx}$$

$$E_{\max} = 389 \text{ lx}$$

$$U = E_{\min} / E_m = 0.64$$

Isolíneas [lx]

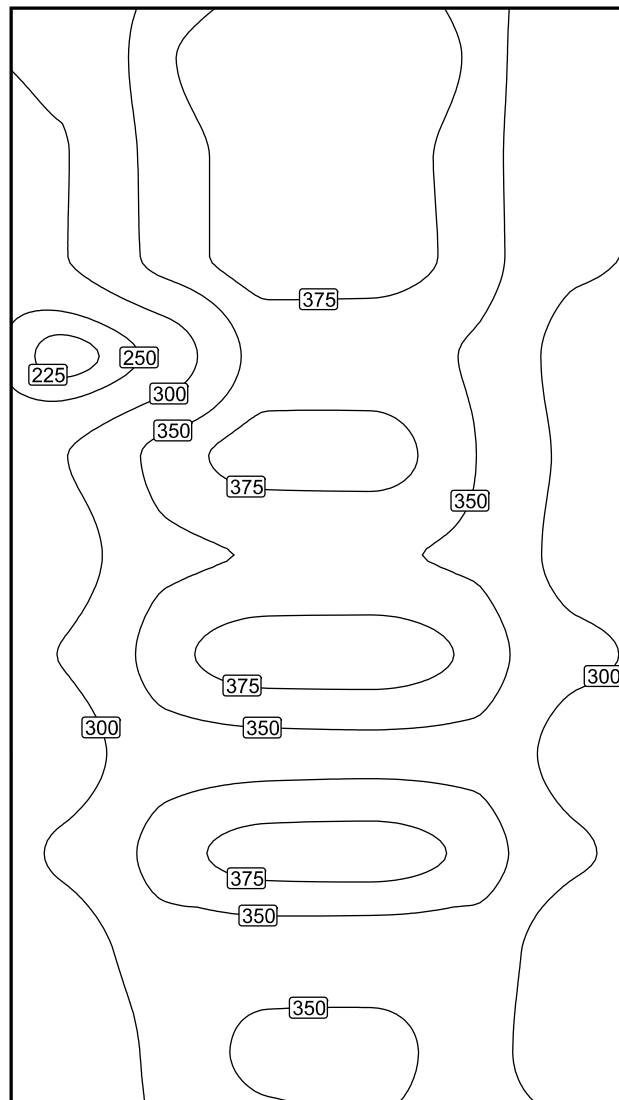


Ilustración 27: Propuesta1: Distribución de iluminancia en el área de la tarea. (Elaboración propia)

En cuanto a la iluminación del plano de pizarra obtenemos los siguientes resultados:

$$E_m = 501 \text{ lx}$$

$$E_{\min} = 368 \text{ lx}$$

$$E_{\max} = 578 \text{ lx}$$

$$U = E_{\min} / E_m = 0.73$$

Isolíneas [lx]

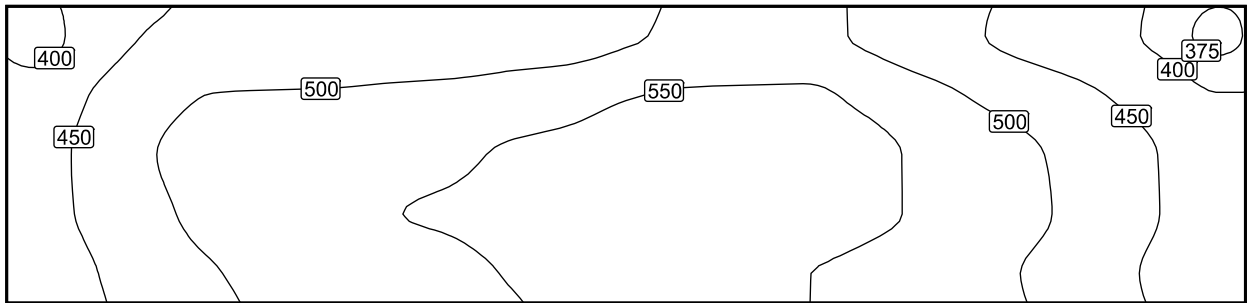


Ilustración 28: Propuesta1: Distribución de iluminancia en el plano de pizarra. (Elaboración propia)

Calidad de la distribución luminosa

La altura de vista de una persona sentada es 1.200 m.

UGR de la tarea visual: **18.4**

Máximo deslumbramiento a 45°, Max: 18.4, Valor límite: ≤19.

Área del ángulo visual: 0° - 180°, Amplitud de paso: 15°.

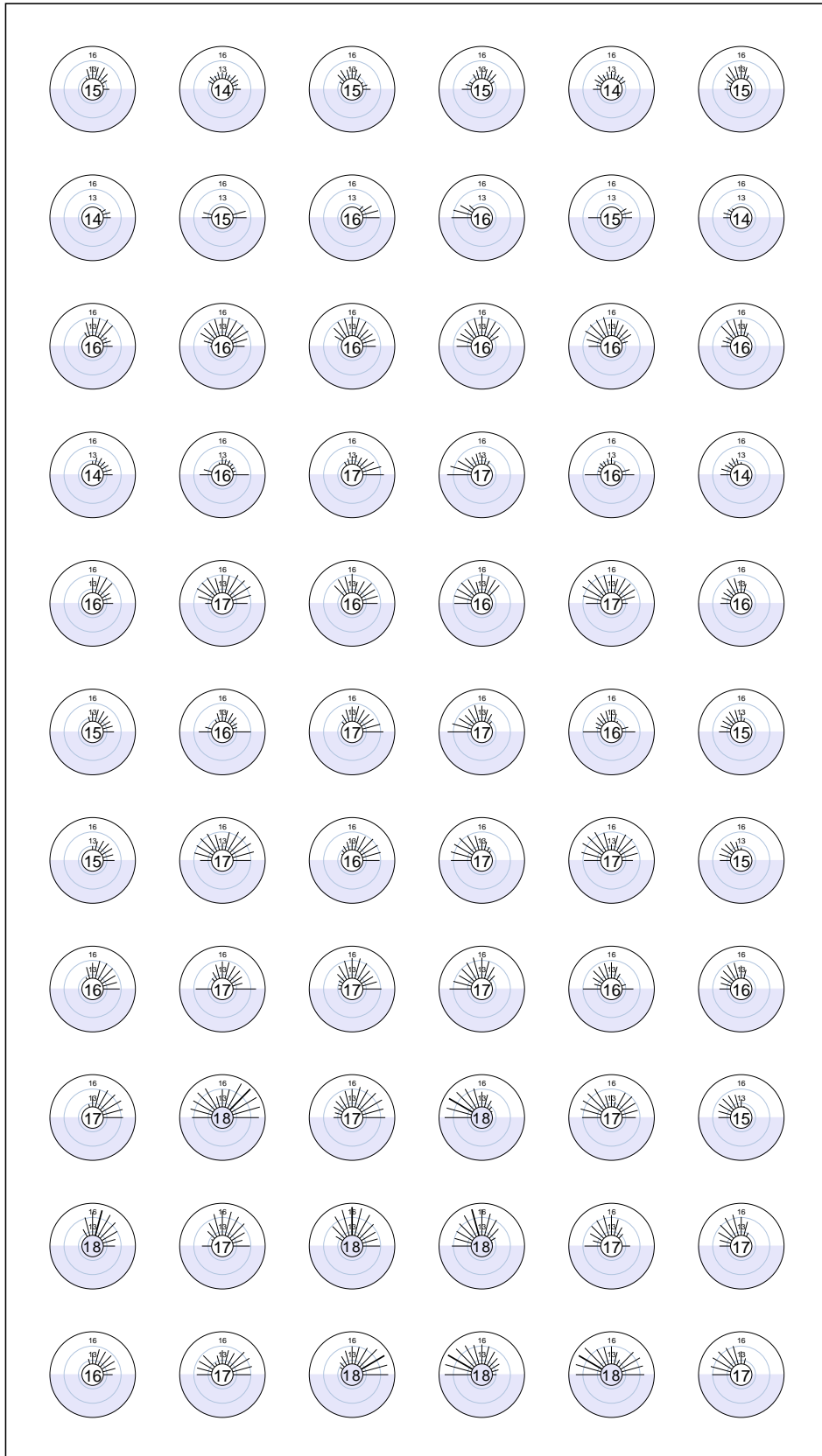


Ilustración 29: Propuesta1: Valores del deslumbramiento obtenidos con DIALuxevo. (Elaboración propia)

Rendimiento energético

Potencia máxima instalada: 676W

Rendimiento lumínico de toda la instalación: 109.4lm/W

$P = 4.29 \text{ W/m}^2$

$\text{VEEI} = 1.29 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$

Consumo de energía: 990-1500kWh/a de un máximo de 5550 kWh/a

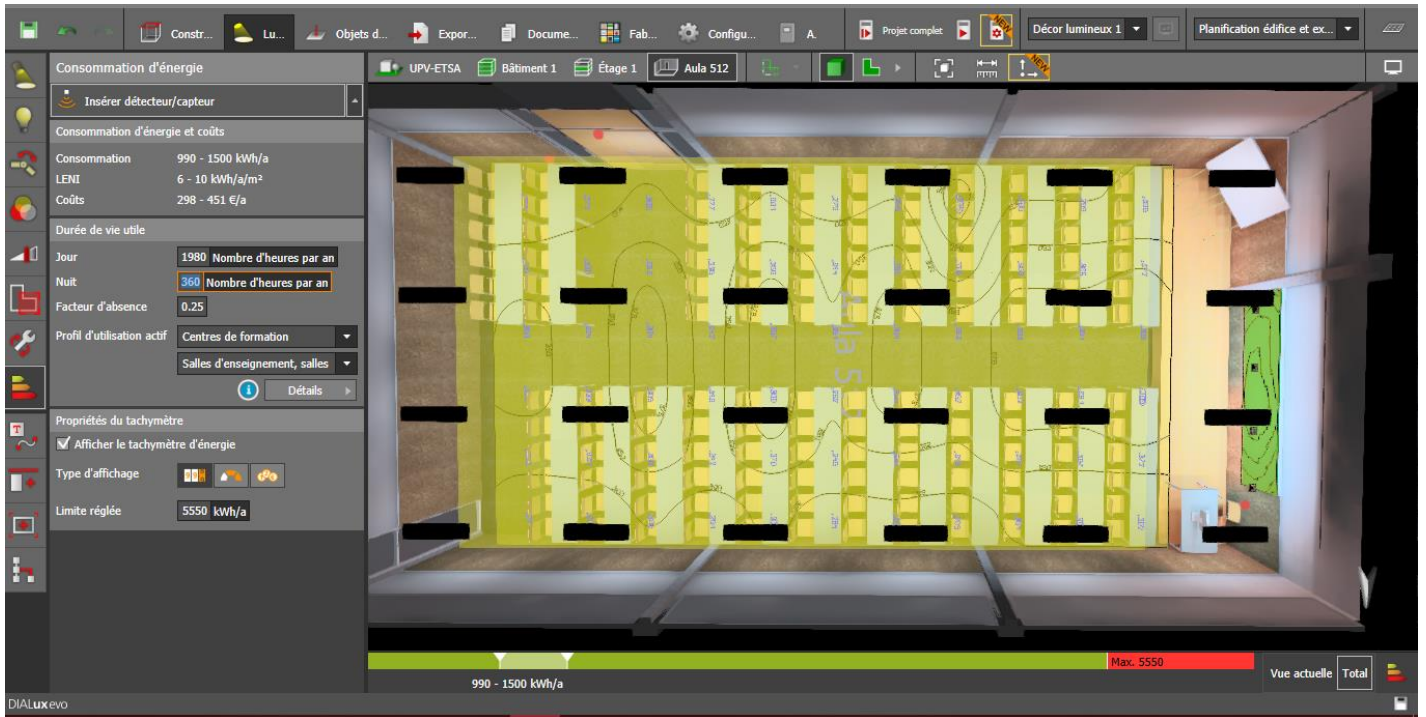


Ilustración 30: Propuesta1: Consumo energético del alumbrado propuesto. (Elaboración propia)

III.2.1.4 Comparación entre el rendimiento del alumbrado actual y el nuevo alumbrado propuesto

	Estado Actual	Propuesta 1
Luz ambiente	2xPhilips Lighting-TMS022 1xTL-D18W HFS +GMS022 R 33xPhilips Lighting-TMS022 1xTL-D58W HFS +GMS022 R	24x Philips Lighting-RC400B POE W30L120 1 xLED28S/830
Rendimiento por lámpara	58.4 lm/W 75.4 lm/W	114.2 lm/W
Iluminación pizarra	1xPhilips Lighting-TMS022 1xTL-D58W HFS +GMS022 R	4x ERCO - 84208000 Quadra Bañador de pared con lente 1xLED 16W neutral white
Rendimiento por lámpara	75.4 lm/W	77.5 lm/W
Consumo de energía al año	2750 - 4100 kWh	990-1500 kWh
Costes por año	818-1236€	298-451€
Ahorro por año y aula		64%

Tabla 8: Comparación del consumo de energía entre del alumbrado actual y el primer alumbrado propuesto. (Elaboración propia)

III.2.2 Propuesta 2

En esta segunda propuesta de mejora de iluminación y su eficiencia energética, se propone una renovación integral tanto del diseño interior del aula como de todos los componentes del proyecto de iluminación.

III.2.2.1 Nuevo diseño del aula

En esta segunda propuesta se apuesta por un renovado integral del aula mediante un diseño interior que tiene en consideración los nuevos métodos de enseñanza y el avance tecnológico.

Este nuevo diseño favorece el movimiento libre tanto de los estudiantes como los profesores, pasando de una estructura rígida, en el estado actual del aula, donde la visión de los alumnos está orientada hacia la pizarra situada en el frente del aula, a una estructura flexible que favorece el cambio de actividades en la clase y la posibilidad de reestructurar el espacio rápidamente. Esto se consigue mediante mobiliario móvil con ruedas. Asimismo se opta por una moqueta para reducir el ruido que se produce al mover las sillas y mesas, y evitar que cause molestias a los demás estudiantes en otras clases.

Además, se utilizan las paredes como pizarras cuando se encienden los bañadores de pared, y como áreas de proyección cuando se apagan, permitiendo mayor flexibilidad del espacio docente. Se integran también en el diseño, mesas de una altura ligeramente mayor comparando con las demás, que facilitan el trabajo de pie.



Ilustración 31: Propuesta de renovación del diseño interior del aula-Vista1-. (Elaboración propia)



Ilustración 32: Propuesta de renovación del diseño interior del aula-Vista2-. (Elaboración propia)

Reflectancia de las superficies del aula

- Falso techo: Acabado color gris claro; reflectancia **0'70**.
- Suelo: Moqueta de color gris oscuro; reflectancia **0'15**.
- Pared/Pizarra; Acabado en color blanco; reflectancia **0'55**.
- Mesas de laqueado blanco semi-mate; reflectancia **0'30**.
- Sillas de madera de colores vivos; reflectancia **0'30**.

III.2.2.2 Descripción del nuevo alumbrado propuesto en el aula

Alumbrado general formado por 20 luminarias empotrables CoreLine Panel Cuadrado, de **PHILIPS- RC126B W62L62**.

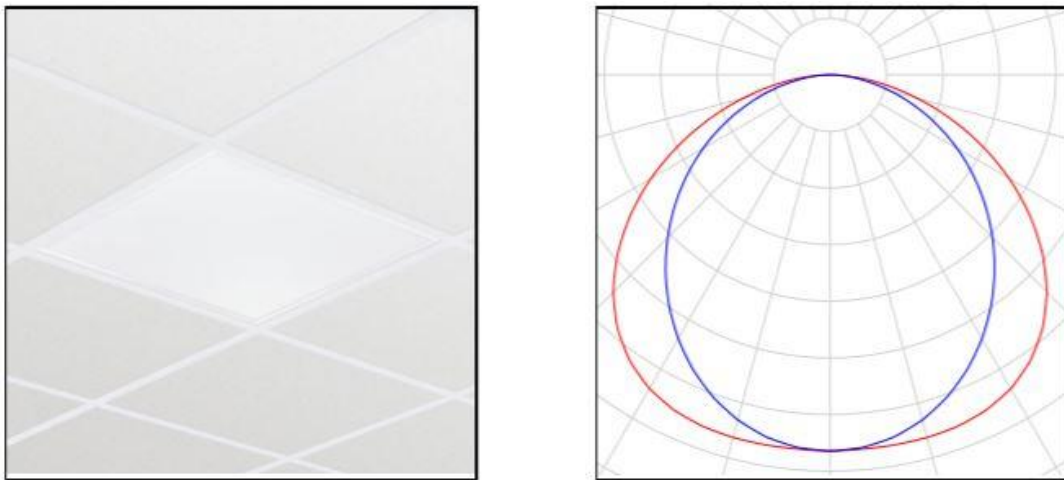


Ilustración 33: Luminaria CoreLine Panel de la marca PHILIPS y su Curva de distribución de la intensidad luminosa. (Resultados DIALux evo)

20 Luminarias x 1 xLED36S/840.

Grado de eficacia de funcionamiento: 99.89%

Flujo luminoso de lámparas: 3600 lm

Flujo luminoso de las luminarias: 2596 lm

Potencia: 36 W

Rendimiento lumínico: 99.9 lm/W.

CCT 3000 K, CRI 100

La iluminación de los planos de pizarra se asegura mediante 14 bañadores de pared de **ERCO - 84181000 Quadra Bañador de pared con lente.**

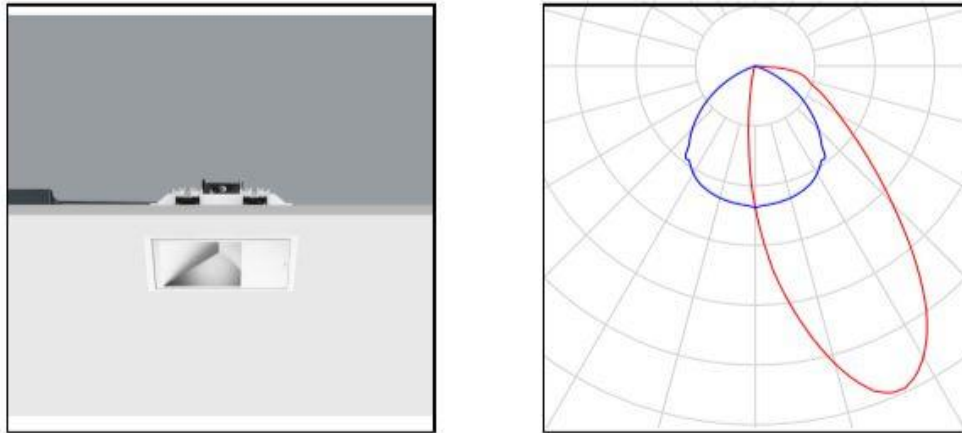


Ilustración 34: Bañador de pared de la marca ERCO y su Curva de distribución de la intensidad luminosa. (Resultados DIALux evo)

14 Luminarias x 1xLED 24W.

Flujo luminoso de las luminarias: 2643 lm

Potencia: 27.0 W

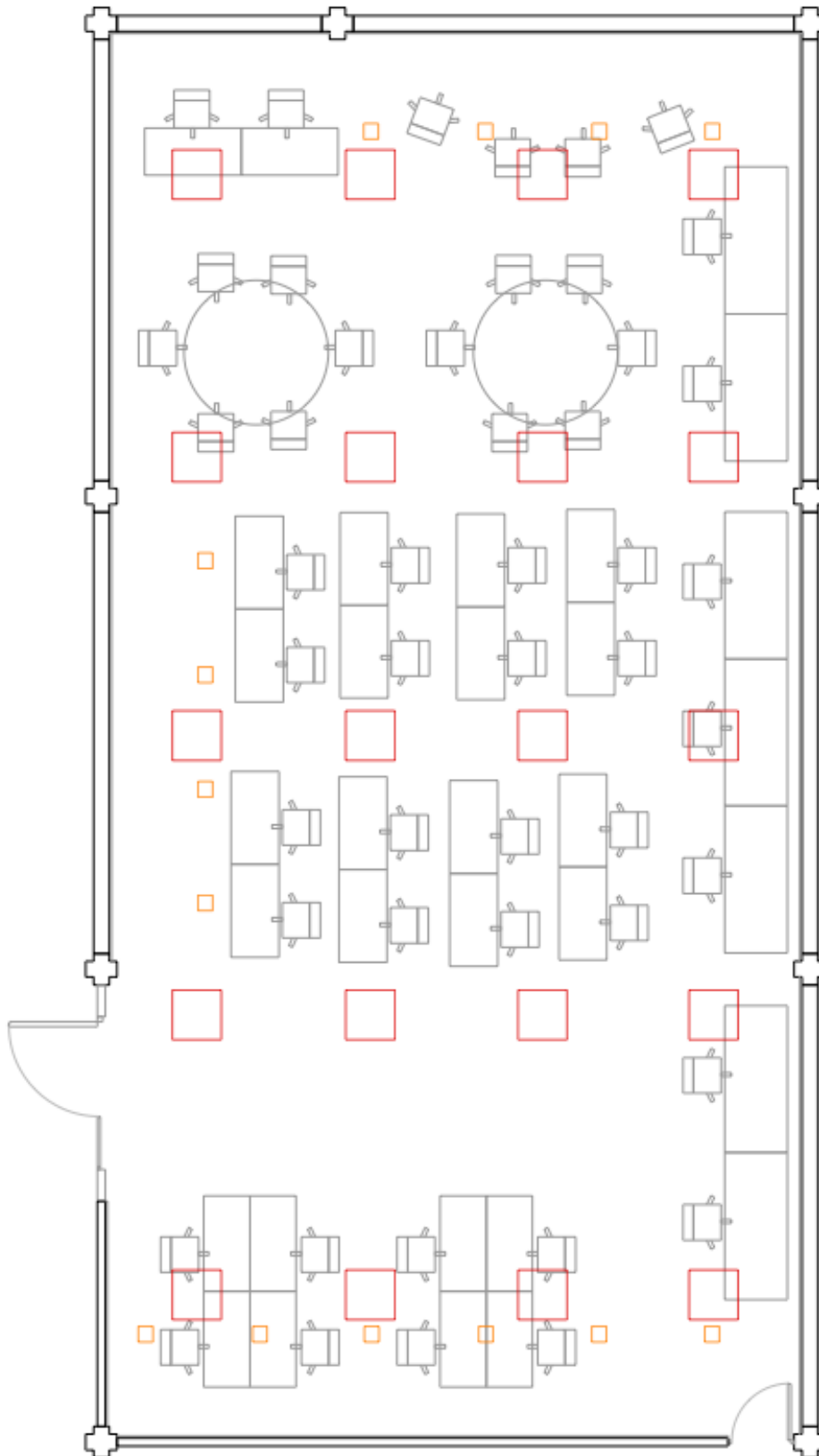
Rendimiento lumínico: 97.9 lm/W

Indicaciones colorimétricas 1xLED 24W blanco neutro

CCT 4000 K, CRI 80

Se adjuntan las fichas técnicas de las distintas luminarias y lámparas instaladas en el Anexo2.

Plano de distribución de las luminarias propuestas en el aula



20x Philips Lighting - RC126B W62L62 1 xLED36S/840 NOC

14x ERCO - 84181000 Quadra Bañador de pared con lente 1xLED 24W neutral white

Ilustración 35: Propuesta2: Plano de distribución de las luminarias en el aula. (Elaboración propia)

III.2.2.3 Resultados del rendimiento del nuevo alumbrado del aula generados con DIALux evo

Se adjuntan todos los documentos generados con DIALux evo en el Anexo 3.

Cuantificación de las luminarias del alumbrado propuesto

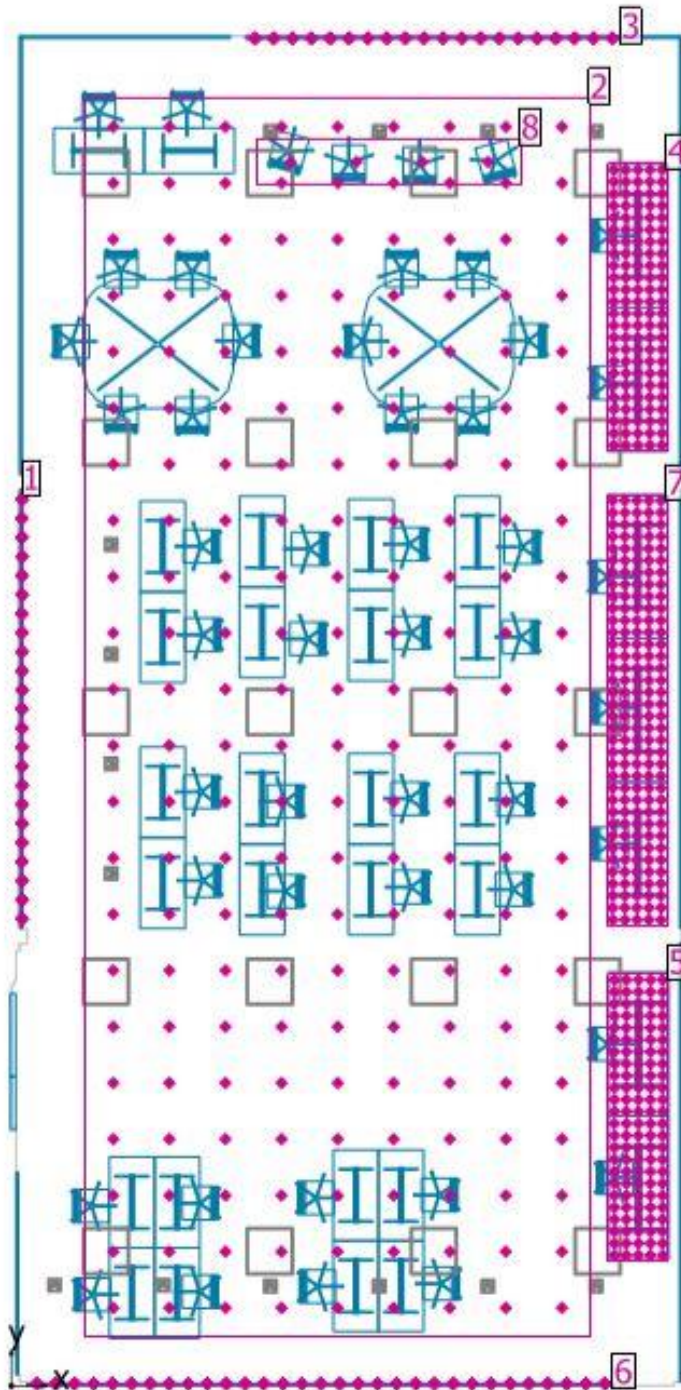


Ilustración 36: Propuesta2: Plano de las distintas áreas de cálculo, elaborado con DIALux evo (Elaboración propia)

El plano de la superficie de la tarea visual se sitúa a una altura de 0.80m del plano del suelo en el cual se obtienen los siguientes resultados:

Tarea principal: Área 2

El plano de la superficie de la tarea visual principal se sitúa a una altura de 0.85m del plano del suelo en el cual se obtienen los siguientes resultados:

$$E_m = 452 \text{ lx}$$

$$E_{\min} = 302 \text{ lx}$$

$$E_{\max} = 1008 \text{ lx}$$

$$U = E_{\min} / E_m = 0.67$$

Tarea informática

Las áreas de la tarea informática se sitúan a una altura de 0.95m del plano del suelo en el cual se obtienen los siguientes resultados:

Área 4

$$E_m = 325 \text{ lx}$$

$$E_{\min} = 254 \text{ lx}$$

$$E_{\max} = 445 \text{ lx}$$

$$U = E_{\min} / E_m = 0.78$$

Área 5

$$E_m = 323 \text{ lx}$$

$$E_{\min} = 250 \text{ lx}$$

$$E_{\max} = 460 \text{ lx}$$

$$U = E_{\min} / E_m = 0.77$$

Área 7

$$E_m = 307 \text{ lx}$$

$$E_{\min} = 249 \text{ lx}$$

$$E_{\max} = 384 \text{ lx}$$

$$U = E_{\min} / E_m = 0.81$$



Ilustración 37: Propuesta de renovación del diseño interior del aula-Vista3-. (Elaboración propia)

En cuanto a la iluminación de los planos de pizarra obtenemos los siguientes resultados:

Pizarra 1: Área 1

$$E_m = 536 \text{ lx}$$

$$E_{\min} = 387 \text{ lx}$$

$$E_{\max} = 659 \text{ lx}$$

$$U = E_{\min} / E_m = 0.72$$

Pizarra 2: Área 3

$$E_m = 560 \text{ lx}$$

$$E_{\min} = 455 \text{ lx}$$

$$E_{\max} = 642 \text{ lx}$$

$$U = E_{\min} / E_m = 0.81$$



Ilustración 38: Propuesta de renovación del diseño interior del aula-Vista4-. (Elaboración propia)

Pizarra 3: Área 6

$$E_m = 564 \text{ lx}$$

$$E_{\min} = 430 \text{ lx}$$

$$E_{\max} = 645 \text{ lx}$$

$$U = E_{\min} / E_m = 0.76$$

Calidad de la distribución luminosa

El deslumbramiento en este caso se ha medido desde distintos puntos en el aula según el área del ángulo visual y la altura del ojo.

Superficie 1 de cálculo de UGR

La altura de vista de una persona sentada es 1.200 m.

UGR de la tarea visual: **18.2**

Máximo deslumbramiento a 0°, Max: 18.2, Valor límite: ≤19.

Área del ángulo visual: 0° - 180°, Amplitud de paso: 15°.

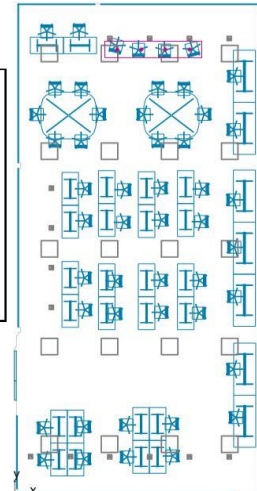
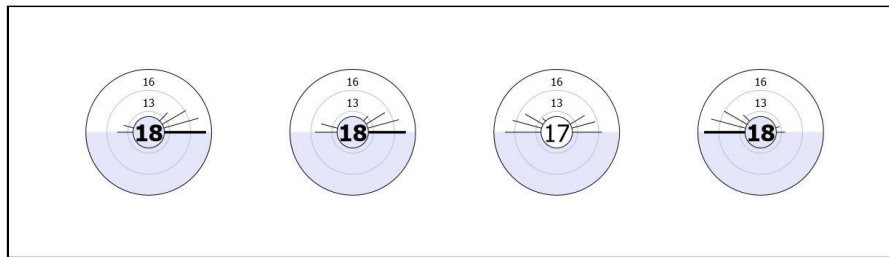


Ilustración 39: Propuesta2: Valores de UGR-Superficie1-. (Elaboración propia)

Superficie 2 de cálculo de UGR

La altura de vista de una persona sentada es 1.200 m.

UGR de la tarea visual: **17.6**

Máximo deslumbramiento a 0°, Max: 17.6, Valor límite: ≤ 19 .

Área del ángulo visual: 180° - 360°, Amplitud de paso: 15°.

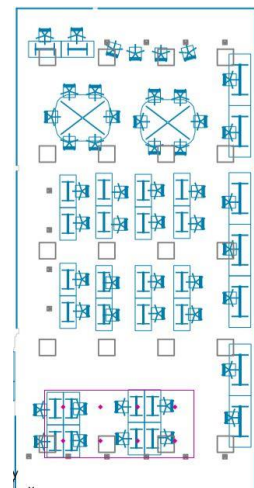
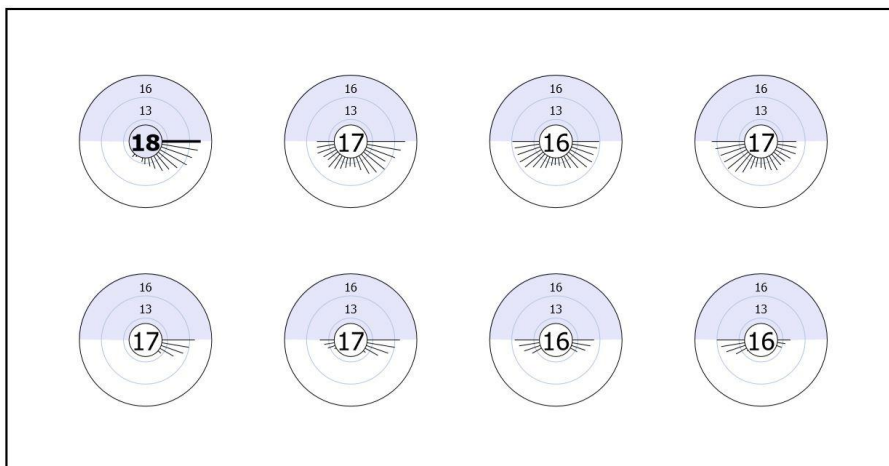


Ilustración 40: Propuesta2: Valores de UGR-Superficie2-. (Elaboración propia)

Superficie 3 de cálculo de UGR

La altura de vista de una persona sentada es 1.200 m.

UGR de la tarea visual: **17.6**

Máximo deslumbramiento a 145°, Max: 19, Valor límite: ≤ 19 .

Área del ángulo visual: 90° - 270°, Amplitud de paso: 15°.

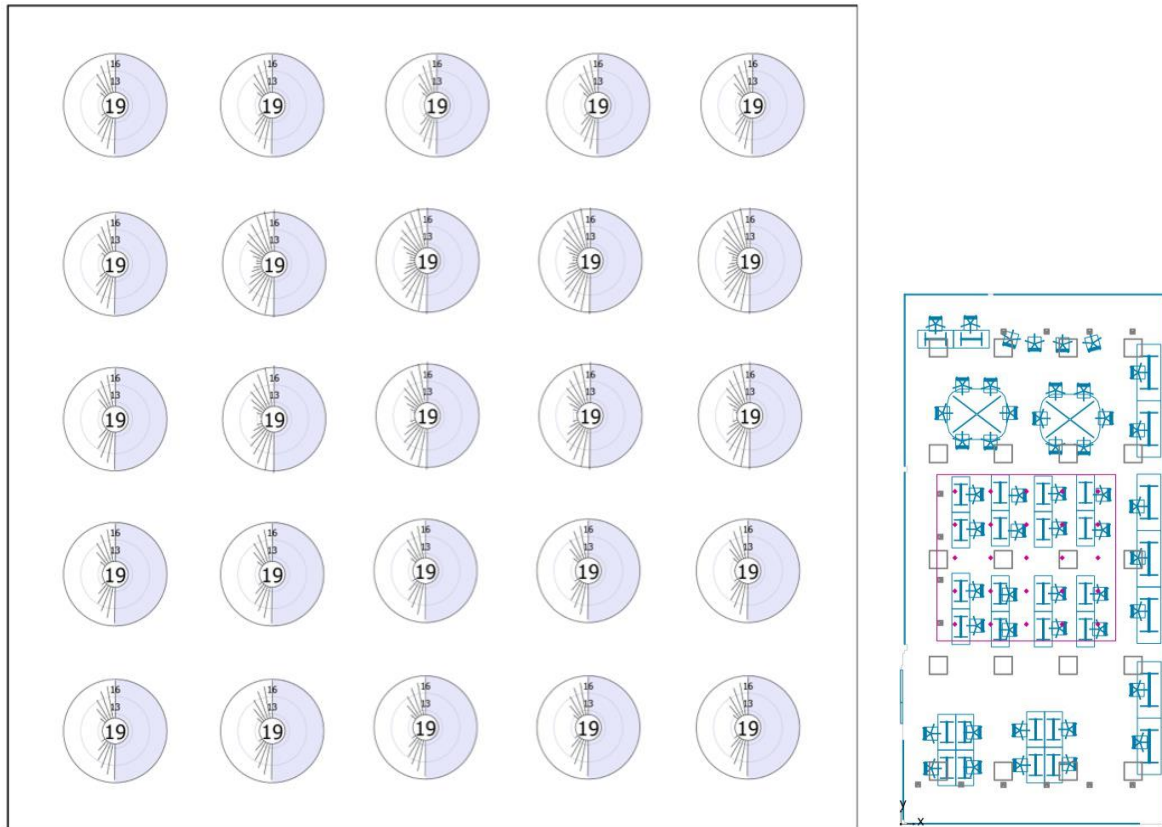


Ilustración 41: Propuesta2: Valores de UGR-Superficie3-. (Elaboración propia)

Zona informática: cálculo de UGR

Se verifica el deslumbramiento en 3 puntos de la zona informática.

La altura de vista de una persona sentada es 1.200 m.

Área del ángulo visual: $270^\circ - 90^\circ$, Amplitud de paso: 15° .

Punto 1: Valor máximo UGR: **18.5**

Punto 2: Valor máximo UGR: **18.4**

Punto 3: Valor máximo UGR: **18.4**

Rendimiento energético

Potencia máxima instalada: 1098W

Rendimiento lumínico de toda la instalación: 99.2lm/W

$P=6.97\text{W}/\text{m}^2$

$\text{VEEI} = 1.54 \text{ W}/\text{m}^2/100 \text{ lx}$

Consumo de energía: 1600-2450kWh/a de un máximo de 5550 kWh/a

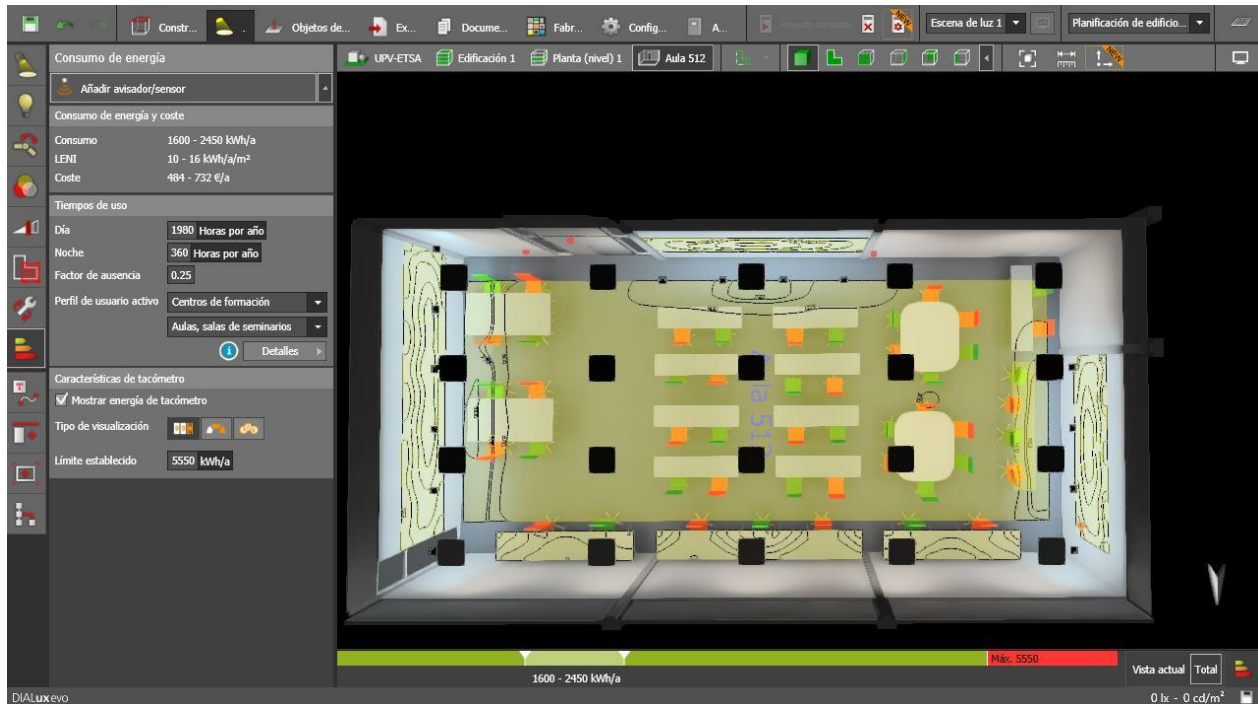


Ilustración 42: Propuesta2: Consumo energético del alumbrado propuesto. (Elaboración propia)

III.2.2.4 Comparación entre el rendimiento del alumbrado actual y el nuevo alumbrado propuesto

	Estado Actual	Propuesta 2
Luz ambiente	2xPhilips Lighting-TMS022 1xTL-D18W HFS +GMS022 R 33xPhilips Lighting-TMS022 1xTL-D58W HFS +GMS022 R	20x Philips Lighting - RC126B W62L62 1 xLED36S/840 NOC
Rendimiento por lámpara	58.4 lm/W 75.4 lm/W	99.9 lm/W
Iluminación pizarra	1xPhilips Lighting-TMS022 1xTL-D58W HFS +GMS022 R	14x ERCO - 84181000 Quadra Bañador de pared con lente 1xLED 24W neutral white
Rendimiento por lámpara	75.4 lm/W	97.9 lm/W
Consumo de energía al año	2750 - 4100 kWh	1600-2450 kWh
Costes por año	818-1236€	484-732 €
Ahorro por año y aula		42%

Tabla 9: Comparación del consumo de energía entre del alumbrado actual y el segundo alumbrado propuesto. (Elaboración propia)

III.3 Comprobación del cumplimiento de la sección HE3

HE3 Eficiencia energética de las instalaciones de iluminación	Zona o Local	Uso	longitud del local	anchura del local	Distancia del plano de trabajo al plano de luminarias	Índice del local $K = \frac{a \cdot b}{H \cdot (a + b)}$	nº puntos mínimo a considerar en el cálculo CTE HE 3	factor de mantenimiento previsto	
	Según CTE Tabla 2.1			a	b	H	K	n	Fm
				K < 1	4				
				2 > K ≥ 1	9				
				3 > K ≥ 2	16				
							K ≥ 3	25	
Trama									
AULA 512	ESTADO ACTUAL, Tarea visual principal	DOCENTE	9	18	2,9	2,07	66,00	> 16	0,8
AULA 512	PROPUESTA1, Tarea visual principal	DOCENTE	9	18	2,9	2,07	66,00	> 16	0,8
AULA 512	PROPUESTA2, Tarea visual principal	DOCENTE	9	18	2,9	2,07	198,00	> 16	0,8

iluminancia media horizontal mantenida	índice de deslumbramiento unificado	Uniformidad $U_0 = \frac{E_{min}}{E_m}$	índice de reproducción cromática de las lámparas	potencia total instalada en lámparas + equipos aux	valor de eficiencia energética de la instalación
--	-------------------------------------	--	--	--	--

Em [lux]	UGR	U ₀	Ra (IRC/CRI)	P [W/m ²]	VEEI [W/m ²] x 100 lux
----------	-----	----------------	--------------	-----------------------	------------------------------------

Según UNE-EN 12464-1	Según UNE-EN 12464-1	Según UNE-EN 12464-1	Según UNE-EN 12464-1	Según CTE HE 3 Tabla 2.2	$VEEI = \frac{P \times 100}{S \times E_m}$ Según CTE HE-3 Tabla 2.1
----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	--------------------------	---

min.	máx.	min.	máx.	min.	máx.	min.	máx.	min.	máx.	min.	máx.
594	> 300	26,4	< 19	0,7	> 0,6	80	> 80	11,77	< 15	2,14	< 3,5
335	> 300	18,4	< 19	0,64	> 0,6	100	> 80	4,29	< 15	1,29	< 3,5
452	> 300	18,5	< 19	0,67	> 0,6	100	> 60	6,97	< 15	1,54	< 3,5

Cabe destacar que en el estado actual, no se cumple el deslumbramiento, y que en las dos propuestas se ha conseguido reducirlo. Además de garantizar la reducción de la potencia total instalada de las lámparas y por consiguiente alta eficiencia energética de los alumbrados propuestos.

CONCLUSIONES

El estudio de la iluminación artificial existente en el aula 512 de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de la Universitat Politècnica de València, demuestra que hay una necesidad de renovación del alumbrado, debido a la gran cantidad de energía consumida para su funcionamiento, además de no cumplir a deslumbramiento.

El objetivo de este proyecto es garantizar una alta calidad de iluminación y asegurar una alta eficiencia energética del alumbrado. La sustitución de las lámparas y luminarias existentes por otras más eficientes, en la primera propuesta, permite reducir inmediatamente el consumo energético del alumbrado, además de limitar el deslumbramiento. Se consigue un descenso de **1760 kWh/año** hasta **2600 kWh/año** por aula, es decir una reducción del **64%** del consumo de energía, y un ahorro en costes entre **520€/año** y **785€/año** por aula. En la segunda propuesta, de una parte, se asegura la flexibilidad del espacio docente por medio del nuevo diseño que integra los nuevos métodos de enseñanza y el avance tecnológico, y de otra parte, se garantiza una alta calidad de iluminación y una reducción del orden del **42%** del consumo energético del alumbrado, equivalente a **1150 kWh/año** hasta **1650 kWh/año** por aula, mediante la elección de lámparas y luminarias eficientes. Como se consigue un ahorro en costes entre **334** y **503€/año** por aula.

En ambas propuestas, la elección de lámparas con mayor vida útil se traduce en importantes reducciones en los gastos de mantenimiento.

Finalmente, cabe destacar que un alumbrado eficiente conlleva directamente a la disminución del consumo de energía, y por consiguiente a la reducción de las emisiones de CO₂ a la atmósfera y de su impacto medioambiental.

BIBLIOGRAFIA

- AENOR. (2012). AENOR: UNE-EN 12464-1:2012 Iluminación. Iluminación de los lugares de trabajo. Parte 1: Lugares de trabajo en interiores. *Http://Www.Aenor.Es/*.
Publicación en línea, disponible en:
<<http://www.aenor.es/aenor/actualidad/actualidad/noticias.asp?campo=4&codigo=21845&tpon=2#.WUmofYVla8Q>>, [consultado 29 marzo 2018].
- Assaf, L. (2006). Equipos Auxiliares de Fuentes de Iluminación. *Manual de Iluminación Eficiente - Seminario de Iluminación Eficiente*.
- Baas, A. M. (1973). Luminous Environments. Educational Facilities Review. *Oregon Univ., Eugene. ERIC Clearinghouse on Educational Management*.
- Bommel, W. Van, Rouhana, A., & Philips. (2011). Lighting Hardware. *Philips Lighting University*.
- Boyce, P. R. (2004). Lighting research for interiors: the beginning of the end or the end of the beginning. *Lighting Research and Technology*, 36(4), 283–294.
<https://doi.org/10.1191/11477153504li118oa>
- Castilla, N. (2015). La Iluminación Artificial en los Espacios Docentes, 53(9), 1689–1699.
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- CEC. (2014). Círculo Electricidad Chile: Conceptos de Iluminación: Curvas y Archivos Fotométricos. Publicación en línea, disponible en:
<<http://circuloelectricidad.blogspot.com/2014/12/conceptos-de-iluminacion-curvas-y.html>>, [consultado 25 septiembre 2018].
- CIE. (1995). Method of Measuring and Specifying Colour Rendering Properties of Light Sources, CIE Publication 13.3-1995, Central Bureau Of the CIE, Vienna, Austria, 1995, 20 pp, \$76 (members)/\$14 (nonmembers). *Color Research & Application*, 20(3), 212–212. <https://doi.org/10.1002/col.5080200313>
- Comité Español de iluminación. (2001). Guía técnica de eficiencia energética en iluminación: Centros docentes. *Instituto Para La Diversificacion y Ahorro de La Energía*, 87.
- DGIEM, CAEE. (2006). Guía Técnica de iluminación eficiente. *Madrid Ilumina Ahorrando Energía*, 57. Publicación en línea, disponible en:
<<http://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/guia-tecnica-de-iluminacion-eficiente-sector-residencial-y-terciario-fenercom.pdf>>, [consultado 30 marzo 2018].
- El Parlamento Europeo. (2012). REGLAMENTO DELEGADO (UE) No 874/2012 DE LA COMISIÓN de 12 de julio de 2012. *Diario Oficial de La Unión Europea*.
Publicación en línea, disponible en: <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32012R0874&from=ES>>, [consultado 15 julio 2018].
- Espinosa Muñoz, I. (2004). *Ahorrar energía y proteger el medio ambiente*.
Publicación en línea, disponible en: <<https://elblogverde.com/ahorrar-energia-consejos-para-ahorrar-energia-y-proteger-el-medio-ambiente/>>, [consultado 18 septiembre 2018].
- FENERCOM. (2012). Guía de Ahorro y Eficiencia Energética en Centros Docentes.

Madrid Ahorra Con Energía. www.madrid.org; www.fenercom.com

- Fördergemeinschaft Gutes Licht. (1994). *Good lighting for schools and educational establishments*. Fördergemeinschaft Gutes Licht. Publicación en línea, disponible en: <<https://book.douban.com/subject/3055186/>>, [consultado 30 marzo 2018].
- Fox, A. W. (2001). Topical Reports: Sustainable Design for Schools.
- Gather, M., Köhnen, A., & Meerholz, K. (2011). White organic light-emitting diodes. *Advanced Materials*, 23(2), 233–248. <https://doi.org/10.1002/adma.201002636>
- Giménez, B., Villa, P., & María, R. (1995). Criterios de elección de lámparas.
- Knirk, F. . (1979). *Designing productive learning environments*. Educational Technology Publications. Publicación en línea, disponible en: <<https://books.google.be/books?hl=fr&lr=&id=IdaAU4dv4fMC&oi=fnd&pg=PR7&ots=gjnz5ag3KC&sig=WdKwea4yKySTt3vGy3ZVFe9ST9A#v=onepage&q&f=false>>, [consultado 13 julio 2018].
- Küller, R., Ballal, S., Laike, T., Mikellides, B., & Tonello, G. (2006). The impact of light and colour on psychological mood: A cross-cultural study of indoor work environments. *Ergonomics*, 49(14), 1496–1507. <https://doi.org/10.1080/00140130600858142>
- Ministerio de Fomento. (2017). Documento B básico. *Junio*. Publicación en línea, disponible en: <<http://www.codigotecnico.org>>, [consultado 18 septiembre 2018].
- Philips Lighting. (2018). Calidad de luz LED | Philips Lighting. Publicación en línea, disponible en: <<https://www.philips.es/c-m-li/led-lights/quality-of-light-led-lighting>>, [consultado 7 septiembre 2018].
- Raynham, P. (2010). Lighting Guide 5 : Lighting in Education.
- Rey, F., y Velasco, E. (2006). *Eficiencia Energetica en Edificios. Certificación y auditorías energéticas*. Paraninfo. Publicación en línea, disponible en: <https://books.google.be/books?id=3LykBainW7kC&pg=PR4&pg=PR4&dq=Francisco+Javier+Rey+Martínez,+Eloy+Velasco+Gómez+2006+International+Thomson+Editores+Español,+Madrid+España.&source=bl&ots=_tUVon1QmM&sig=yrHHdcgVsN9p4bDftoLbPoa9_lw&hl=fr&sa=X&ved=2ahUKewjfl>, [consultado 15 julio 2018].
- Ruffells, P. (2017). *Lighting Guide 0 : Introduction to Light and Lighting*. Publicación en línea, disponible en: <<https://www.barbour.info/WebServicesV4.1/3EA29993-C537-464A-BDE4-7AA46F584901/2017080712051615785753.pdf>>, [consultado 30 marzo 2018].
- Ryckaert, W. R., Lootens, C., Geldof, J., & Hanselaer, P. (2010). Criteria for energy efficient lighting in buildings. *Energy and Buildings*, 42(3), 341–347. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.09.012>
- Tanner, C. K. (2009). Effects of school design on student outcomes. *Journal of Educational Administration*, 47(3), 381–399. <https://doi.org/10.1108/09578230910955809>
- Vetterli, J. (2008). File:Roy Thomson Hall glare.jpg - Wikimedia Commons. Publicación en línea, disponible en: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Roy_Thomson_Hall_glare.jpg>, [consultado 4 septiembre 2018].

Waide, P., y Tanishima, S. (2006). Light ' S Labour ' S Lost.

Weintraub, S. (2000). The Color of White: Is there a “preferred” color temperature for the exhibition of works of art? *Western Association for Art Conservation Newsletter*, 21(3), 3–6. <http://palimpsest.stanford.edu/waac/wn/wn21/wn21-3/wn21-308.html>

Wikipedia. (2015). Color temperature. *Wikipedia, the Free Encyclopedia*.

Publicación en línea, disponible en:

<<http://www.handprint.com/HP/WCL/color12.html#colorlight>>, [consultado 7 septiembre 2018].

Winterbottom, M., & Wilkins, A. (2009). Lighting and discomfort in the classroom. *Journal of Environmental Psychology*, 29(1), 63–75.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2008.11.007>

Wurtman, R. (1968). Biological Implications of Artificial Illumination.pdf.