

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

Departamento de Ingeniería Mecánica



INGENIERÍA INDUSTRIAL

Esp. Tecnologías Energéticas

PROYECTO FIN DE CARRERA

**Estudio y diseño del sistema de iluminación de un
centro de uso general**

AUTOR: RUBÉN COLOMER RODRÍGUEZ

TUTOR: Dr. JUAN CARLOS GARCÍA PRADA

Octubre 2011



Índice

1. Objetivos	3
2. Introducción	3
3. Conceptos básicos en ingeniería luminotécnica	8
3.1 Características físicas de las radiaciones luminosas:.....	8
El espectro electromagnético:	8
Propiedades ópticas de los cuerpos:.....	9
El color:.....	9
Magnitudes y unidades luminosas:.....	11
Curvas fotométricas:	12
3.2 Tipos de lámparas.....	14
Lámparas incandescentes:	14
Lámparas de descarga:.....	15
Lámparas LED:	22
3.3 Normativa	24
4. Metodología:.....	26
4.1 Análisis genérico.....	26
4.2 Análisis por ordenador: DIALux.....	28
5. Resultados	33
5.1 Análisis.....	33
Despachos	37
Aulas.....	37
Pasillos.....	38
Cuarto de baño.....	38
Salón de grados	38
5.2 Simulación por ordenador de las condiciones establecidas	39
Despacho H24	39
Despacho H23	48
Aula F01.....	57
Aula F03.....	70



Aula G02	83
Pasillo interior	96
Pasillo con ventanas.....	107
Baño	118
Salón de grados.....	133
Resumen comparativos de valores de iluminación obtenidos con DIALux	144
5.2 Estudio económico por espacio unitario.....	146
6. Conclusiones	151
Desarrollos futuros.....	152
7. Presupuesto	153
Anexo 1: Glosario de términos.....	154
Anexo 2: Datos de luminarias	157
Philips TBH318 3x36W	157
LG LED Flat Light 53W	158
LG LED PAR30 Beam 36 12W.....	159
INDAL L6511FKA 58Fa1M2 de 58W	160
Philips TBH318 2x TL-D36 HFE M5	161
INDAL Z2052901 3300 (Downlight incandescente de 40W)	162
INDAL Z7102202sM2 400139EL (Fluorescente de 39W).....	163
LG LED MR16 Beam 36 (Spot 4W).....	164
LG LED MR16 Beam 60 (Spot 4W).....	165
Anexo 3: Ejemplo de plantilla cálculo económico	166
Bibliografía	167



1. Objetivos

Se va a realizar el estudio del diseño de un sistema de iluminación pretendiendo:

- Mejorar la iluminación
- Mejorar la eficiencia energética
- Obtener ventajas económicas

2. Introducción

¿Por qué es importante la iluminación en nuestras vidas?

Porque nos afecta mucho más de lo que se suele suponer, no sólo el aspecto visual sino que también en el biológico.

Durante más de 150 años los científicos han considerado que los conos y bastoncillos eran las únicas células foto receptoras del ojo. Pero en el 2002 David Berson de la Universidad de Brown (EE.UU.)(1) (Beld, 2003) detectó un nuevo tipo de foto receptor en la retina de los mamíferos. Este nuevo foto receptor muestra cómo la iluminación tiene efectos biológicos importantes. Gracias a estos estudios hemos aprendido que una buena iluminación tiene efectos visuales y biológicos. Los efectos biológicos implican que una buena iluminación tiene una influencia positiva sobre la salud, el bienestar, la vigilia e incluso sobre la calidad del sueño.

Los tres foto receptores del ojo:

Las células foto receptoras de la retina del ojo, los cono y bastoncillos, regulan los efectos visuales. Los bastoncillos funcionan cuando la luz es mínima y no permiten la visión en color. El sistema de conos es el responsable de la agudeza y el detalle y de la visión en color. Tanto los bastones y conos están conectadas con el córtex visual.

El nuevo tipo de célula foto receptora de la retina tiene su conexión nerviosa propia con un lugar del cerebro llamado núcleo supraquiasmático (NSQ), que es el reloj biológico del cerebro, y con la glándula pineal.

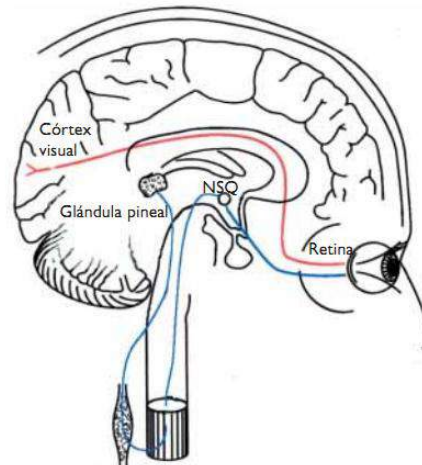


Figura 2.1 –Conexiones nerviosas del ojo

¿Cómo influyen estas células?

- Estas células foto receptoras tienen influencia en nuestro reloj biológico, que a su vez regula el ritmo cardíaco y los circuitos circadianos. Las hormonas cortisol (“hormona del estrés”) y melatonina (“hormona del sueño”) juegan un papel importante a la hora de controlar la vigilia y el sueño. El cortisol, entre otros, aumenta la glucosa sanguínea para dar energía al cuerpo y mejora el sistema inmune. Sin embargo, cuando los niveles de cortisol están demasiado elevados durante un período muy prolongado el sistema se agota y pierde su eficacia. El nivel de cortisol se incrementa por la mañana y prepara al cuerpo para la actividad del día que se avecina. Permanece a un nivel alto suficiente durante el día, cayendo a un nivel mínimo a medianoche. El nivel de la hormona del sueño (la melatonina) cae por la mañana, reduciendo la somnolencia. Normalmente sube de nuevo cuando llega la oscuridad para permitir un sueño sano.

De no ser por esta influencia de la luz, el biorritmo de los seres humanos promedio es de unas 24 horas y 15-30 minutos. El resultado serían unas desviaciones diarias cada vez mayores de nuestra temperatura corporal, del nivel de cortisol y de melatonina respecto de los establecidos por el tiempo horario medioambiental. Esta desarmonización cuando falta el ritmo “normal” de luz-oscuridad desembocaría en un ritmo equivocado de vigilia y sueño, con el resultado final de que la vigilia se produciría en las horas de oscuridad y el sueño durante las horas de luz. Son los mismos síntomas, y de hecho tienen las mismas causas, que los provocados por el “jet lag” cuando se atraviesan varios husos horarios.

- Los estudios realizados por van Bommel y van den Beld sobre los niveles de estrés y de malestar en personas que trabajan en interiores se realizaron comparando un grupo de personas que usó sólo luz artificial con otro grupo que utilizó luz artificial y natural combinadas. Como se puede ver en la figura, en enero (cuando la penetración de la luz natural no es suficiente como para contribuir al nivel de iluminación) existe poca diferencia entre los resultados de los dos grupos. Pero en mayo, cuando ya existe una

contribución real de la luz natural, el grupo que dispone de esta luz trasmite a los investigadores muchas menos quejas por estrés. Otro estudio muestra que en invierno la luz artificial brillante en interiores tiene un efecto positivo sobre la vitalidad y sobre el estado de ánimo.

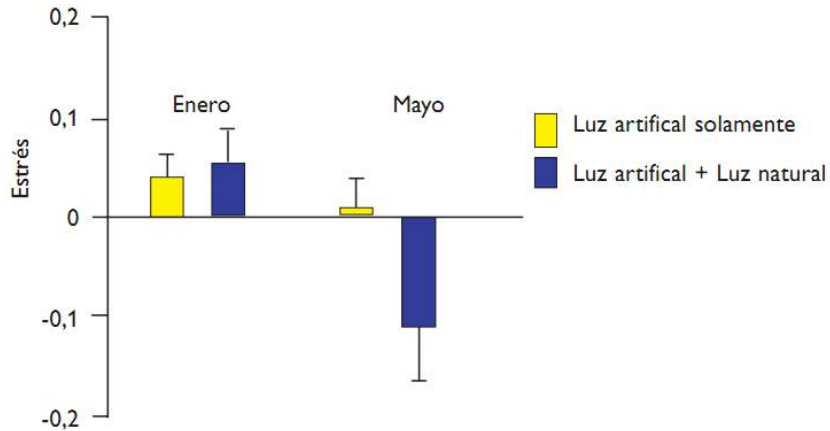


Figura 2.2 - Niveles de estrés

- La frecuencia con la que se produce la luz también es importante, y puede verse como una lámpara fluorescente funcionando a 30 kHz produce una disminución de los errores en comparación con una lámpara ordinaria a 50 Hz.

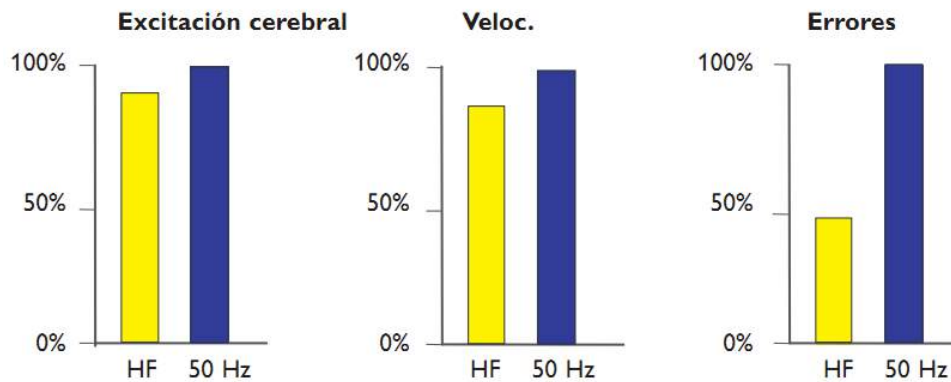


Figura 2.3 - Influencia de la oscilación de la fuente luminosa

- El color de la luz no sólo tienen un significado emocional diferente, sino que también tiene un efecto biológico distinto. La luz azulada de la mañana tienen un efecto activador biológico, mientras que el cielo rojo del atardecer tiene un efecto relajante. En un entorno

laboral se necesitan por igual momentos de activación y momentos de relajación. En su conjunto, el color y el nivel de iluminación de la luz artificial pueden ayudar a crear esos momentos.

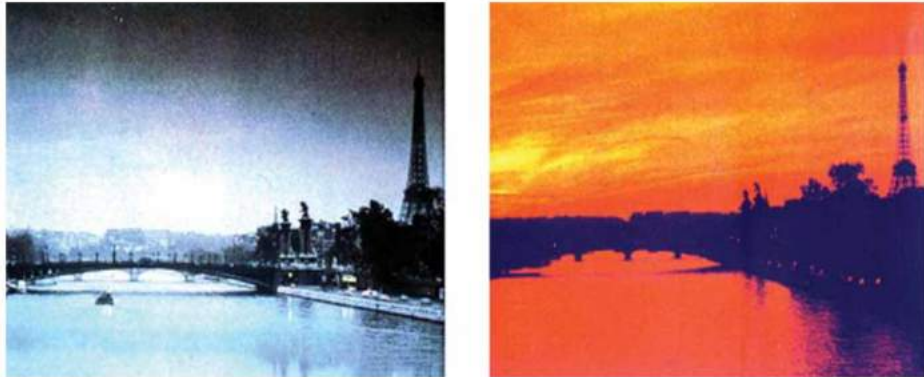


Figura 2.4 – Percepción del color ambiente de un amanecer y un atardecer en París

La iluminación en instalaciones

La instalación de alumbrado debe satisfacer una serie de aspectos que hagan de la actividad a desarrollar por el observador una tarea cómoda. Hay muchos aspectos a tener en cuenta, ya que no debe crear problemas de adaptación visual, debe proveer la agudeza visual adecuada, no debe obstruir la tarea visual y debe permitir posturas cómodas, debe limitar la producción de ruido, debe eliminar el efecto estroboscópico, debe generar poca carga térmica, etc.

Muchas de estas consideraciones se tienen en cuenta a la hora de realizar un proyecto de iluminación, pero pocas de ellas se cumplen en servicio, al descuidarse a la hora de realizarse la obra, la adquisición de los materiales, la falta de mantenimiento, etc. Todo ello hace que la calidad promedio de iluminación de una instalación sea muy deficiente.

Las principales causas que denotan una mala iluminación son:

1. Escaso nivel de iluminación
2. Alto nivel de deslumbramiento
3. Parpadeo de lámparas fluorescentes. Principal causante de estrés y dolores de cabeza.

Esto es producido en muchos casos a la falta un plan de mantenimiento. Por lo que se suele llevar a cabo un mantenimiento correctivo, cuando la luminaria falla, en vez de preventivo, donde se realiza una limpieza programada y una sustitución de las lámparas al terminar su vida útil.



Figura 2.5 – Ejemplo de mala iluminación

Que se puede obtener con una buena iluminación

La experiencia demuestra que una buena iluminación resulta eficaz a la hora de mejorar la productividad y la calidad. Una buena iluminación disminuye el cansancio visual, disminuyendo los dolores de cabeza, aumenta el confort y la seguridad del trabajador, reduce el índice de errores y estimula al personal. Además, esto puede conseguirse con un ahorro energético mediante el uso de nuevas tecnologías.

3. Conceptos básicos en ingeniería luminotécnica

3.1 Características físicas de las radiaciones luminosas:

- **Frecuencia (f):** número de ciclos completos recorridos por una radiación en un segundo. Se expresa en (ciclos/s) o (Hz).
- **Periodo (T):** es el tiempo que tarda una radiación en recorrer un ciclo. Se expresa en segundos (s), y resulta ser la inversa de la frecuencia: $T=f^{-1}$.
- **Longitud de onda (λ):** es la distancia entre dos ondas consecutivas. Su unidad más frecuente en aplicaciones lumínicas es el nanómetro (nm). Donde $1\text{ nm} = 1^{-9}\text{ m}$. Hay que saber que la longitud de onda no es una característica invariable, sino que depende de la naturaleza del medio de propagación (c).

$$f = \frac{c}{\lambda}$$

A pesar de lo indicado anteriormente, y teniendo en cuenta que las variaciones en la velocidad de propagación son relativamente pequeñas, la clasificación más usual de las radiaciones electromagnéticas es la que se basa en las longitudes de onda.

El espectro electromagnético:

Los límites de radiación visible varían en función del individuo, el límite inferior se sitúa normalmente entre 380 y 400 nm.; mientras que el superior está entre 760 y 780 nm. El espectro visible puede dividirse a su vez en una serie de intervalos de longitud de onda, según la impresión que producen en el ojo humano:

- 380-436 nm. Violeta
- 436-495 nm. Azul
- 495-566 nm. Verde
- 566-589 nm. Amarillo
- 589-627 nm. Naranja
- 627-780 nm. Rojo

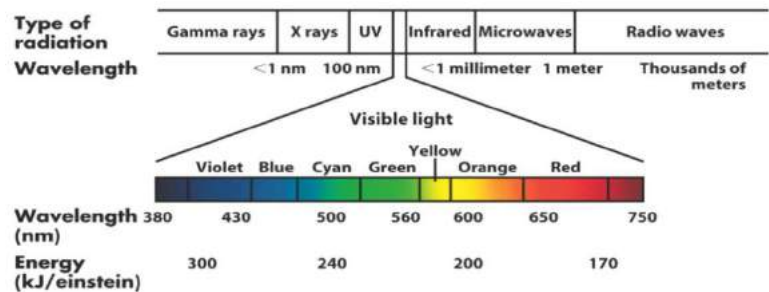


Figura 3.1 - Espectro electromagnético

Propiedades ópticas de los cuerpos:

Cuando una radiación luminosa incide en un cuerpo real se provocan tres fenómenos esenciales:

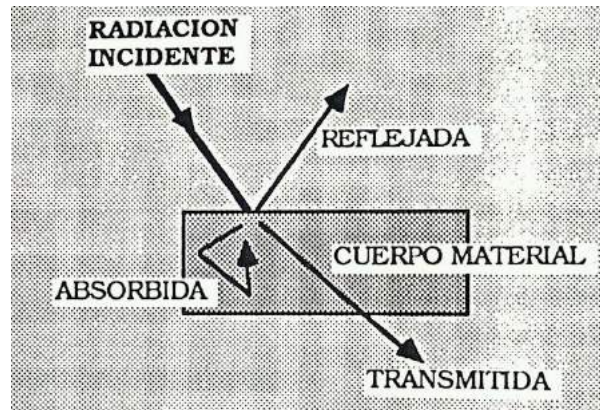


Figura 3.2 - Propiedades ópticas de los cuerpos

1. **Reflexión:** se produce cuando al incidir una onda sobre una superficie se produce una reflexión

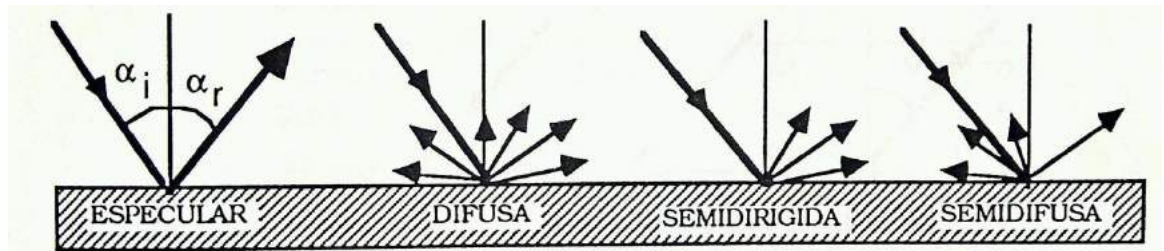


Figura 3.3 - Ejemplos de reflexión

2. **Transmisión:** es la propagación de las radiaciones a través de los cuerpos transparentes o traslúcidos. Si durante esta transmisión hay una diferencia en la densidad del medio se produce la refracción.
3. **Absorción:** es la energía radiante absorbida por el cuerpo, aumentando así su energía interna.

El color:

- **Tono:** viene determinado por la frecuencia.



- **Luminancia:** es la cantidad de intensidad luminosa que percibimos cuando observamos un objeto desde un cierto ángulo sólido. Una luminancia máxima equivale al blanco, mientras que una luminancia mínima corresponde al negro.
- **Saturación:** hace referencia a la predominancia de un tono determinado respecto a un gris a la misma luminancia. Esto es, nos indica la pureza cromática.
- **Temperatura del color:** hace referencia al color de la fuente luminosa. Es la temperatura que debe alcanzar un cuerpo negro ideal para que la tonalidad de la luz emitida sea igual a la de la lámpara considerada. Conviene aclarar que los conceptos temperatura de color y temperatura de filamento son diferentes y no tienen por qué coincidir sus valores.

Tc (K)	Apariencia de color
$T_c < 3300$	Cálida
$3300 < T_c < 5000$	Intermedia
$5000 < T_c$	Fría

Figura 3.4 – Temperatura de color y su apariencia

Como curiosidad puede señalarse que la luz natural blanca emitida por el Sol con el cielo despejado, tiene una temperatura de color, aproximada, de 5800 K cuando se encuentra en el cénit, y de 2000 K cuando está en el horizonte.

El dato de la temperatura de color se refiere únicamente a la apariencia de color de la luz, pero no a su composición espectral; de tal forma que dos fuentes de luz pueden poseer un color parecido, y unas propiedades de reproducción cromática muy diferentes. Introducimos, pues, un segundo parámetro que es la reproducción cromática, o capacidad de discriminación de los colores de una determinada fuente luminosa que hace referencia a cómo se ven los colores de los objetos iluminados.

- **Índice de reproducción cromática (IRC o Ra):** cuantifica la reproducción cromática en una escala graduada de 0 a 100. Se ha convenido que la fuente de referencia como luz natural normalizada esté constituida por:
 - a) Un cuerpo negro cuando la temperatura de color de la fuente luminosa que va a ser comprobada es menor o igual a 5.000 K.
 - b) La luz de día, de una composición específica, cuando la temperatura de color está por encima de los 5.000 K.

Según lo anterior, no podemos comparar el Ra de una lámpara con una $T_c=3000$ K con el de otra cuya $T_c=5500$ K, dado que se calculan usando luz de referencia diferente. Por lo tanto, aun para un $R_a=100$, las curvas espectrales son diferentes.

Las lámparas con índices menores de 80 no deberían ser usadas en interiores en los que las personas trabajen o permanezcan durante largos periodos de tiempo.



En la siguiente tabla muestra la calidad con la que se perciben los colores en función del Ra:

Ra < 60	Pobre
60 < Ra < 80	Bueno
80 < Ra < 90	Muy Bueno
90 < Ra	Excelente

Figura 3.5 – Representación de colores según Ra

Lámparas incandescentes/halógenas	Ra=100
Lámparas fluorescentes estándar	Ra=60
Lámparas fluorescentes especiales	Ra=94
Lámparas de vapor de mercurio	Ra=35 - 50
Lámparas de vapor de sodio baja presión	Ra=0

Figura 3.6 – Ra usuales para cada tipo de lámpara

Magnitudes y unidades luminosas:

- **Flujo luminoso (ϕ):** es el flujo radiante emitido dentro del espectro visible. Su unidad de medida es el lúmen (lm).
- **Iluminancia (E):** es la relación entre el flujo luminoso que recibe la superficie y su área. Su unidad es el lux (lx), y la fórmula que la expresa:

$$I = \frac{\phi}{S}$$

Se observa en la fórmula que cuanto mayor sea el flujo luminoso incidente sobre una superficie, mayor será su iluminancia, y que, para un mismo flujo luminoso incidente, la iluminancia será tanto mayor en la medida en que se disminuya la superficie.

Para la medida del nivel de iluminación se utiliza un luxómetro, que consiste en una célula fotoeléctrica, que al incidir la luz sobre su superficie, genera una débil corriente eléctrica que aumenta en función de la luz incidente.

- **Eficacia luminosa (η):** es la relación entre el flujo luminoso emitido por una fuente y el flujo energético aportado a la misma. Su unidad es el lúmen por vatio (lm/w). El valor máximo, si se transformara toda la energía en radiación monocromática de 550 nm., sería de 683 lm/w.
- **Intensidad luminosa o nivel de iluminación (I):** es el cociente del flujo luminoso emitido en una dirección por unidad de ángulo sólido en esa dirección. Su unidad es la candela (cd), y la fórmula que la expresa:

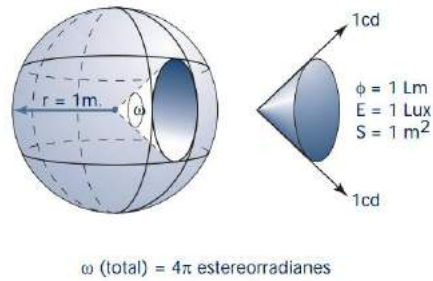


Figura 3.7 - Intensidad luminosa

$$I = \frac{\phi}{\omega}$$

- **Luminancia (L):** es el efecto de luminosidad que produce una superficie en la retina del ojo, tanto si procede de una fuente primaria que genera luz, como si procede de una fuente secundaria que la refleja. La unidad de medida de la luminancia es la candela por metro cuadrado (cd/m^2).

Curvas fotométricas:

Sólido fotométrico: Es la representación gráfica de las medidas de intensidades luminosas según las direcciones que parten del centro óptico de la luminaria.

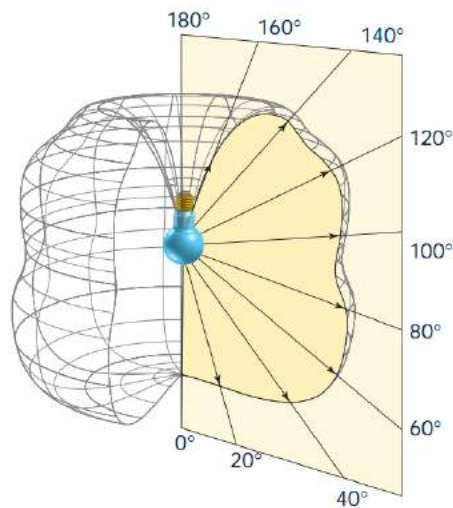


Figura 3.7 - Sólido fotométrico

Curva fotométrica o curva de distribución luminosa: lo obtenemos si hacemos pasar un plano por el eje de simetría de la fuente luminosa. Suelen darse referidas a un flujo luminoso emitido de

1.000 lm y como el caso general es que la fuente de luz emita un flujo superior, lo valores de intensidad luminosa se calculan con una regla de tres simple.

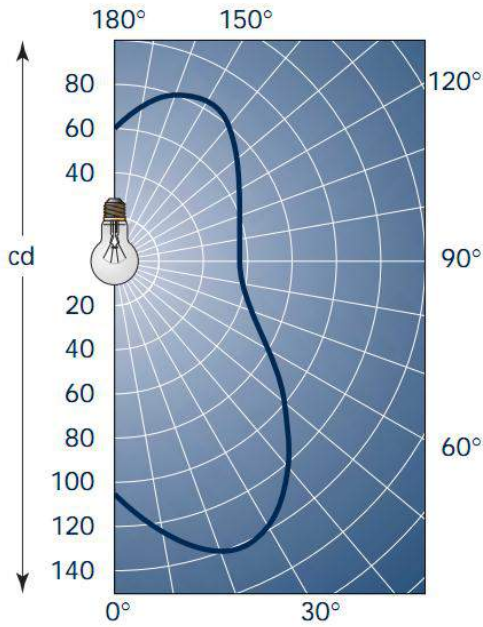


Figura 3.8 – Curva fotométrica

Curvas isolux: son líneas que sobre una superficie unen puntos de igual iluminación.

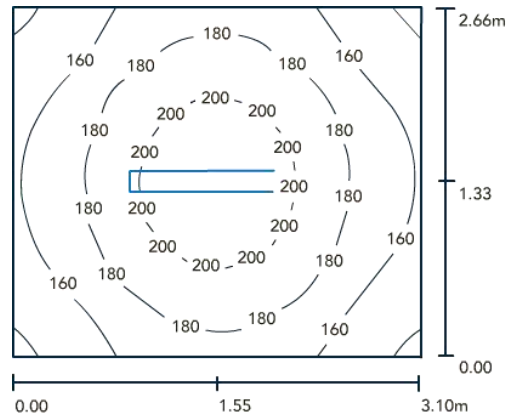


Figura 3.9 – Curva isolux



3.2 Tipos de lámparas

Lámparas incandescentes:

La lámpara incandescente produce luz mediante el calentamiento eléctrico de un alambre, el filamento, hasta una temperatura tan alta que la radiación emitida cae en la región visible del espectro. La producción de luz mediante la incandescencia tiene una ventaja adicional, y es que la luz emitida contiene todas las longitudes de onda que forman la luz visible o dicho de otra manera, su espectro de emisiones es continuo. De esta manera se garantiza una buena reproducción de los colores de los objetos iluminados. Las partes principales de una lámpara incandescente son:

- **El filamento:** es un elemento conductor de resistencia media. En la actualidad se usa wolframio que cuenta con una temperatura de fusión de unos 3.683 K. La vida del filamento viene condicionada por el fenómeno de evaporación. Que consiste en la emisión de partículas debido a la temperatura, adelgazándose el filamento progresivamente y llegando a su rotura. La temperatura suele estar comprendida entre los 2.400 K en lámparas al vacío, y los 2.900 K en lámparas con gas.
- **La ampolla:** su misión es la de aislar el filamento del medio ambiente. Suele ser de vidrio soplado aunque en ocasiones puede usarse cristal de cuarzo.
- **El casquillo:** conecta la lámpara a la red y fija la lámpara al portalámparas correspondiente.
- **El gas que llena la ampolla:** Según el tipo de gas que contienen en el interior podemos distinguir las lámparas que son halógenas de las que no.
 - a) **Lámparas no halógenas:** pueden dejarse al vacío o rellenarse con un gas inerte en el interior. Tienen una duración normalizada de 1000 horas, una potencia entre 25 y 2000 W y unas eficacias entre 7.5 y 11 lm/W para las lámparas de vacío y entre 10 y 20 lm/W para las rellenas de gas inerte. En la actualidad predomina el uso de las lámparas con gas, reduciéndose el uso de las de vacío a aplicaciones ocasionales en alumbrado general con potencias de hasta 40 W.
 - b) **Lámparas halógenas de alta y baja tensión:** en las lámparas incandescentes normales se produce una disminución significativa del flujo luminoso a lo largo de su vida útil. Esto se debe al ennegrecimiento de la ampolla por culpa de la evaporación de partículas de wolframio del filamento y su posterior condensación sobre la ampolla. Agregando al gas de relleno una pequeña cantidad de un compuesto gaseoso con halógenos (cloro, bromo o yodo), se consigue establecer un ciclo de regeneración del halógeno que evita el ennegrecimiento. Cuando el tungsteno (W) se evapora se une al bromo formando el bromuro de wolframio (WBr₂).



Como las paredes de la ampolla están muy calientes (más de 260 °C) no se deposita sobre estas y permanece en estado gaseoso. Cuando el bromuro de wolframio entra en contacto con el filamento, que está muy caliente, se descompone en W que se deposita sobre el filamento y Br que pasa al gas de relleno. Y así, el ciclo vuelve a empezar. El funcionamiento de este tipo de lámparas requiere de temperaturas muy altas para que pueda realizarse el ciclo del halógeno. Por eso, son más pequeñas y compactas que las lámparas normales y la ampolla se fabrica con un cristal especial de cuarzo. Tienen una eficacia luminosa de 22 lm/W con una amplia gama de potencias de trabajo (150 a 2000 W). Las lámparas halógenas se utilizan normalmente en alumbrado por proyección y cada vez más en iluminación doméstica.

Tanto la duración de una lámpara como su eficacia (los lúmenes emitidos por vatio consumido) están determinadas por la temperatura del filamento. Para una lámpara determinada a mayor temperatura mayor eficacia y menor duración. Aun así, el rendimiento luminoso tiene un valor muy bajo, transformándose la mayor parte de energía eléctrica consumida en calor. Aproximadamente un 10% de la energía consumida se transforma en luz, mientras que el 90% restante se transforma en calor: un 72% radiación, 12% convección en el gas de relleno y un 6% conducción en casquillo y ampolla.

Las principales cualidades de este grupo de lámparas son:

1. Sencillez constructiva, por lo que tienen un coste de adquisición bajo
2. Acople directo a la red sin necesidad de ningún tipo de equipo auxiliar
3. Excelente reproducción cromática.

Lámparas de descarga:

Las lámparas de descarga constituyen una forma alternativa de producir luz de una manera más eficiente y económica que las lámparas incandescentes. Por eso, su uso está tan extendido hoy en día. La luz emitida se consigue por excitación de un gas sometido a descargas eléctricas entre dos electrodos. Según el gas contenido en la lámpara y la presión a la que esté sometido tendremos diferentes tipos de lámparas, cada una de ellas con sus propias características luminosas.

Funcionamiento:

La luz se consigue estableciendo una corriente eléctrica entre dos electrodos situados en un tubo lleno con un gas o vapor ionizado.



En el interior del tubo, se producen descargas eléctricas como consecuencia de la diferencia de potencial entre los electrodos. Estas descargas provocan un flujo de electrones que atraviesa el gas. Cuando uno de ellos choca con los electrones de las capas externas de los átomos les transmite energía y pueden suceder dos cosas.

La primera posibilidad es que la energía transmitida en el choque sea lo suficientemente elevada para poder arrancar al electrón de su orbital. Este, puede a su vez, chocar con los electrones de otros átomos repitiendo el proceso. Si este proceso no se limita, se puede provocar la destrucción de la lámpara por un exceso de corriente.

La otra posibilidad es que el electrón no reciba suficiente energía para ser arrancado. En este caso, el electrón pasa a ocupar otro orbital de mayor energía. Este nuevo estado acostumbra a ser inestable y rápidamente se vuelve a la situación inicial. Al hacerlo, el electrón libera la energía extra en forma de radiación electromagnética, principalmente ultravioleta (UV) o visible. Un electrón no puede tener un estado energético cualquiera, sino que sólo puede ocupar unos pocos estados que vienen determinados por la estructura atómica del átomo. Como la longitud de onda de la radiación emitida es proporcional a la diferencia de energía entre los estados inicial y final del electrón y los estados posibles no son infinitos.

La consecuencia de esto es que la luz emitida por la lámpara no es blanca. Por lo tanto, la capacidad de reproducir los colores de estas fuentes de luz es peor que en el caso de las lámparas incandescentes que tienen un espectro continuo. Es posible, recubriendo el tubo con sustancias fluorescentes, mejorar la reproducción de los colores y aumentar la eficacia de las lámparas convirtiendo las nocivas emisiones ultravioletas en luz visible.

Elementos auxiliares:

Para que las lámparas de descarga funcionen correctamente es necesario, en la mayoría de los casos, la presencia de unos elementos auxiliares:

- **Cebador:** es un dispositivo que suministra un breve pico de tensión entre los electrodos del tubo, necesario para iniciar la descarga y vencer así la resistencia inicial del gas a la corriente eléctrica. Tras el encendido, continua un periodo transitorio durante el cual el gas se estabiliza y que se caracteriza por un consumo de potencia superior al nominal.
- **Balasto:** limita la corriente que atraviesa la lámpara y evitar así un exceso de electrones circulando por el gas que aumentaría el valor de la corriente hasta producir la destrucción de la lámpara.

Eficacia

Al establecer la eficacia de este tipo de lámparas hay que diferenciar entre la eficacia de la fuente de luz y la de los elementos auxiliares necesarios para su funcionamiento que depende del fabricante. En las lámparas, las pérdidas se centran en dos aspectos: las pérdidas por calor y las



pérdidas por radiaciones no visibles (ultravioleta e infrarrojo). El porcentaje de cada tipo dependerá de la clase de lámpara con que trabajemos.

La eficacia de las lámparas de descarga oscila entre los 19-28 lm/W de las lámparas de luz de mezcla y los 100-183 lm/W de las de sodio a baja presión.

Características cromáticas

Debido a la forma discontinua del espectro de estas lámparas, la luz emitida es una mezcla de unas pocas radiaciones monocromáticas de la zona ultravioleta (UV) y del espectro visible. Esto hace que la reproducción del color no sea muy buena y su rendimiento en color tampoco.

Para solucionar este problema podemos tratar de completar el espectro con radiaciones de longitudes de onda distintas a las de la lámpara. La primera opción es combinar en una misma lámpara dos fuentes de luz con espectros que se complementen como ocurre en las lámparas de luz de mezcla (incandescencia y descarga). También podemos aumentar la presión del gas. De esta manera se consigue aumentar la anchura de las líneas del espectro de manera que formen bandas anchas y más próximas entre sí. Otra solución es añadir sustancias sólidas al gas, que al vaporizarse emitan radiaciones monocromáticas complementarias. Por último, podemos recubrir la pared interna del tubo con sustancias fluorescentes que conviertan los rayos ultravioletas en radiaciones visibles.

Características de duración:

Hay dos aspectos básicos que afectan a la duración de las lámparas:

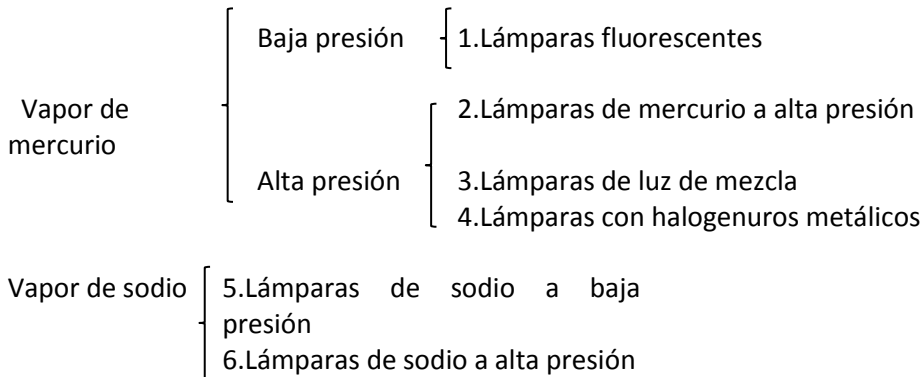
1. **La depreciación del flujo:** este se produce por ennegrecimiento de la superficie de la superficie del tubo donde se va depositando el material emisor de electrones que recubre los electrodos. En aquellas lámparas que usan sustancias fluorescentes otro factor es la pérdida gradual de la eficacia de estas sustancias.
2. **Deterioro de los componentes de la lámpara:** se debe a la degradación de los electrodos por agotamiento del material emisor que los recubre. Otras causas son un cambio gradual de la composición del gas de relleno y las fugas de gas en lámparas a alta presión.

Factores externos que influyen en el funcionamiento

Los factores externos que más influyen en el funcionamiento de la lámpara son la temperatura ambiente y la influencia del número de encendidos. Esta última es muy importante para establecer la duración de una lámpara de descarga ya que el deterioro de la sustancia emisora de los electrodos depende en gran medida de este factor.



Las lámparas de descarga se pueden clasificar según el gas utilizado (vapor de mercurio o sodio) o la presión a la que este se encuentre (alta o baja presión). La clasificación es la siguiente:



1. Lámparas fluorescentes

Las lámparas fluorescentes son lámparas de vapor de mercurio a baja presión (0.8 Pa). En estas condiciones, en el espectro de emisión del mercurio predominan las radiaciones ultravioletas. Para que estas radiaciones sean útiles, se recubren las paredes interiores del tubo con polvos fluorescentes que convierten los rayos ultravioletas en radiaciones visibles. De la composición de estas sustancias dependerán la cantidad y calidad de la luz, y las cualidades cromáticas de la lámpara. En la actualidad se usan dos tipos de polvos; los que producen un espectro continuo y los trifósforos que emiten un espectro de tres bandas con los colores primarios.

Las lámparas fluorescentes se caracterizan por carecer de ampolla exterior. El tubo de descarga está relleno con vapor de mercurio a baja presión y una pequeña cantidad de un gas inerte que sirve para facilitar el encendido y controlar la descarga de electrones. La eficacia oscila entre los 38 y 91 lm/W dependiendo de las características de cada lámpara.

La vida útil está entre 5000 y 7000 horas. Su vida termina cuando el desgaste sufrido por la sustancia emisora que recubre los electrodos impide el encendido al necesitarse una tensión de ruptura superior a la suministrada por la red, este hecho se incrementa con el número de encendidos. Además de esto, hemos de considerar la depreciación del flujo provocada por la pérdida de eficacia de los polvos fluorescentes y el ennegrecimiento de las paredes del tubo donde se deposita la sustancia emisora.

El rendimiento en color de estas lámparas varía de moderado a excelente según las sustancias fluorescentes empleadas. Para las lámparas destinadas a usos habituales que no requieran de gran precisión su valor está entre 80 y 90.

Las lámparas fluorescentes utilizan el balasto para limitar la corriente que atraviesa el tubo; pero para el encendido hay varias posibilidades: arranque con cebador, o sin él. En el primer caso, el cebador se utiliza para calentar los electrodos antes de someterlos a la tensión de arranque. En



el segundo caso tenemos las lámparas de arranque rápido en las que se calientan continuamente los electrodos y las de arranque instantáneo en que la ignición se consigue aplicando una tensión elevada. Las lámparas compactas más modernas llevan incorporado el balasto y el cebador.

2. Lámparas de vapor de mercurio a alta presión

A medida que aumentamos la presión del vapor de mercurio se producen más emisiones en la zona visible del espectro. En estas condiciones la luz emitida, de color azul verdoso, no contiene radiaciones rojas. Para resolver este problema se acostumbra a añadir sustancias fluorescentes que emitan en esta zona del espectro. De esta manera se mejoran las características cromáticas de la lámpara. La temperatura de color se mueve entre 3500 y 4500 K con índices de rendimiento en color de 40 a 45 normalmente. La vida útil, teniendo en cuenta la depreciación se establece en unas 8000 horas. La eficacia oscila entre 40 y 60 lm/W y aumenta con la potencia, aunque para una misma potencia es posible incrementar la eficacia añadiendo un recubrimiento de polvos fosforescentes que conviertan la luz ultravioleta en visible.

Los modelo más habituales de estas lámparas tienen una tensión de encendido entre 150 y 180 V que permite conectarlas a la red de 220 V sin necesidad de elementos auxiliares. Para encenderlas se recurre a un electrodo auxiliar próximo a uno de los electrodos principales que ioniza el gas inerte contenido en el tubo y facilita el inicio de la descarga entre los electrodos principales. A continuación se inicia un periodo transitorio de unos cuatro minutos, caracterizado porque la luz pasa de un tono violeta a blanco azulado, en el que se produce la vaporización del mercurio y un incremento progresivo de la presión del vapor y el flujo luminoso hasta alcanzar los valores normales. Si en estos momentos se apagara la lámpara no sería posible su reencendido hasta que se enfriara, puesto que la alta presión del mercurio haría necesaria una tensión de ruptura muy alta.

3. Lámparas de luz de mezcla

Las lámparas de luz de mezcla son una combinación de una lámpara de mercurio a alta presión con una lámpara incandescente. El resultado de esta mezcla es la superposición, al espectro del mercurio, del espectro continuo característico de la lámpara incandescente y las radiaciones rojas provenientes de la fosforescencia. Su eficacia se sitúa entre 20 y 60 lm/W y es el resultado de la combinación de la eficacia de una lámpara incandescente con la de una lámpara de descarga. Estas lámparas ofrecen una buena reproducción del color con un rendimiento en color de 60 y una temperatura de color de 3600 K. La duración viene limitada por el tiempo de vida del filamento que es la principal causa de fallo. Respecto a la depreciación del flujo hay que considerar dos causas. Por un lado tenemos el ennegrecimiento de la ampolla por culpa del wolframio evaporado y por otro la pérdida de eficacia de los polvos fosforescentes. En general, la vida útil se sitúa en torno a las 6000 horas.

Una particularidad de estas lámparas es que no necesitan balasto ya que el propio filamento actúa como estabilizador de la corriente. Esto las hace adecuadas para sustituir las lámparas incandescentes sin necesidad de modificar las instalaciones.

4. Lámparas con halogenuros metálicos

Si añadimos en el tubo de descarga yoduros metálicos (sodio, talio, indio...) se consigue mejorar considerablemente la capacidad de reproducir el color de la lámpara de vapor de mercurio. Cada una de estas sustancias aporta nuevas líneas al espectro. Los resultados de estas aportaciones son una temperatura de color de 3000 a 6000 K dependiendo de los yoduros añadidos y un rendimiento del color de entre 65 y 85. La eficiencia de estas lámparas ronda entre los 60 y 96 lm/W y su vida media es de unas 10000 horas. Tienen un periodo de encendido de unos diez minutos, que es el tiempo necesario hasta que se estabiliza la descarga. Para su funcionamiento es necesario un dispositivo especial de encendido, puesto que las tensiones de arranque son muy elevadas (1500-5000 V). Las excelentes prestaciones cromáticas la hacen adecuada entre otras para la iluminación de instalaciones deportivas, para retransmisiones de TV, estudios de cine, proyectores, etc.

5. Lámparas de vapor de sodio a baja presión

La descarga eléctrica en un tubo con vapor de sodio a baja presión produce una radiación monocromática.

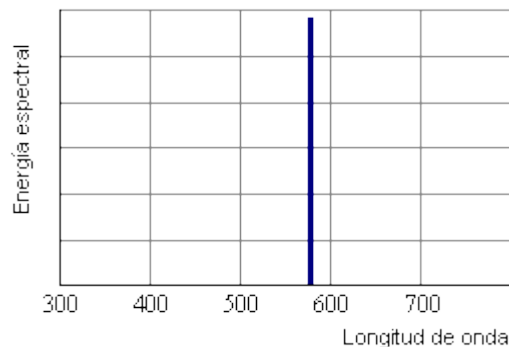


Figura 4.1 - Espectro de una lámpara de vapor de sodio a baja presión

Tienen una eficacia muy elevada (entre 160 y 180 lm/W). Otras ventajas que ofrecen es que permiten una gran comodidad y agudeza visual, además de una buena percepción de contrastes. Por contra, su monocromatismo hace que la reproducción de colores y el rendimiento en color sean muy malos haciendo imposible distinguir los colores de los objetos. La vida media de estas lámparas es muy elevada, de unas 15000 horas y la depreciación de flujo luminoso que sufren a lo largo de su vida es muy baja por lo que su vida útil es de entre 6000 y 8000 horas. Esto junto a su alta eficiencia y las ventajas visuales que ofrece la hacen muy adecuada para usos de alumbrado



público, aunque también se utiliza con finalidades decorativas. En cuanto al final de su vida útil, este se produce por agotamiento de la sustancia emisora de electrones como ocurre en otras lámparas de descarga. Aunque también se puede producir por deterioro del tubo de descarga o de la ampolla exterior. En estas lámparas el tubo de descarga tiene forma de U para disminuir las pérdidas por calor y reducir el tamaño de la lámpara. El tubo está encerrado en una ampolla en la que se ha practicado el vacío con objeto de aumentar el aislamiento térmico. El tiempo de arranque de una lámpara de este tipo es de unos diez minutos. Es el tiempo necesario desde que se inicia la descarga en el tubo en una mezcla de gases inertes (neón y argón) hasta que se vaporiza todo el sodio y comienza a emitir luz.

Lámparas de vapor de sodio a alta presión

Las lámparas de vapor de sodio a alta presión tienen una distribución espectral que abarca casi todo el espectro visible proporcionando una luz blanca dorada mucho más agradable que la proporcionada por las lámparas de baja presión.

Las consecuencias de esto es que tienen un rendimiento en color y capacidad para reproducir los colores mucho mejores que la de las lámparas a baja. Esto se consigue a base de sacrificar eficacia; aunque su valor que ronda los 130 lm/W sigue siendo un valor alto comparado con los de otros tipos de lámparas.

La vida media de este tipo de lámparas ronda las 20000 horas y su vida útil entre 8000 y 12000 horas. Entre las causas que limitan la duración de la lámpara, además de mencionar la depreciación del flujo tenemos que hablar del fallo por fugas en el tubo de descarga y del incremento progresivo de la tensión de encendido necesaria hasta niveles que impiden su correcto funcionamiento. El tubo está rodeado por una ampolla en la que se ha hecho el vacío. La tensión de encendido de estas lámparas es muy elevada y su tiempo de arranque es muy breve.

Este tipo de lámparas tienen muchos usos posibles tanto en iluminación de interiores como de exteriores. Algunos ejemplos son en iluminación de naves industriales, alumbrado público o iluminación decorativa.

Tipo de lámpara	Eficacia sin balasto (lm/W)	Vida útil (h)
Fluorescentes	38-91	7.000
Mercurio a alta presión	40-63	8.000
Luz de mezcla	19-28	6.000
Halogenuros metálicos	75-95	10.000
Sodio a baja presión	100-183	7.000
Sodio a alta presión	70-130	10.000

Figura 4.2 – Tabla con valores aproximados de eficacia y vida promedio de distintos tipos de lámparas de descarga



Lámparas LED:

Son lámparas de estado sólido de diodos emisores de luz. Debido a que la luz capaz de emitir un LED no es muy intensa, estas las lámparas están compuestas por agrupaciones de LED, en mayor o menor número, según la intensidad luminosa deseada. Hay varias tecnologías de fabricación, como, diodos convencionales LED, OLED (organic light-emitting diodes), PLED (polymer LEDs), etc.

Los LED emiten luz en una banda de longitudes de onda muy estrecha (fuertemente coloreada). El color es característico de la banda prohibida de energía de un material semiconductor usado para fabricar el LED. Hay dos métodos para emitir luz blanca: combinar LED de luz roja, verde y azul, o bien usar alguna sustancia fosforescente.

El primer método se denomina LED RGB, usan diferentes LED cada uno emitiendo una longitud de onda diferente. La ventaja de este método es que la intensidad de cada LED puede ser ajustada para afinar las propiedades de la luz emitida. La mayor desventaja es su alto costo de producción.

El segundo método, pbLEDs, usa un LED de corta longitud de onda (normalmente azul o ultravioleta) en combinación con una sustancia fosforescente, la cual absorbe una porción de la luz azul y emite un espectro más amplio de luz blanca (parecido a una fluorescente). La mayor ventaja aquí es el costo de producción bajo, alto Ra, pero es incapacidad de variar dinámicamente el carácter de la luz. A su vez la conversión de fosforescencia reduce la eficiencia del dispositivo. El bajo costo y el desempeño adecuado lo hace la tecnología más utilizada para la iluminación general hoy en día.

Los diodos funcionan con energía eléctrica de corriente continua (CC), de modo que las lámparas de LED deben incluir circuitos internos para operar desde el voltaje CA estándar. Los LED se dañan a altas temperaturas por lo que suelen disponer de disipadores.

Algunas diferencias de los LEDs frente a las lámparas fluorescentes son: no contienen mercurio, su vida útil no se ve afectada por los apagados y encendidos, son más robustas a vibraciones e impactos. También hay que destacar que gracias al pequeño tamaño de las lámparas LED y sus posibilidades de control (sin pérdida de eficiencia), es posible hacer su disposición espacial de manera totalmente flexible.

Las lámparas LED son tan eficientes como las fluorescentes, pero su mayor ventaja es su duración, alrededor de 50000 h (25-30 años con un uso normal) frente a las 8000 h de las fluorescentes. Además presentan una baja disminución de la intensidad lumínica durante su vida. La larga vida de estas lámparas supone un problema para los fabricantes, cuyos clientes actualmente compran repuestos frecuentemente. Están disponibles LED de diferentes colores. A parte de LED de luz blanca pueden resultar interesantes LED monocromáticos, como los que se usan en los semáforos o en los adornos de navidad. Entre los mercados de las lámparas LEDs se



encuentran la jardinería y la agricultura. Esta tecnología es utilizada por la NASA para cultivar plantas en el espacio. Las longitudes de onda de la luz emitida por las lámparas LED han sido adaptadas para suministrar la luz en el rango espectral necesaria para la absorción de la clorofila en las plantas, y así promover el crecimiento y reducir la emisión en otras longitudes de onda que las plantas no necesitan. Se suelen usar los espectros de luz roja y azul para estos propósitos. Estas luces son atractivas para los cultivadores de interior ya que utilizan menos energía que otros tipos de la misma intensidad de la luz, no necesitan balastos, y emiten mucho menos calor. La reducción de calor permite que el tiempo entre ciclos de riego se extienda porque las plantas transpiran menos.

El proceso de producción LED es complejo y aún estamos en las primeras generaciones de lámparas LED. Por tanto, hay muchos aspectos donde se puede seguir mejorando, principalmente en la buena reproducción de colores a bajo coste, y en la mejora de las características térmicas, por lo que las previsiones demuestran una bajada de precio.



3.3 Normativa

Código Técnico de la Edificación

El Código Técnico de la Edificación fue aprobado por el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, y publicado en el BOE del 28 de marzo de 2006.

Esta norma de referencia para la construcción de edificios establece las exigencias que deben cumplirse en los edificios, en relación con los requisitos básicos a la seguridad y a la habitabilidad. Se trata de una norma de mínimos obligatorios y, también es una norma de objetivos donde se indican los valores que se deben obtener.

El Código se estructura en varios documentos básicos. A continuación vamos a tratar los de mayor repercusión para nuestro estudio.

SU 4 - Seguridad frente al riesgo derivado de iluminación inadecuada

Dentro de esta sección se recogen los niveles mínimos de alumbrado normal en zonas de circulación, medidos a nivel del suelo. Sin ser estos especialmente elevados, sí suponen un incremento respecto a la práctica habitual. Para el caso de iluminación interior y circulación exclusiva de persona nos encontramos con los valores de 75 lux para escaleras y 50 lux para el resto de zonas, como valores de iluminación mínima.

HE 3 - Eficiencia energética en instalaciones de iluminación

Tiene como objetivo conseguir un uso racional de la energía necesaria para la utilización de los edificios. Se aplica a:

- a) Edificios de nueva construcción
- b) Rehabilitación de edificios existentes con una superficie útil superior a 1.000 m², donde se renueva más de un 25% de la superficie iluminada
- c) Reformas de locales comerciales y de edificios de uso administrativo en los que se renueve la instalación de iluminación

Una de las exigencias básicas de ahorro de energía es la HE 3 – Eficiencia Energética de las instalaciones de iluminación donde se fijan, por primera vez en la normativa española, unos requisitos para las instalaciones de iluminación. Establece que los edificios dispondrán de instalaciones de iluminación adecuadas a las necesidades de sus usuarios y a la vez eficaces energéticamente, contando con un sistema de control que permita ajustar el encendido a la



ocupación real de la zona, así como un sistema de iluminación que optimice el aprovechamiento de la luz natural en aquellas zonas donde reúnan unas condiciones adecuadas. A la hora de realizar el diseño y dimensionamiento de la instalación hay que tener en cuenta los valores indicados en la UNE 12464-1.

Documentación justificativa:

- a) El factor de mantenimiento (Fm) previsto
- b) La iluminancia media horizontal media (Em)
- c) El índice de deslumbramiento unificado (UGR)
- d) Los índices de rendimiento de color (Ra) de las lámparas usadas
- e) El valor de eficiencia energética de la instalación (VEEI)
- f) Las potencias de los conjuntos: lámpara más equipo auxiliar

Norma UNE 12464-1

En el año 2002 se redactó la Directiva 2002/91/CE relativa a la Eficiencia Energética de los Edificios; y de aplicación obligatoria en los países miembros. Esta Directiva impulsa la consecución de la mayor eficiencia energética posible en todas y cada una de las instalaciones que concurren en un edificio, entre las que se encuentra la iluminación.

Pero no debe olvidarse que junto con el deseo de ahorrar energía coexiste la obligación de satisfacer los criterios de calidad precisos para que las instalaciones de iluminación proporcionen no sólo niveles suficientes sino satisfactorios de todos aquellos parámetros que contribuyen a crear un ambiente confortable y seguro en los lugares de trabajo. Esta se recoge en la norma UNE 12464-1 relativa a “Iluminación de los lugares de trabajo en interior”, creada por la Comisión Europea de Normalización en septiembre de 2002.

Dentro de confort visual están englobados parámetros tales como relación de luminancias entre tarea y entorno, control del deslumbramiento, etc.

Los requisitos de iluminación son determinados por la satisfacción de tres necesidades humanas básicas:

1. **Confort visual:** en el que los trabajadores tienen una sensación de bienestar, de un modo indirecto también contribuye a un elevado nivel de la productividad.
2. **Prestaciones visuales:** los trabajadores son capaces de realizar sus tareas visuales, incluso en circunstancias difíciles y durante periodos más largos.
3. **Seguridad**



4. Metodología:

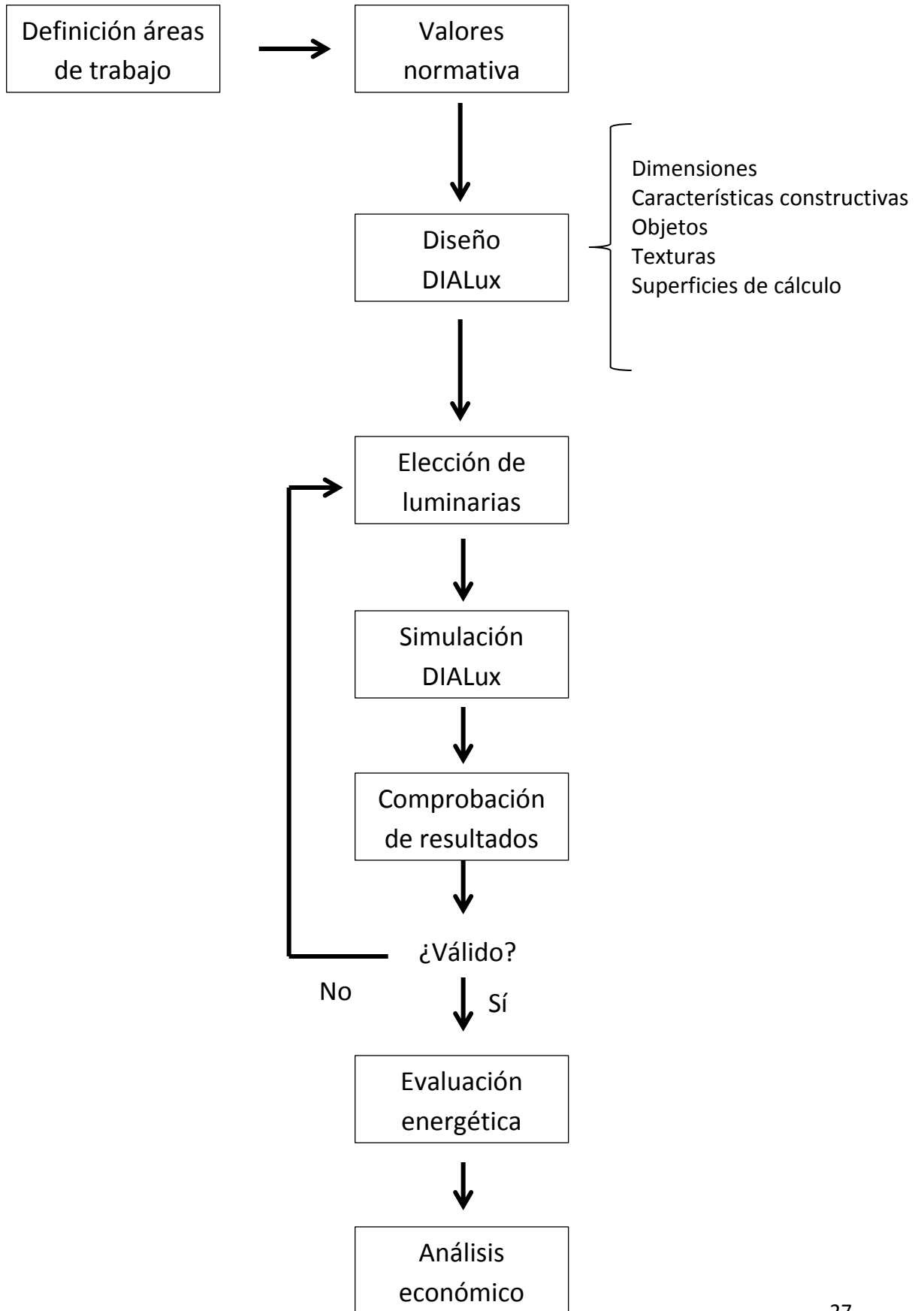
4.1 Análisis genérico

Lo primero que debemos conocer es dónde vamos a aplicar el estudio. Debemos conocer el edificio, su posición geográfica y su orientación, así como identificar las diferentes actividades que se van a desarrollar en sus locales. Es importante conocer los horarios, los periodos de ausencia, la edad de los usuarios, etc. Con ello podremos elegir las luminarias más adecuadas. A continuación se realiza la simulación por ordenador o cálculos manuales en su defecto, para comprobar que los niveles de iluminación superan la normativa establecida para cada caso. Para terminar hay que realizar un análisis económico que nos indique la viabilidad de la instalación.

A continuación se va a describir el proceso que hemos seguido para afrontar el estudio de un sistema de iluminación:

- a) Definidas las áreas de trabajo, debemos identificar las diferentes actividades que se van a desarrollar en su interior. Dentro de cada gran grupo de actividad (edificio de oficinas, centros educativos, hospitales, producción, hoteles y gastronomía, mayoristas y minoristas, exposición, etc.); hay que señalar la actividad y características de cada local. Por ejemplo, hay que diferenciar una oficina en función del número de personas que trabajan en ella, o un centro de estudios para personas mayores tendrá que disponer de mayor nivel de iluminación que uno de niños.
- b) Hay que comprobar en la normativa los valores luminotécnicos que debemos superar. Los más importantes son la iluminancia, que nos indica el nivel de iluminación; el valor de eficiencia energética o VEEI, el valor del deslumbramiento UGR, la uniformidad, etc.
- c) Diseño en ordenador mediante el software DIALux, atendiendo a:
 - i. Dimensiones físicas: número de paredes, altura de techos, etc.
 - ii. Características constructivas del techo, paredes y suelo: grado de reflexión, color, transparencia, rugosidad, brillo, etc.
 - iii. Objetos y sus propiedades.
 - iv. Texturas.
 - v. Superficies de cálculo. Son las superficies a tener en cuando se realiza un cálculo. Su posición y dirección dependen el uso del local.
- d) Duplicar local (para poder probar con distintas luminarias)
- e) Elección de luminarias
- f) Simulación (se verá un ejemplo posteriormente)
- g) Comprobación de resultados
- h) Evaluación energética
- i) Análisis económico

A continuación se muestra el flujo de trabajo mediante un esquema:





4.2 Análisis por ordenador: DIALux

DIALux es un software de cálculo luminotécnico usado por diseñadores de iluminación, consultores, arquitectos, técnicos de iluminación, etc. Puede ser utilizado para el cálculo de iluminación interior y exterior. Permite la importación de archivos de Autocad para su estudio. Se caracteriza por ser capaz de calcular los niveles de iluminación debidos a luz directa e indirecta. El método de cálculo es denominado cálculo por radiosidad (6). Se basa en el principio de conservación de la energía, que asume que la luz que es proyectada sobre una superficie y no es absorbida por ésta, será remitida. La superficie también puede ser luminosa por sí misma.

Los programas de cálculo de iluminación llevan usándose desde hace varias décadas, por lo que se ha podido comprobar la exactitud de los resultados. No obstante, hay que destacar que las causas de desviaciones más frecuentes son:

- Desviación de los datos teóricos de luminosidad de la lámpara con los reales.
- Fuente de alimentación en el uso real, en comparación con laboratorios.
- Desviación en la temperatura de funcionamiento
- Desviación en el grado de reflexión de las superficies

En condiciones de laboratorio y en un espacio de unos 30 m², minimizando las alteraciones de estos factores las desviaciones del resultado y la realidad son menores a 1%.

Flujo de trabajo en DIALux

Tras abrir DIALux y crear un nuevo proyecto, debemos definir la ubicación del mismo. A continuación hay que insertar un nuevo local del cual deben definirse las dimensiones, el grado de mantenimiento y la orientación. También deben indicarse las propiedades del suelo, techo, paredes y plano útil.

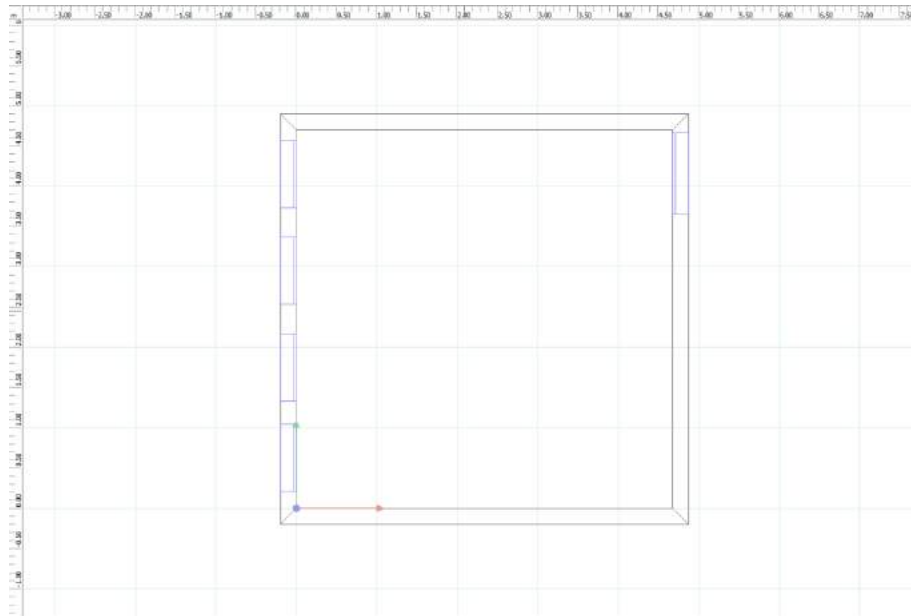


Figura 4.1 – Ventana de diseño en DIALux

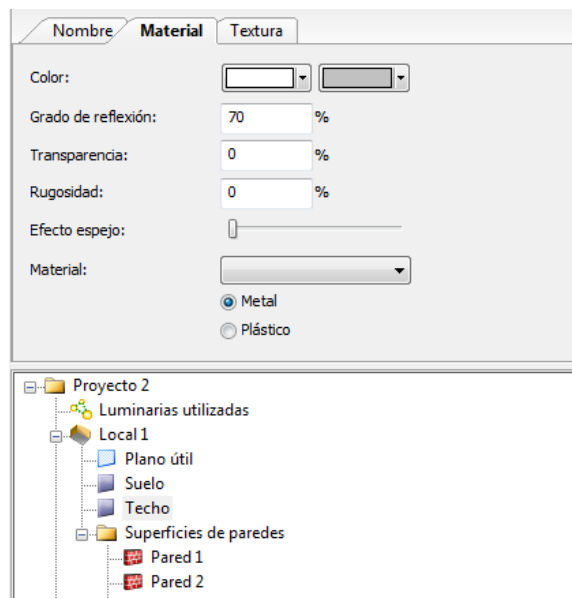


Figura 4.2 – Panel de ajuste de propiedades del techo en DIALux

A continuación introducimos los objetos que se encuentran en el local, pudiendo utilizar una biblioteca de objetos de DIALux o bien importándolos mediante archivos de objetos 3D (DWG, DXF, etc.). Una vez introducido el objeto en el local podemos configurar las propiedades de sus superficies, así como si queremos usarlo como objeto decorativo. Esto quiere decir que aparecerá

en el renderizado, pero no tendrá efecto en los cálculos. Esta opción es útil si usamos objetos con muchas superficies.

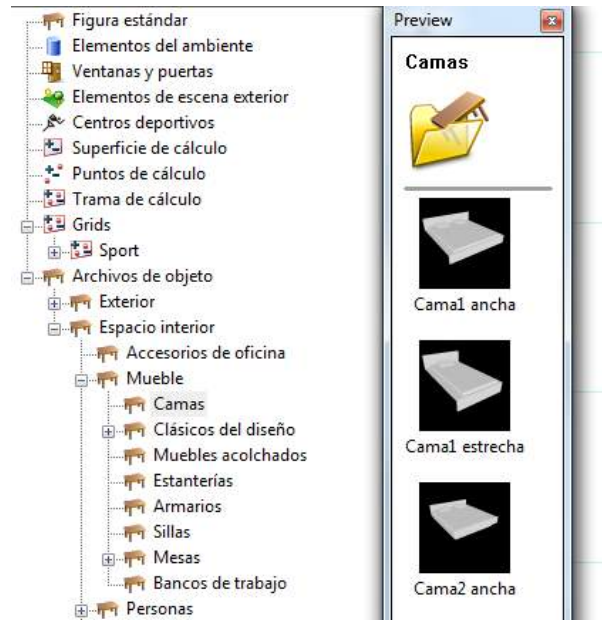


Figura 4.3 – Biblioteca de objetos de DIALux

Una vez definido el local y los objetos de su interior hay que insertar las luminarias. DIALux dispone de una biblioteca de luminarias, aunque también es posible importar los datos de otras luminarias mediante archivos IES y LDT.

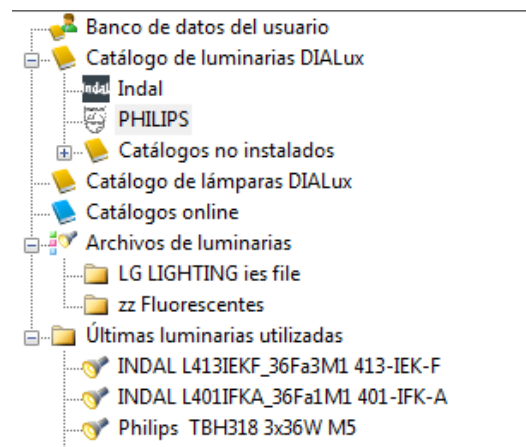


Figura 4.4 – Biblioteca de luminarias

Con la escena del local ya finalizada podemos proceder al cálculo. Tras el cual podremos acceder a los diferentes *outputs* que necesitemos y comprobar si cumple los requerimientos.

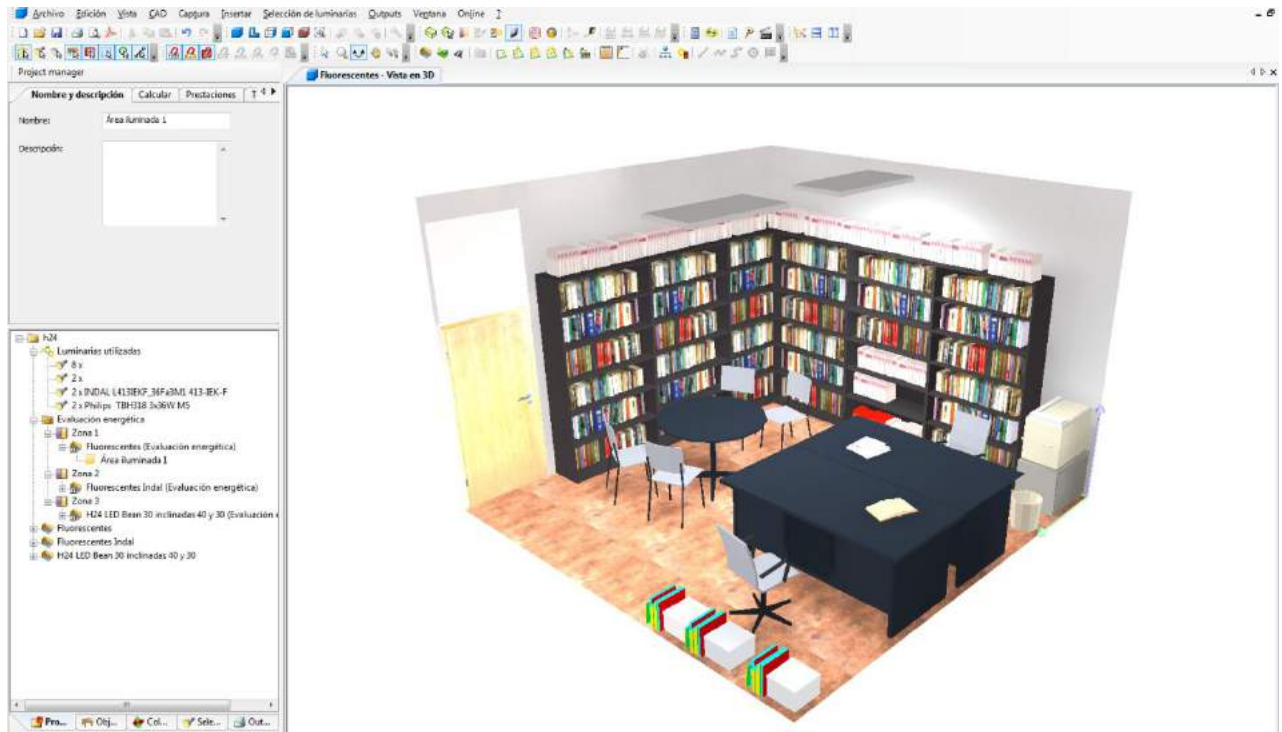


Figura 4.5 – Ejemplo de local en DIALux

El siguiente paso es comprobar el consumo que tendrá en operación, para ello hay que insertar un estudio de evaluación energética. En él habrá que configurar los parámetros de:

- **Prestaciones:** potencia conectada, potencia en estado desconectado, consumo de alumbrado de emergencia.
- **Tiempos:** horas de trabajo de día, horas de trabajo de noche, horas para la carga de luminarias de emergencia.
- **Regulación:** habrá que regular si la intensidad lumínica de la fuente es regulable o constante.
- **Presencia:** factor de ausencia y factor de eficiencia del control de presencia
- **Luz diurna:** Factor de aporte de luz diurna, factor para el control de luz artificial en función de la luz diurna.
- **Fachadas:** Clasificación del aporte de luz diurna para fachadas, valor de iluminación mantenido.

Tras configurarlo tan sólo hay que lanzar el cálculo y obtendremos un *output* como el de la Figura 4.6.

Resultados

Energía total Iluminación: 3843.70 kWh/a
 LENI: 28.12 kWh/(a · m²)

Energía total Tarea visual: 3843.70 kWh/a
 Energía total Parasitario (Total): 0.00 kWh/a
 Energía total Parasitario (Standby): 0.00 kWh/a
 Energía total Parasitario (Carga del alumbrado de emergencia): 0.00 kWh/a
 Superficie total: 136.71 m²

Resultados mensuales

Mes	Iluminación		Tarea visual		Parasitario	
	[kWh]	[kWh/m²]	[kWh]	[kWh/m²]	[kWh]	[kWh/m²]
Ene	346.32	2.53	346.32	2.53	0.00	0.00
Feb	333.73	2.44	333.73	2.44	0.00	0.00
Mar	319.46	2.34	319.46	2.34	0.00	0.00
Abr	305.21	2.23	305.21	2.23	0.00	0.00
May	296.82	2.17	296.82	2.17	0.00	0.00
Jun	294.32	2.15	294.32	2.15	0.00	0.00
Jul	298.07	2.18	298.07	2.18	0.00	0.00
Ago	303.96	2.22	303.96	2.22	0.00	0.00
Sep	314.87	2.30	314.87	2.30	0.00	0.00
Oct	329.95	2.41	329.95	2.41	0.00	0.00
Nov	350.50	2.56	350.50	2.56	0.00	0.00
Dic	350.50	2.56	350.50	2.56	0.00	0.00

Figura 4.6 – Ejemplo de resultado de evaluación energética

Mediante un *plugin* podemos exportar el proyecto al programa PovRay con el que haremos el renderizado. En él, tan sólo tendremos que elegir la calidad de imagen mediante una serie de parámetros para obtener una imagen foto realista.

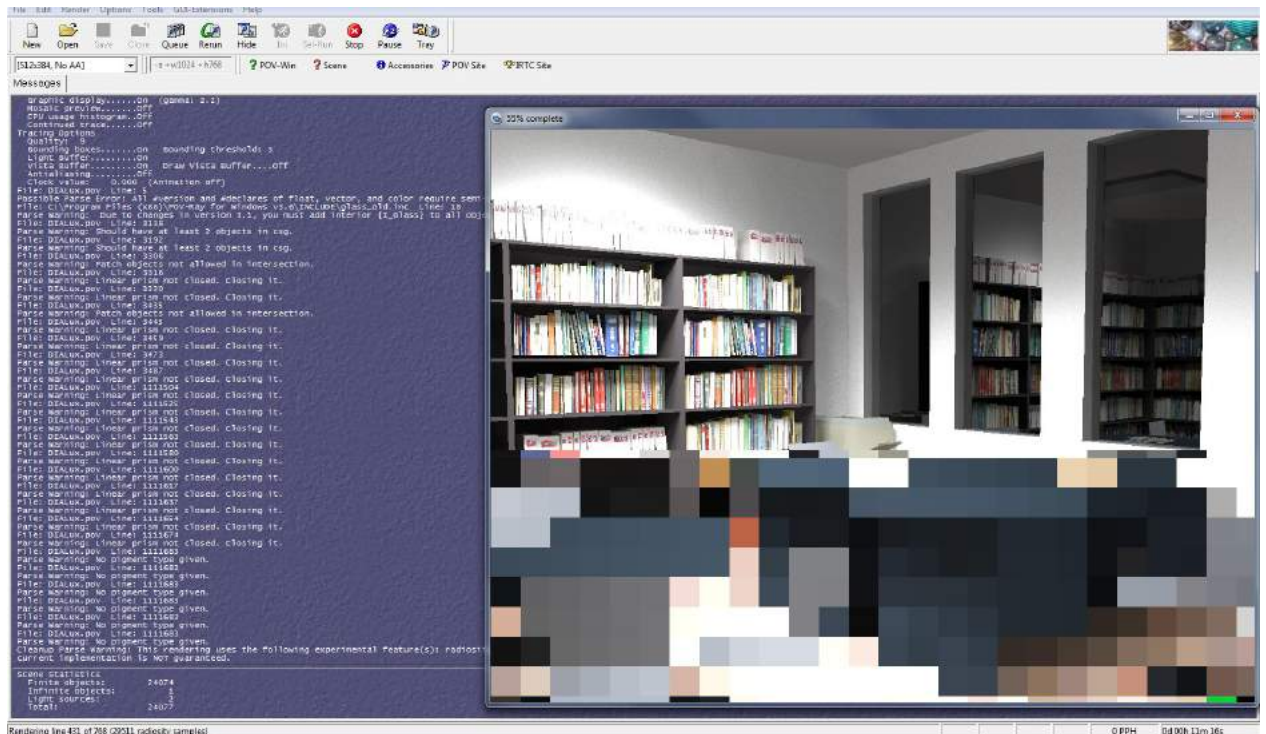


Figura 4.7 – PovRay renderizando una escena



5. Resultados

5.1 Análisis

A continuación vamos realizar un ejemplo aplicando el método de análisis genérico que hemos visto en el punto anterior a una instalación. En este caso se han elegido algunos locales representativos del edificio Betancourt. Por tanto nos deberemos fijar en la parte de la norma UNE 12464-1 aplicable a los centros educativos.

Niveles necesarios en centros educativos:

Vamos a referirnos a la parte de la norma que se atañe a iluminación en los centros educativos. En la normativa se reflejan también los valores para otras instalaciones como: oficinas, hospitales, hoteles, restaurantes, factorías, etc.

Las instalaciones de iluminación de las distintas dependencias que componen un centro educativo, deben estar dotadas de sistemas que proporcionen un entorno visual confortable y suficiente, según las muy variadas tareas y actividades que se desarrollan durante todo el periodo de enseñanza. Aplicando criterios de calidad adecuados al diseño, instalación y mantenimiento de todos aquellos elementos que intervienen en la obtención de una buena iluminación, obtendremos los resultados de confort visual requeridos, todo esto garantizando la máxima eficiencia energética y por tanto, los mínimos costes de explotación.

Actividad visual y espacios:

En los centros docentes podemos distinguir los siguientes grupos de actividades según el nivel de percepción que se precisa para la realización de la tarea:

1. Espacios con actividad visual elevada:

Aulas de enseñanza práctica: dibujo, pintura, escultura, trabajos manuales, informática. La uniformidad del nivel de iluminación debe predominar, aunque también hay que prestar atención a la apariencia del color. Puede utilizarse iluminación suplementaria, con fuentes de luz direccionales para tareas de exposición y modelado. Es recomendable la utilización de sistemas de regulación de la luz emitida por las luminarias. Hay que tener especial cuidado en las aulas informáticas a la hora de tratar los brillos y reflejos producidos sobre las pantallas por las fuentes de luz artificial y ventanales.



Laboratorios: Es aconsejable la luz artificial, fundamentalmente por seguridad (p.e. la llama de un mechero bunsen puede ser invisible a la luz del día), destinando el área de las ventanas para demostraciones y colocación de estanterías y armarios. Se debe considerar la posibilidad de zonas oscuras, para la realización de experimentos ópticos y proyección de diapositivas o similares.

Bibliotecas: Algunas bibliotecas incluyen un área de lectura donde se requiere un nivel de iluminación uniforme, adecuado para la lectura de letra impresa, junto con áreas de estanterías para almacenamiento de libros, las cuales requieren una iluminación especial. Si existen ventanas, las estanterías deben formar un ángulo recto con las mismas. Si el alumbrado de las estanterías es artificial, este deberá proporcionar una adecuada iluminación vertical sobre aquellas.

2. Espacios con actividad visual normal:

Aulas: la iluminación de las aulas depende de la tarea que se realiza en ellas, y comprende desde la toma de apuntes, hasta la utilización de calculadoras. La tarea de mayor dificultad consiste en la lectura de un texto escrito con lápiz. Primero nos fijaremos en la iluminancia, para después fijarnos en otros factores, como el deslumbramiento, sombras y colores. Pueden usarse luminarias suspendidas, que con una buena iluminación indirecta proporcione una iluminación libre de sombras. La iluminación de la pizarra o tablero debe no producir reflejos sobre su superficie; y debe tener una adecuada iluminación en la parte más baja del mismo, asegurando que la relación de iluminancias no sea superior a 1/3.

Cocinas: Si la luz natural no es suficiente, las cocinas deben dotarse de un alumbrado artificial dotado de un elevado grado de estanqueidad, con protectores plásticos que impidan la caída de cristales por la rotura de alguna lámpara.

Gimnasios: Suelen ser las salas más amplias pudiéndose celebrar a parte de actividades físicas, reuniones, actividades extraescolares, etc. El alumbrado debe diseñarse de acuerdo a estas actividades y ser fácilmente adaptable.

Piscinas: Debe intentar aprovecharse la mayor cantidad de luz natural mediante grandes superficies acristaladas, teniendo especial cuidado con brillos y reflexiones producidas sobre el agua, que puedan dificultar la vigilancia de los monitores sobre las personas que se encuentran en el interior de la misma. Las luminarias deben disponerse fuera de la vertical del vaso de la piscina para facilitar el mantenimiento. Las luminarias deben poseer un alto grado de estanqueidad, y una gran seguridad frente a la rotura de vidrios y lámparas.

3. Espacios con actividad visual baja:

Vestíbulos, pasillos y escaleras: no deben iluminarse como meros lugares de acceso, ya que pueden considerarse como espacios de ampliación de las aulas. El alumbrado de escaleras debe



evitar que los peldaños produzcan sombra en el inmediato inferior, por lo que la iluminación deberá realizarse en los descansillos superior e inferior.

Duchas y aseos: El alumbrado debe ser individual por cada cubículo o bien compartido con luminarias colocadas de forma que puedan iluminar a varios de ellos sin producir sobras acusadas. Son recomendables luminarias estancas y la utilización de interruptores temporizados o detectores de presencia.

En el alumbrado de un local destinado a un centro educativo los problemas de iluminación más habituales son:

- Luminarias que producen deslumbramientos directos o indirectos
- Lámparas de temperatura de color y potencia inadecuada a la instalación, tanto por defecto como por exceso. El color de la luz emitida también tiene gran importancia, ya que los colores cálidos proporcionan ambientes más sociales y relajados, mientras que las luces más frías ayudan a la concentración.

Por otro lado, es muy importante la utilización de iluminación eficiente, mediante luminarias de alto rendimiento, que incorporen equipos de bajo consumo y lámparas de alta eficacia luminosa (lm/W), unidas al uso de sistemas de regulación y control adecuados a las necesidades del local a iluminar, lo que permitirá tener unos buenos niveles de confort sin sacrificar la eficiencia energética.

Para llevar a cabo una buena iluminación debemos tener en cuenta:

Iluminancia mantenida (Em): es determinante ya que se trata de un espacio de trabajo con exigencias visuales importantes. El nivel de iluminación necesario para cada tarea se ha determinado en función de la agudeza visual requerida para realizarla. También hay que tener en cuenta que esta iluminancia sea uniforme, ya que influye directamente en el confort y la fatiga. Los niveles de iluminación verticales hacen referencia a superficies como pizarras, mientras que los horizontales a superficies como mesas. También pueden presentarse zonas donde haya que disponer de un alumbrado localizado. Siendo la iluminación periférica no muy inferior para evitar problemas de adaptación visual.

En la fase de diseño de un sistema de iluminación es recomendable establecer un nivel de iluminación inicial superior al Em recomendado, ya que con el tiempo el nivel de iluminación va decayendo debido a la pérdida de flujo de la propia fuente de luz, así como la suciedad acumulada en luminarias, techos y suelos.

Índice de deslumbramientos unificado (UGR): es una sensación de molestia que se produce cuando la luminancia de un objeto es mucho mayor que la de su entorno. Se da el valor máximo que puede alcanzar por lo que el valor del UGR de las distintas áreas de una instalación de iluminación no debe superar estos valores.



Este índice es una manera de determinar el tipo de luminaria que debe usarse en cada una de las aplicaciones teniendo en cuenta el posible deslumbramiento que puede provocar debido a la óptica y posición de las lámparas.

El deslumbramiento tiene especial importancia en aquellos lugares donde la estancia es prolongada o donde la tarea es de mayor precisión.

Índice de reproducción cromática: como ya se ha comentado, cuantifica la capacidad de representación de los colores con dicha iluminación.

Los valores indicados en la normativa se presentan en la siguiente gráfica:

	Em (lux)	UGR _L	R _a	Observaciones
Aulas	300	19	80	Debería ser controlable
Pizarra	500	19	80	Evitar reflexiones especulares
Aulas de dibujo técnico	750	16	80	
Laboratorios	500	19	80	
Aulas informatica	300	19	80	
Laboratorios de lenguas	300	19	80	
Cuartos de baño	200	25	80	
Pasillos	100	28	40	
Escaleras	150	25	40	
Salas de profesores	300	19	80	

Figura 4.3 – Valores reflejados en la normativa para los diversos espacios

- También debe tenerse en cuenta la uniformidad del área de trabajo, en aquellas actividades en que estas estén definidas. La uniformidad en estos casos debe ser mayor a 0,7 y en sus áreas circundantes debe ser mayor a 0,5.
- El valor de eficiencia energética de la instalación debe ser menor que:
 - a) Aulas y salas de profesores: VEEI límite 4.
 - b) Pasillos, baños, etc.: VEEI límite 4,5.
 - c) Aula de grados: VEEI límite 10.

Se han seleccionado dos clases de despachos, tres clases de aulas diferenciadas en disposición y dimensiones, dos clases de pasillos, un cuarto de baño y el aula de grados. Se van a utilizar estos locales como ejemplo, porque pueden encontrarse locales semejantes y con requerimientos parecidos en muchos otros ámbitos.

Ahora vamos a describir los locales y se especificarán los valores que deben tenerse en cuenta por normativa:



Despachos

Valores de diseño

La normativa indica que deben contar con una iluminancia media inicial sobre el plano de trabajo de 300 lux, con un UGR máximo de 19 y un Ra mínimo de 80. La superficie de trabajo se encuentra a 0,9 m de altura del suelo, y sobre las mesas. Se va a trabajar con dos modelos de despachos:

Descripción despacho de 22 m² (p.e. H24): Dispone de 2 luminarias para iluminación general de montaje empotrado, de 1200x600 mm; y difusor de celosía con 3 lámparas fluorescentes de 36W con un flujo teórico inicial de 3350 lm.

Descripción despacho de 11 m² (p.e. H23): Dispone de una luminaria para iluminación general de montaje empotrado, de 1200x600 mm; y difusor de celosía con 3 lámparas fluorescentes de 36W con un flujo teórico inicial de 3350 lm.

Aulas

Valores de diseño

Deben contar con una iluminancia media inicial sobre el plano de trabajo de 300 lux, con un UGR máximo de 19 y un Ra mínimo de 80. La superficie del área de trabajo se encuentra a 0,9 m de altura del suelo, y sobre las mesas de los estudiantes. Se va a trabajar con tres modelos de aulas:

Descripción de aula de 73m² (p.e. F01): Dispone de 2 filas de 4 luminarias para iluminación general de montaje empotrado, de 1200x600 mm; y difusor de celosía con 3 lámparas fluorescentes de 36W con un flujo teórico inicial de 3350 lm. Dispone a su vez de 4 luminarias para la iluminación de la pizarra, de montaje adosado y distribución asimétrica, de 1 lámpara fluorescente de 58W y 5200 lm.

Descripción de aula de 148m² (p.e. F03): Dispone de 4 filas de 4 luminarias para iluminación general de montaje empotrado, de 1200x600 mm; y difusor de celosía con 3 lámparas fluorescentes de 36W con un flujo teórico inicial de 3350 lm. Dispone a su vez de 4 luminarias para la iluminación de la pizarra, de montaje adosado y distribución asimétrica, de 1 lámpara fluorescente de 58W y 5200 lm.

Descripción del aula de 102 m² (p.e. G02): Dispone de 3 filas de 4 luminarias para iluminación general de montaje empotrado, de 1200x600 mm; y difusor de celosía con 3 lámparas fluorescentes de 36W con un flujo teórico inicial de 3350 lm.



Pasillos

Valores de diseño

Deben contar con una iluminancia media inicial sobre el suelo de 100 lux, con un UGR máximo de 25 y un Ra mínimo de 80. Se va a trabajar con dos modelos de pasillos:

Descripción del pasillo interior sin ventanas: Dispone de una fila de luminarias de iluminación general de montaje empotrado, de 1200x400 mm; y difusor de celosía con 2 lámparas fluorescentes de 36W con un flujo teórico inicial de 3350 lm. Se distribuyen cada 2 módulos de falso techo de 1200 mm de longitud, por lo que de centro a centro de luminaria hay 3,6 m.

Descripción del pasillo con ventanas: Dispone de una fila de luminarias de iluminación general de montaje empotrado, de 1200x400 mm; y difusor de celosía con 2 lámparas fluorescentes de 36W con un flujo teórico inicial de 3350 lm. Se distribuyen cada 3 módulos de falso techo de 1200 mm de longitud, por lo que de centro a centro de luminaria hay 4,8 m.

Cuarto de baño

Valores de diseño

Deben contar con una iluminancia media inicial sobre el plano útil de 200 lux con un máximo UGR de 25 y un Ra mínimo de 80.

Descripción cuarto de baño: Cuenta con 8 downlights de 40W situados en el techo y un fluorescente de 36W situado en la pared para mejorar la iluminación frente al espejo.

Salón de grados

Valores de diseño

Deben contar con una iluminancia media inicial sobre el plano de trabajo de 300 lux, con un UGR máximo de 22 y un Ra mínimo de 80.

Descripción salón de grados: Cuenta con 4 luminarias 3x36W y 2 de 2x36W empotrados en el techo, con unas medidas de 1200x600 mm.

5.2 Simulación por ordenador de las condiciones establecidas

Despacho H24

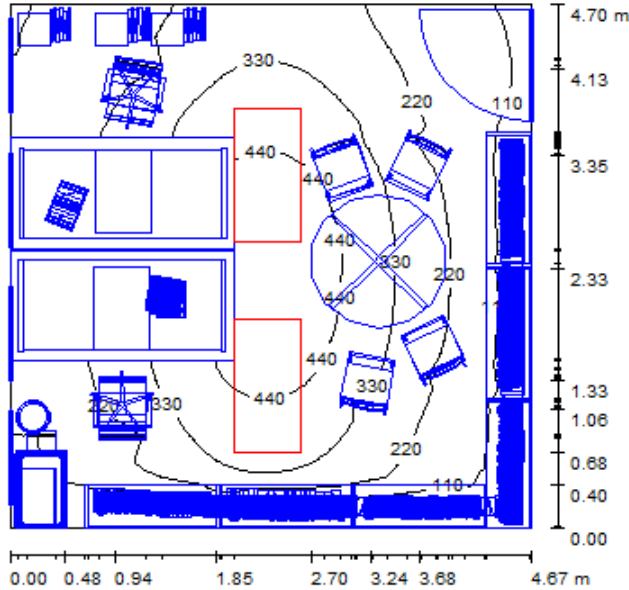


Figura 5.2.1 – Renderizado del despacho H24

Se va a sustituir cada luminaria Philips TBH318 3x36W por un conjunto de luminarias LG LED Flat Light de 53W con cuatro MR16 Beam 36 de 4W.

Iluminación Fluorescentes

Fluorescentes / Resumen



Altura del local: 3.250 m, Altura de montaje: 3.250 m, Factor mantenimiento: 0.80

Valores en Lux, Escala 1:61

Superficie	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Workplane	/	251	6.26	521	0.025
Floor	40	103	1.70	317	0.016
Ceiling	70	25	16	36	0.615
Paredes (4)	70	39	0.96	216	/

Workplane:

Altura: 0.850 m
 Trama: 128 x 128 Puntos
 Zona marginal: 0.000 m

Proporción de intensidad lumínica (según LG7): Paredes / Plano útil: 0.151, Techo / Plano útil: 0.102.

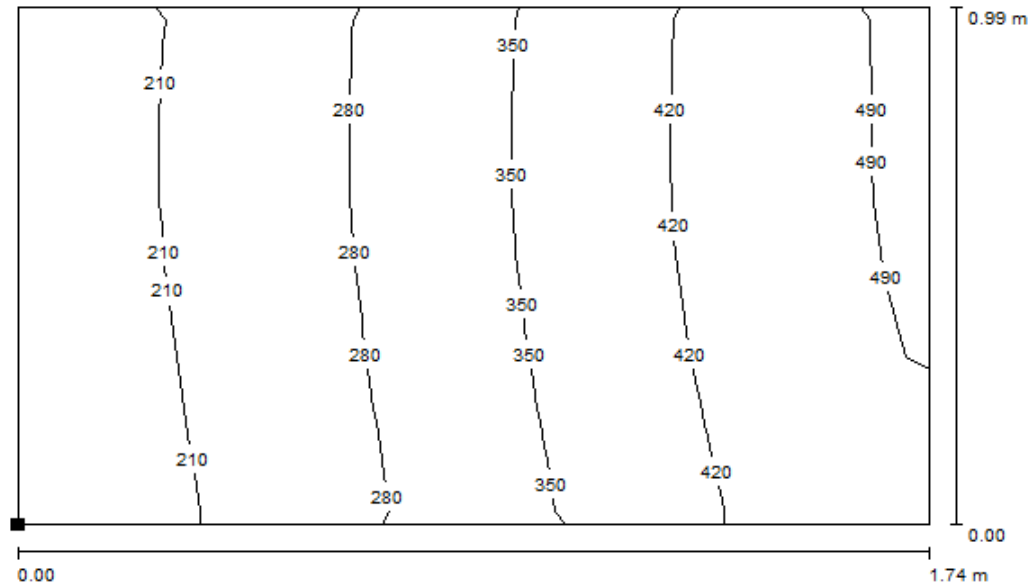
Lista de piezas - Luminarias

Nº	Pieza	Designación (Factor de corrección)	Φ [lm]	P [W]
1	2	Philips TBH318 3x36W M5 (Tipo 1)* (1.000)	10050	108.0

*Especificaciones técnicas modificadas Total: 20100 216.0

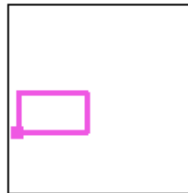
Valor de eficiencia energética: 9.84 W/m² = 3.93 W/m²/100 lx (Base: 21.95 m²)

Fluorescentes / Superficie trabajo / Mesa / Isolíneas (E)



Valores en Lux, Escala 1 : 13

Situación de la superficie en el local:
 Punto marcado: (0.250 m, 1.513 m, 0.900 m)

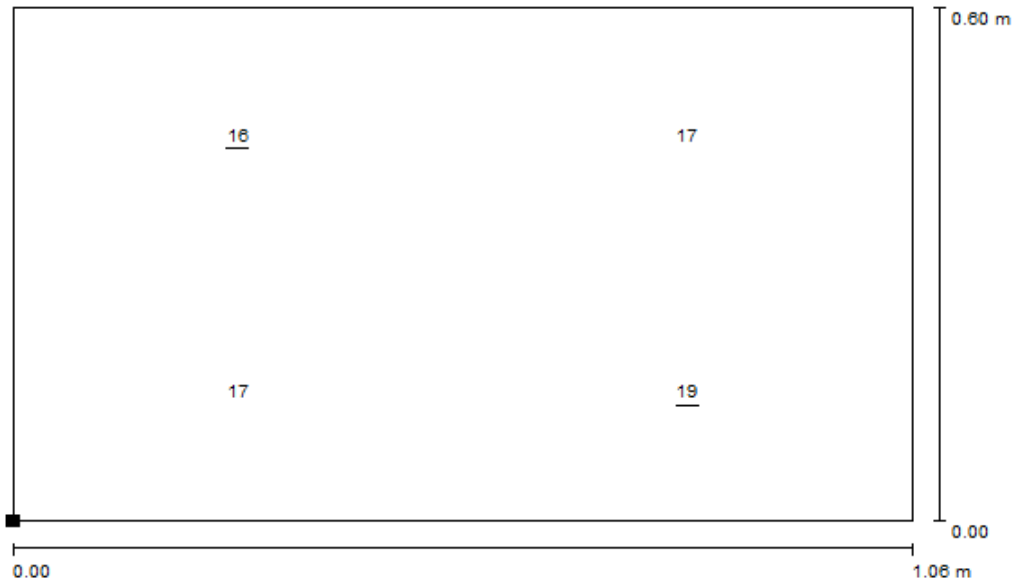


Trama: 8 x 8 Puntos

	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
Mesa	331	166	501	0.504	0.332
Área de circundante	329	128	536	0.388	0.238

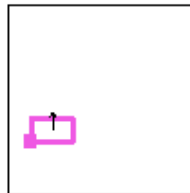


Fluorescentes / Mesa / Gráfico de valores (UGR)



Escala 1 : 8

Situación de la superficie en el local:
Punto marcado: (0.571 m, 1.298 m, 1.200 m)



Trama: 2 x 2 Puntos

Min
16

Max
19



Fluorescentes / Resultados luminotécnicos

Flujo luminoso total: 20100 lm
 Potencia total: 216.0 W
 Factor mantenimiento: 0.80
 Zona marginal: 0.000 m

Superficie	Intensidades lumínicas medias [lx]			Grado de reflexión [%]	Densidad lumínica media [cd/m²]
	directo	indirecto	total		
Workplane	229	22	251	/	/
Floor	89	14	103	40	13
Ceiling	0.00	25	25	70	5.64
Wall 1	4.84	6.79	12	70	2.59
Wall 2	2.80	9.54	12	70	2.75
Wall 3	64	23	87	70	19
Wall 4	29	17	45	70	10

Simetrías en el plano útil

E_{min} / E_m : 0.025 (1:40)

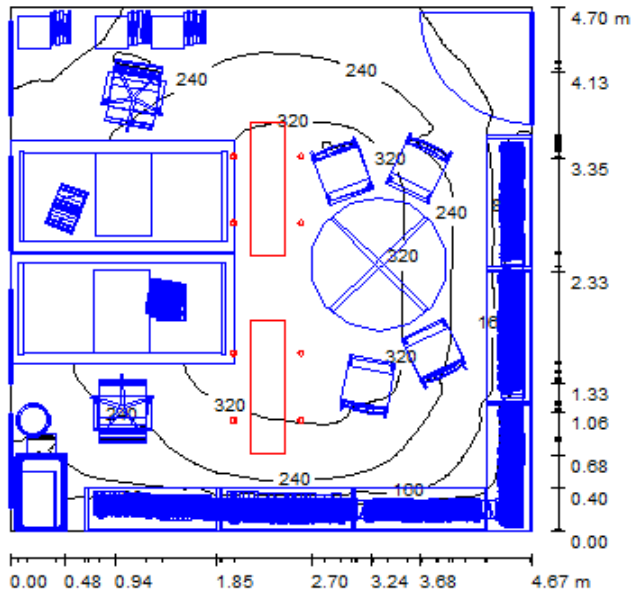
E_{min} / E_{max} : 0.012 (1:83)

Proporción de intensidad lumínica (según LG7): Paredes / Plano útil: 0.151, Techo / Plano útil: 0.102.

Valor de eficiencia energética: $9.84 \text{ W/m}^2 = 3.93 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Base: 21.95 m^2)

Iluminación LED

LED Beam 36 incl.40&30 / Resumen



Altura del local: 3.250 m, Altura de montaje: 3.250 m, Factor mantenimiento: 0.80

Valores en Lux, Escala 1:61

Superficie	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Workplane	/	230	8.88	402	0.039
Floor	40	90	1.82	253	0.020
Ceiling	70	35	22	743	0.631
Paredes (4)	70	60	0.72	287	/

Workplane:

Altura: 0.850 m
 Trama: 128 x 128 Puntos
 Zona marginal: 0.000 m

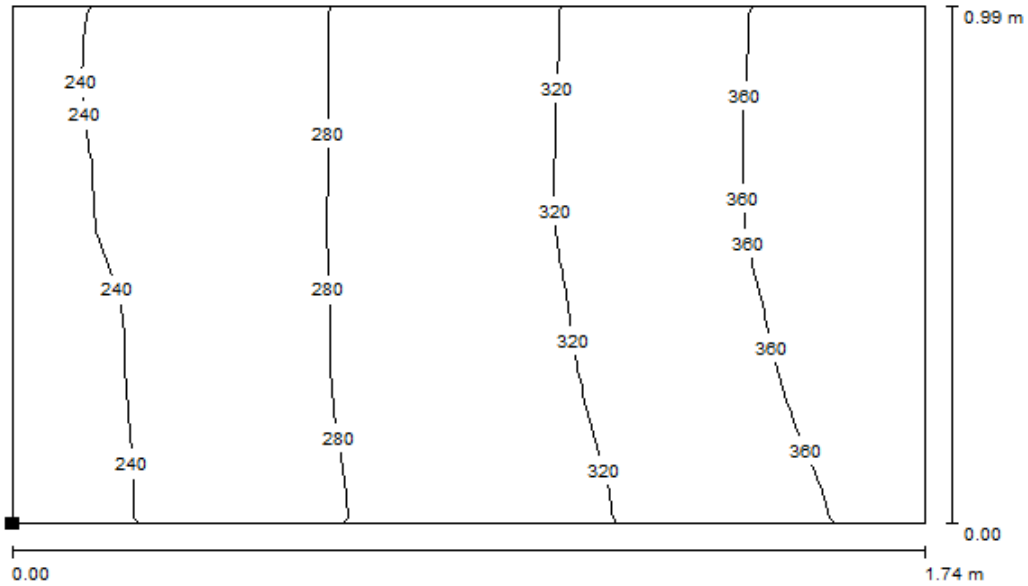
Proporción de intensidad lumínica (según LG7): Paredes / Plano útil: 0.273, Techo / Plano útil: 0.154.

Lista de piezas - Luminarias

Nº	Pieza	Designación (Factor de corrección)	Φ [lm]	P [W]
1	2	(1.000)	4457	54.8
2	8	(1.000)	251	4.1
			Total:	10923 142.5

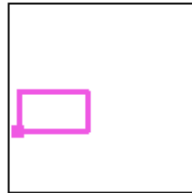
Valor de eficiencia energética: $6.49 \text{ W/m}^2 = 2.82 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Base: 21.95 m^2)

LED Beam 36 incl.40&30 / Superficie trabajo / Mesa / Isolíneas (E)



Valores en Lux, Escala 1 : 13

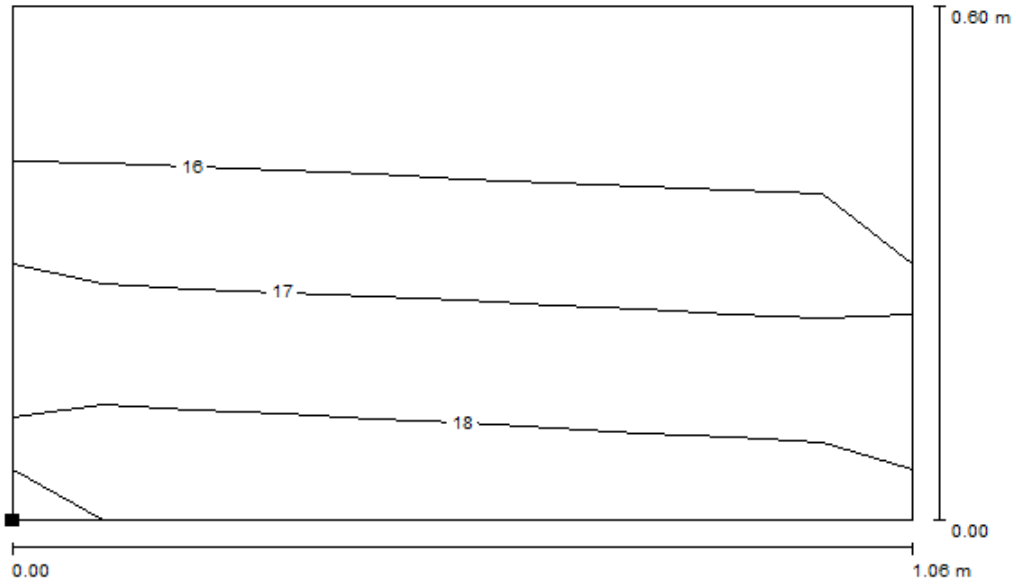
Situación de la superficie en el local:
 Punto marcado: (0.250 m, 1.513 m, 0.900 m)



Trama: 16 x 16 Puntos

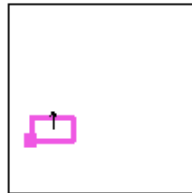
	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
Mesa	305	225	386	0.738	0.582
Área de circundante	301	153	413	0.507	0.370

LED Beam 36 incl.40&30 / Mesa / Isolíneas (UGR)



Escala 1 : 8

Situación de la superficie en el local:
Punto marcado: (0.571 m, 1.298 m, 1.200 m)



Trama: 2 x 2 Puntos

Min
16

Max
18



LED Beam 36 incl.40&30 / Resultados luminotécnicos

Flujo luminoso total: 10923 lm
 Potencia total: 142.5 W
 Factor mantenimiento: 0.80
 Zona marginal: 0.000 m

Superficie	Intensidades lumínicas medias [lx]			Grado de reflexión [%]	Densidad lumínica media [cd/m ²]
	directo	indirecto	total		
Workplane	201	29	230	/	/
Floor	74	16	90	40	11
Ceiling	0.72	34	35	70	7.83
Wall 1	18	9.42	27	70	6.09
Wall 2	9.79	11	21	70	4.69
Wall 3	77	29	106	70	24
Wall 4	64	21	85	70	19

Simetrías en el plano útil
 E_{min} / E_m : 0.039 (1:26)
 E_{min} / E_{max} : 0.022 (1:45)

Proporción de intensidad lumínica (según LG7): Paredes / Plano útil: 0.273, Techo / Plano útil: 0.154.

Valor de eficiencia energética: 6.49 W/m² = 2.82 W/m²/100 lx (Base: 21.95 m²)

Despacho H23

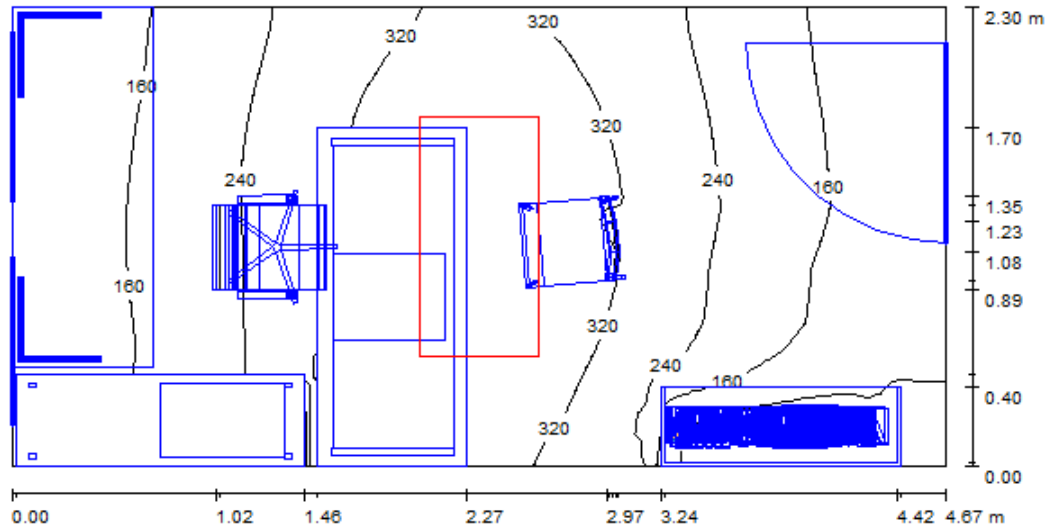


Figura 5.2.2 – Renderizado del despacho H23

Se va a sustituir la luminaria Philips TBH318 3x36W por un conjunto de luminarias LG LED Flat Light de 53W con 4 MR16 Beam 36 de 4W.

Iluminación Fluorescentes

Fluorescentes / Resumen



Altura del local: 3.250 m, Altura de montaje: 3.250 m, Factor mantenimiento: 0.80

Valores en Lux, Escala 1:34

Superficie	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Plano útil	/	219	17	387	0.080
Suelo	40	105	8.95	222	0.085
Techo	70	57	32	80	0.570
Paredes (4)	70	91	1.61	405	/

Plano útil:

Altura: 0.850 m
 Trama: 128 x 128 Puntos
 Zona marginal: 0.000 m

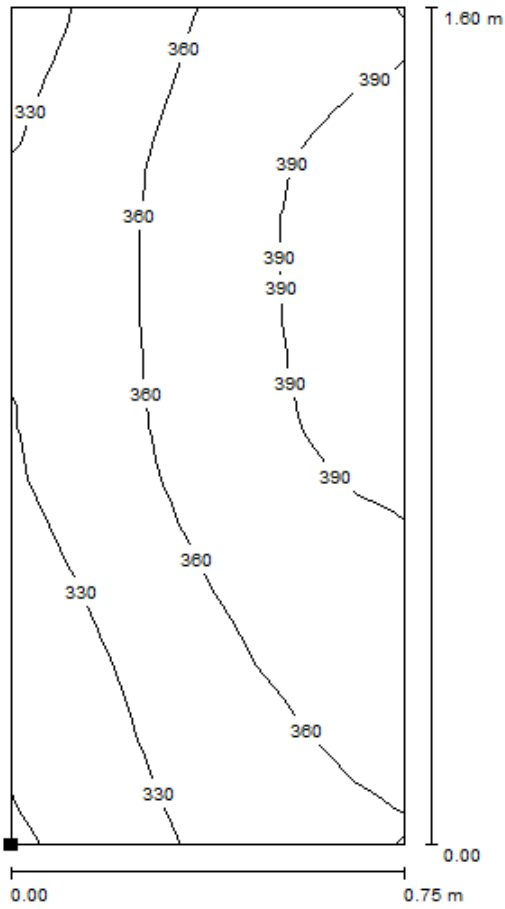
Proporción de intensidad lumínica (según LG7): Paredes / Plano útil: 0.505, Techo / Plano útil: 0.260.

Lista de piezas - Luminarias

Nº	Pieza	Designación (Factor de corrección)	Φ [lm]	P [W]
1	1	Philips TBH318 3x36W M5 (Tipo 1)* (1.000)	10050	108.0
*Especificaciones técnicas modificadas			Total:	10050 108.0

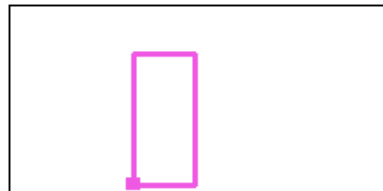
Valor de eficiencia energética: 10.05 W/m² = 4.59 W/m²/100 lx (Base: 10.74 m²)

Fluorescentes / superficie de trabajo / Área de tarea / Isolíneas (E)



Valores en Lux, Escala 1 : 13

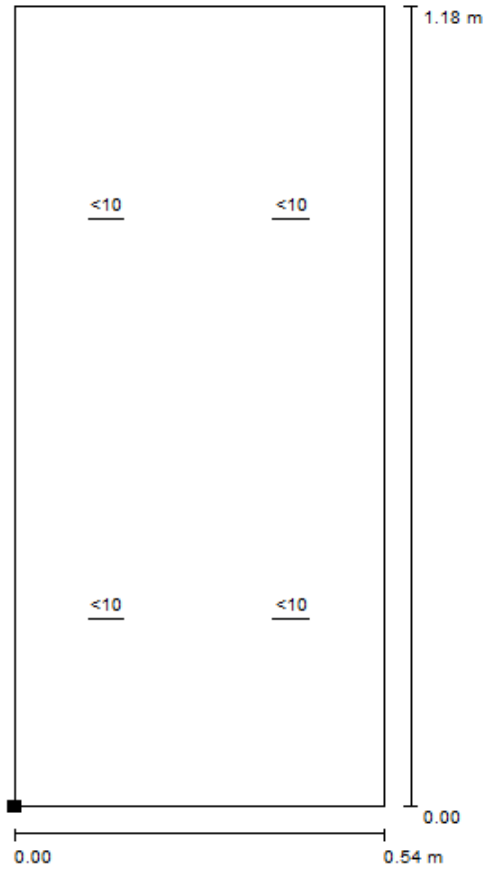
Situación de la superficie en el local:
 Punto marcado: (1.525 m, 0.100 m, 0.900 m)



Trama: 8 x 16 Puntos

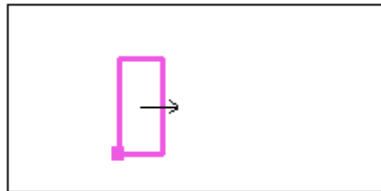
	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
Área de tarea	360	298	400	0.827	0.746
Área de circundante	300	176	404	0.586	0.435

Fluorescentes / Superficie de cálculo UGR / Gráfico de valores (UGR)



Escala 1 : 10

Situación de la superficie en el local:
Punto marcado: (1.358 m, 0.460 m, 1.200 m)



Trama: 2 x 2 Puntos

Min
/

Max
/



Fluorescentes / Resultados luminotécnicos

Flujo luminoso total: 10050 lm
 Potencia total: 108.0 W
 Factor mantenimiento: 0.80
 Zona marginal: 0.000 m

Superficie	Intensidades lumínicas medias [lx]			Grado de reflexión [%]	Densidad lumínica media [cd/m ²]
	directo	indirecto	total		
Plano útil	159	60	219	/	/
Suelo	71	34	105	40	13
Techo	0.00	57	57	70	13
Pared 1	54	41	95	70	21
Pared 2	22	37	59	70	13
Pared 3	70	51	121	70	27
Pared 4	15	39	54	70	12

Simetrías en el plano útil

E_{\min} / E_m : 0.080 (1:13)

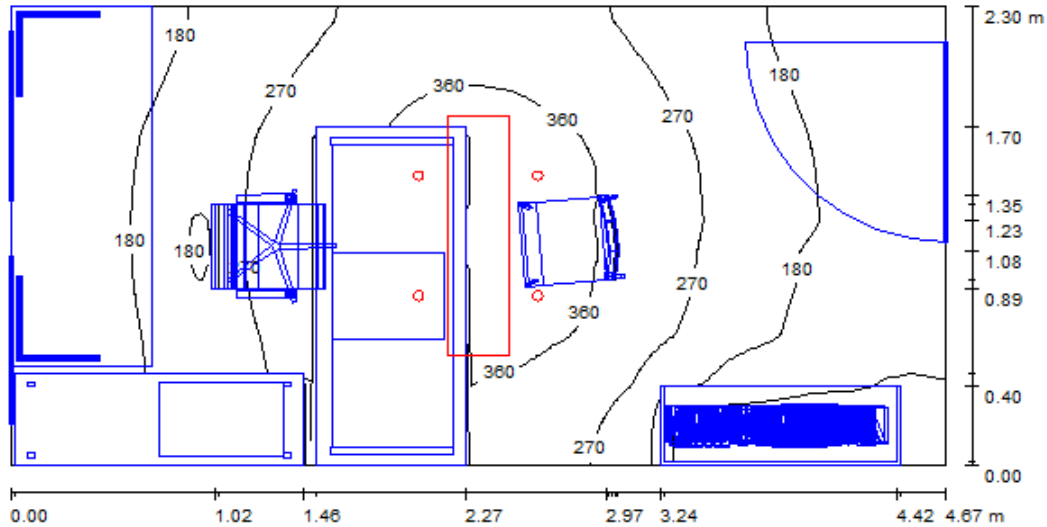
E_{\min} / E_{\max} : 0.045 (1:22)

Proporción de intensidad lumínica (según LG7): Paredes / Plano útil: 0.505, Techo / Plano útil: 0.260.

Valor de eficiencia energética: 10.05 W/m² = 4.59 W/m²/100 lx (Base: 10.74 m²)

Iluminación LED

LED Flat+MR16 Beam 60 / Resumen



Altura del local: 3.250 m, Altura de montaje: 3.250 m, Factor mantenimiento: 0.80

Valores en Lux, Escala 1:34

Superficie	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Plano útil	/	227	17	423	0.074
Suelo	40	110	8.61	243	0.078
Techo	70	77	43	122	0.559
Paredes (4)	70	109	0.65	440	/

Plano útil:

Altura: 0.850 m
 Trama: 128 x 128 Puntos
 Zona marginal: 0.000 m

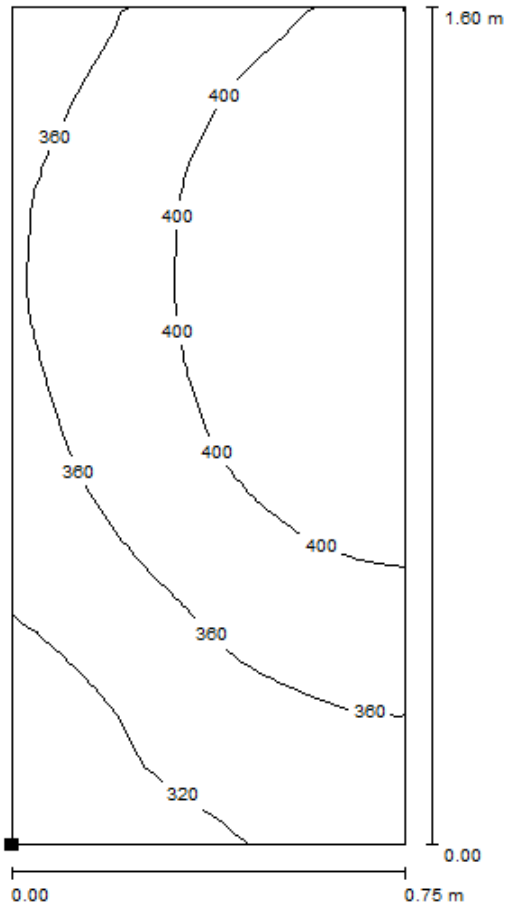
Proporción de intensidad lumínica (según LG7): Paredes / Plano útil: 0.597, Techo / Plano útil: 0.338.

Lista de piezas - Luminarias

Nº	Pieza	Designación (Factor de corrección)	Φ [lm]	P [W]
1	1	(1.000)	4457	54.8
2	4	(1.000)	255	4.2
			Total: 5475	71.4

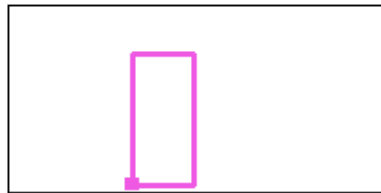
Valor de eficiencia energética: 6.64 W/m² = 2.92 W/m²/100 lx (Base: 10.74 m²)

LED Flat+MR16 Beam 60 / superficie de trabajo / Área de tarea / Isolíneas (E)



Valores en Lux, Escala 1 : 13

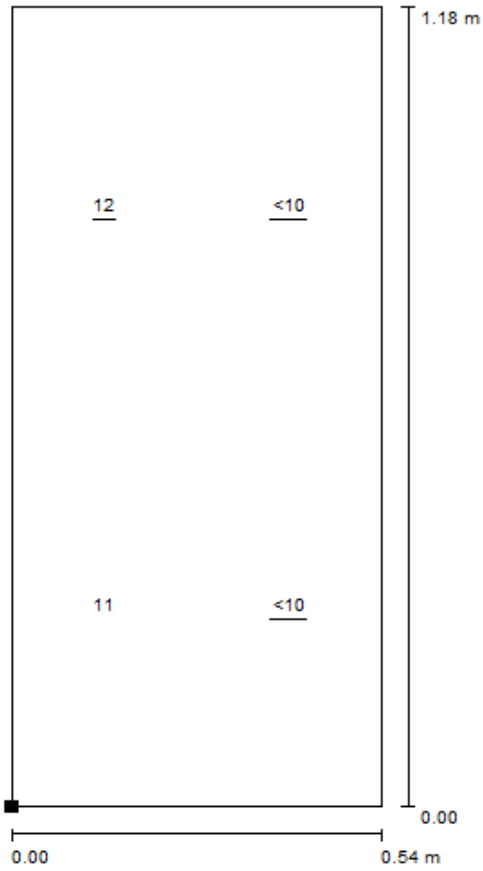
Situación de la superficie en el local:
 Punto marcado: (1.525 m, 0.100 m,
 0.900 m)



Trama: 16 x 32 Puntos

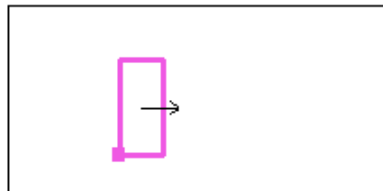
	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
Área de tarea	377	283	438	0.752	0.646
Área de circundante	310	176	439	0.568	0.401

LED Flat+MR16 Beam 60 / Superficie de cálculo UGR / Gráfico de valores (UGR)



Escala 1 : 10

Situación de la superficie en el local:
Punto marcado: (1.358 m, 0.460 m,
1.200 m)



Trama: 2 x 2 Puntos

Min
/

Max
12



LED Flat+MR16 Beam 60 / Resultados luminotécnicos

Flujo luminoso total: 5475 lm
 Potencia total: 71.4 W
 Factor mantenimiento: 0.80
 Zona marginal: 0.000 m

Superficie	Intensidades lumínicas medias [lx]			Grado de reflexión [%]	Densidad lumínica media [cd/m ²]
	directo	indirecto	total		
Plano útil	157	70	227	/	/
Suelo	72	37	110	40	14
Techo	0.00	77	77	70	17
Pared 1	62	49	111	70	25
Pared 2	35	46	81	70	18
Pared 3	79	61	140	70	31
Pared 4	25	47	72	70	16

Simetrías en el plano útil

E_{\min} / E_{\max} : 0.074 (1:14)

E_{\min} / E_{\max} : 0.040 (1:25)

Proporción de intensidad lumínica (según LG7): Paredes / Plano útil: 0.597, Techo / Plano útil: 0.338.

Valor de eficiencia energética: $6.64 \text{ W/m}^2 = 2.92 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Base: 10.74 m^2)

Aula F01

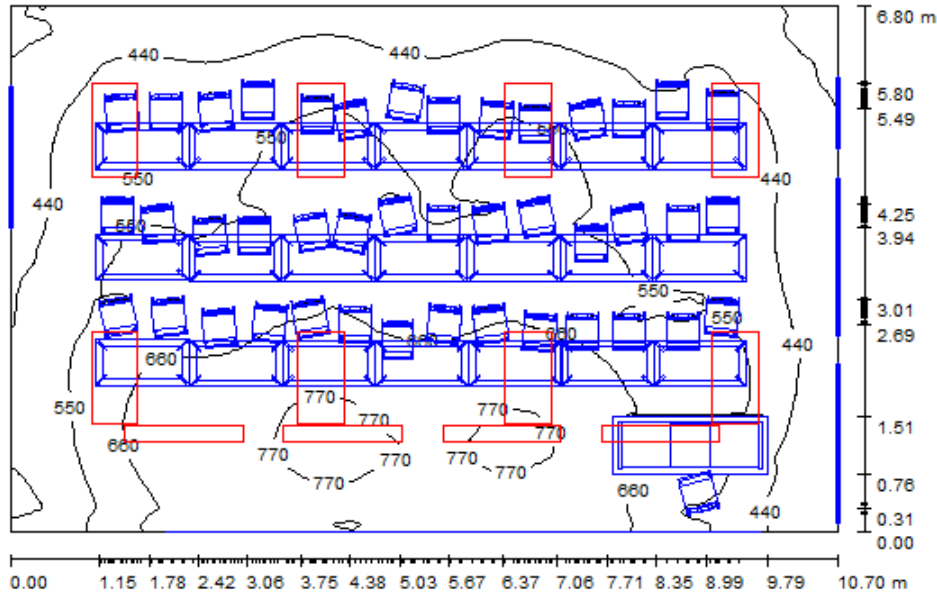


Figura 5.2.3 – Renderizado del aula F01

Se van a sustituir 8 luminarias Philips TBH318 3x36W por LG LED Flat light de 53W y sustituiremos la iluminación auxiliar de la pizarra INDAL L651IFKA 58Fa1M2 de 58W, 4 luminarias, por 8 LED PAR30 Beam 36 de 12W.

Iluminación Fluorescentes

Fluorescentes / Resumen



Altura del local: 3.250 m, Altura de montaje: 3.250 m

Valores en Lux, Escala 1:88

Superficie	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Plano útil	/	557	283	802	0.508
Suelo	40	321	45	715	0.140
Techo	70	176	104	237	0.591
Paredes (4)	70	242	38	540	/

Plano útil:

Altura: 0.850 m
 Trama: 128 x 128 Puntos
 Zona marginal: 0.000 m

Proporción de intensidad lumínica (según LG7): Paredes / Plano útil: 0.402, Techo / Plano útil: 0.316.

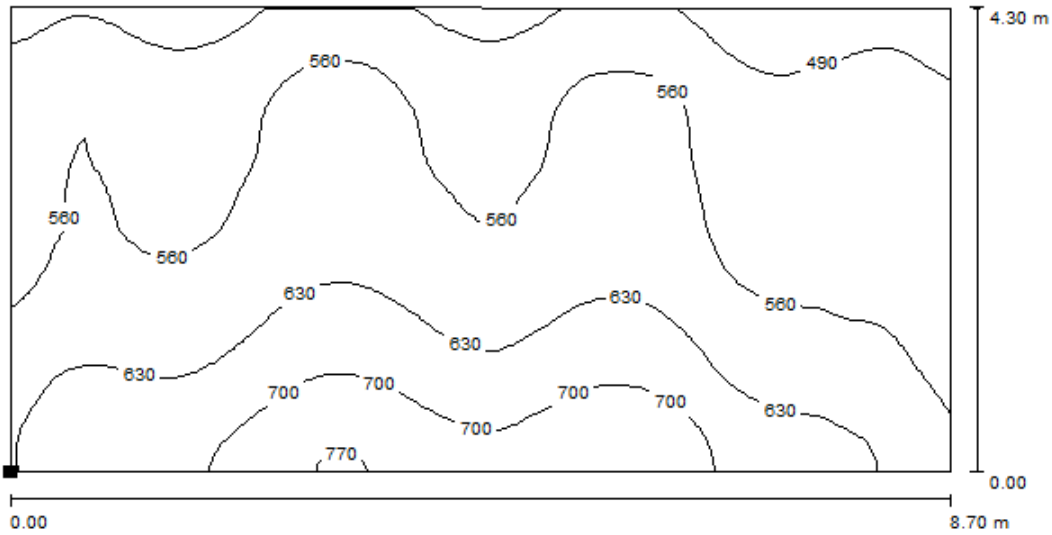
Lista de piezas - Luminarias

Nº	Pieza	Designación (Factor de corrección)	Φ [lm]	P [W]
1	4	INDAL L651IFKA_58Fa1M2 651-IFK-A-EL (1.000)	5200	58.0
2	8	Philips TBH318 3x36W M5 (Tipo 1)* (1.000)	10050	108.0

*Especificaciones técnicas modificadas Total: 101200 1096.0

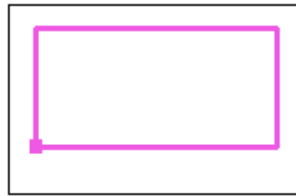
Valor de eficiencia energética: 15.06 W/m² = 2.71 W/m²/100 lx (Base: 72.76 m²)

Fluorescentes / superficie de trabajo / Área de tarea / Isolíneas (E)



Valores en Lux, Escala 1 : 63

Situación de la superficie en el local:
 Punto marcado: (1.000 m, 1.700 m, 0.900 m)

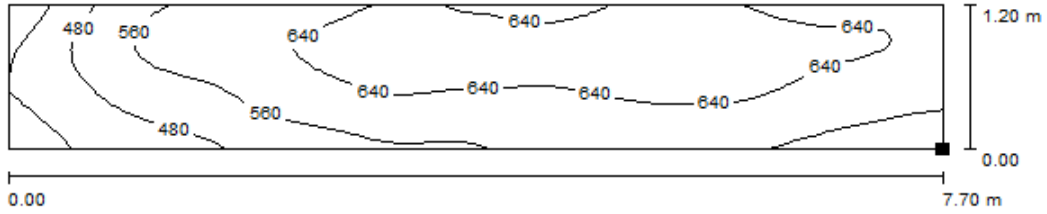


Trama: 64 x 32 Puntos

	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
Área de tarea	585	439	776	0.750	0.565
Área de circundante	611	346	818	0.566	0.423

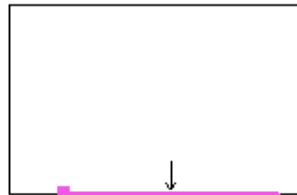


Fluorescentes / Pizarra / Isolíneas (E, vertical)



Valores en Lux, Escala 1 : 56

Situación de la superficie en el local:
 Punto marcado: (2.003 m, 0.028 m, 1.000 m)



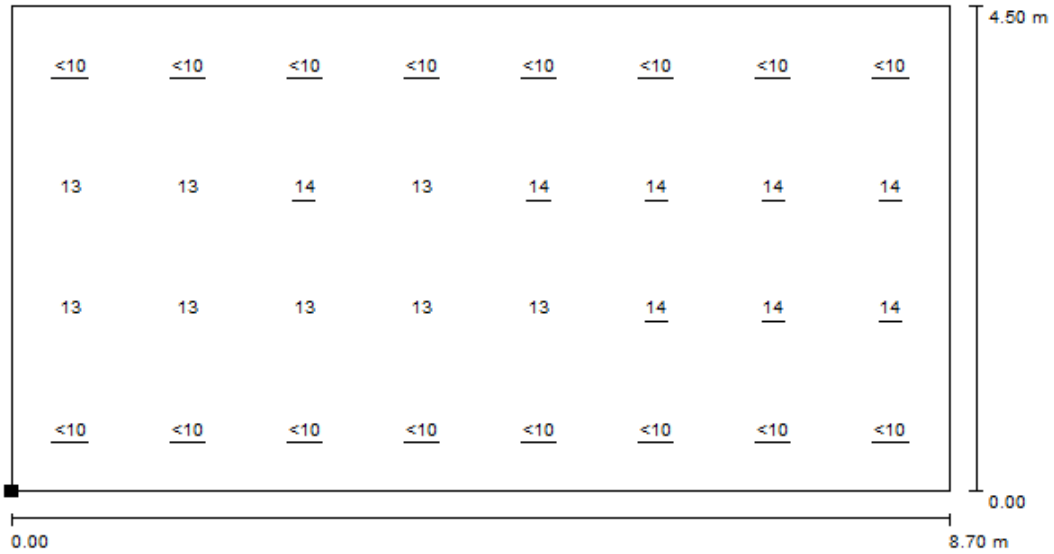
Trama: 16 x 64 Puntos

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
593	345	718	0.582	0.481

Rotación: 90.0°

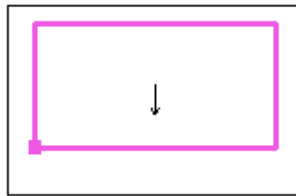


Fluorescentes / UGR alumnos / Gráfico de valores (UGR)



Escala 1 : 63

Situación de la superficie en el local:
 Punto marcado: (1.000 m, 1.700 m, 1.200 m)



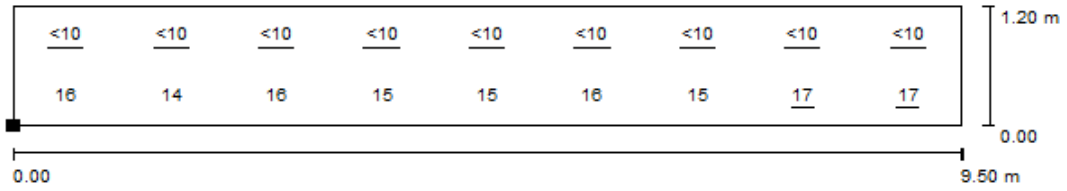
Trama: 8 x 4 Puntos

Min
/

Max
14



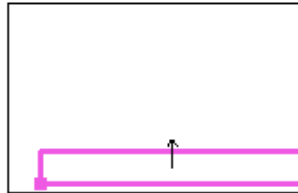
Fluorescentes / UGR profesor / Gráfico de valores (UGR)



Escala 1 : 68

Situación de la superficie en el local:

Punto marcado: (1.200 m, 0.299 m, 1.650 m)



Trama: 9 x 2 Puntos

Min
<10

Max
17



Fluorescentes / Resultados luminotécnicos

Flujo luminoso total: 101200 lm
 Potencia total: 1096.0 W
 Zona marginal: 0.000 m

Superficie	Intensidades lumínicas medias [lx]			Grado de reflexión [%]	Densidad lumínica media [cd/m ²]
	directo	indirecto	total		
Plano útil	420	137	557	/	/
Pizarra	443	150	593	/	/
Suelo	205	116	321	40	41
Techo	0.00	176	176	70	39
Pared 1	130	115	245	70	55
Pared 2	93	130	222	70	50
Pared 3	99	140	239	70	53
Pared 4	100	163	263	70	59

Simetrías en el plano útil

E_{\min} / E_{\max} : 0.508 (1:2)

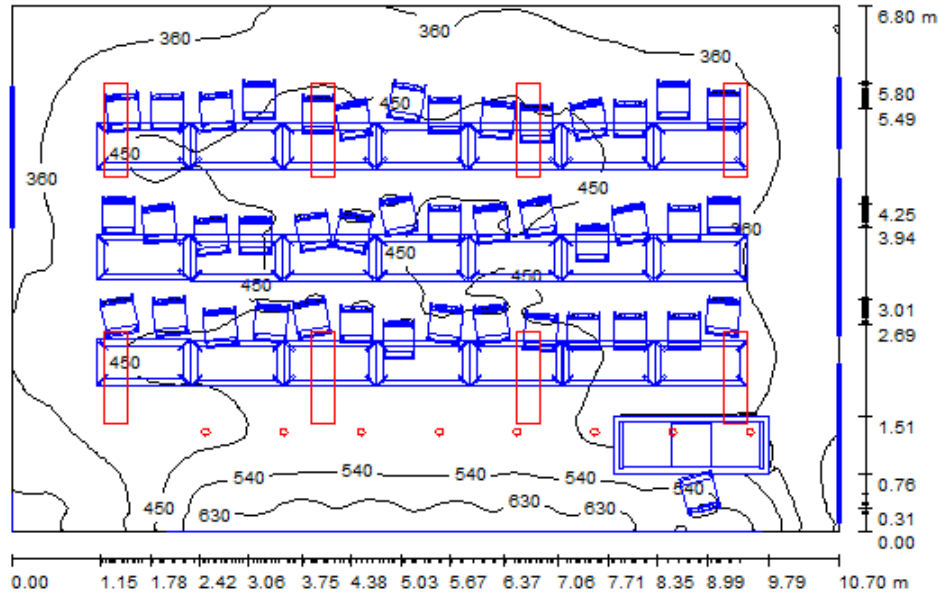
E_{\min} / E_{\max} : 0.352 (1:3)

Proporción de intensidad lumínica (según LG7): Paredes / Plano útil: 0.402, Techo / Plano útil: 0.316.

Valor de eficiencia energética: $15.06 \text{ W/m}^2 = 2.71 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Base: 72.76 m^2)

Iluminación LED

LED par30 / Resumen



Altura del local: 3.250 m, Altura de montaje: 3.250 m

Valores en Lux, Escala 1:88

Superficie	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Plano útil	/	427	244	694	0.572
Suelo	40	240	43	616	0.180
Techo	70	166	97	419	0.589
Paredes (4)	70	232	28	453	/

Plano útil:

Altura: 0.850 m
 Trama: 128 x 128 Puntos
 Zona marginal: 0.000 m

Proporción de intensidad lumínica (según LG7): Paredes / Plano útil: 0.524, Techo / Plano útil: 0.388.

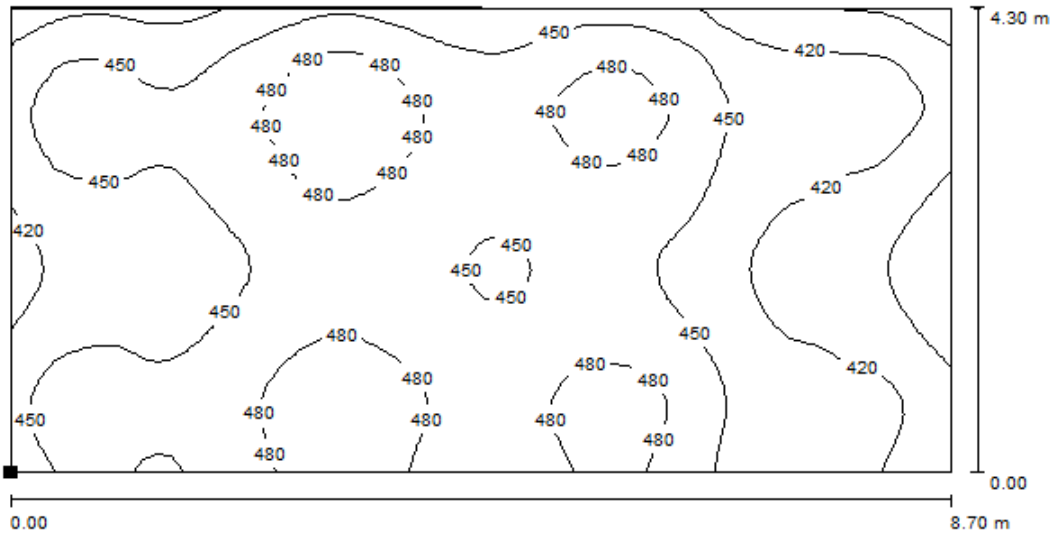
Lista de piezas - Luminarias

Nº	Pieza	Designación (Factor de corrección)	Φ [lm]	P [W]
1	8	(Tipo 1)* (1.000)	4457	53.0
2	8	(1.000)	867	11.5

*Especificaciones técnicas modificadas Total: 42590 516.0

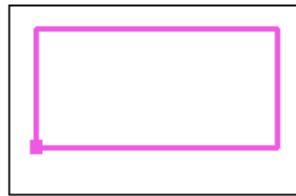
Valor de eficiencia energética: $7.09 \text{ W/m}^2 = 1.66 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Base: 72.76 m^2)

LED par30 / superficie de trabajo / Área de tarea / Isolíneas (E)



Valores en Lux, Escala 1 : 63

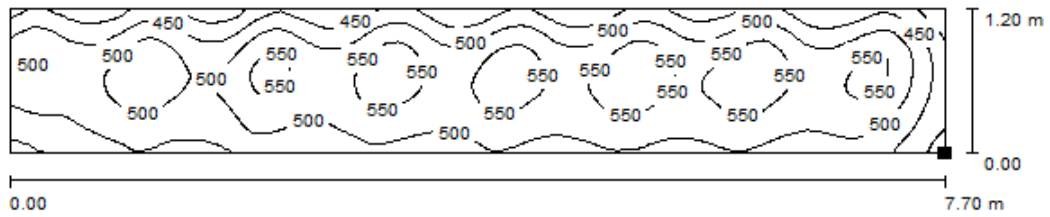
Situación de la superficie en el local:
 Punto marcado: (1.000 m, 1.700 m, 0.900 m)



Trama: 64 x 32 Puntos

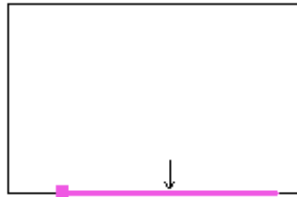
	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
Área de tarea	450	365	505	0.810	0.722
Área de circundante	455	278	711	0.611	0.391

LED par30 / Pizarra / Isolíneas (E, vertical)



Valores en Lux, Escala 1 : 56

Situación de la superficie en el local:
 Punto marcado: (2.003 m, 0.025 m, 1.000 m)



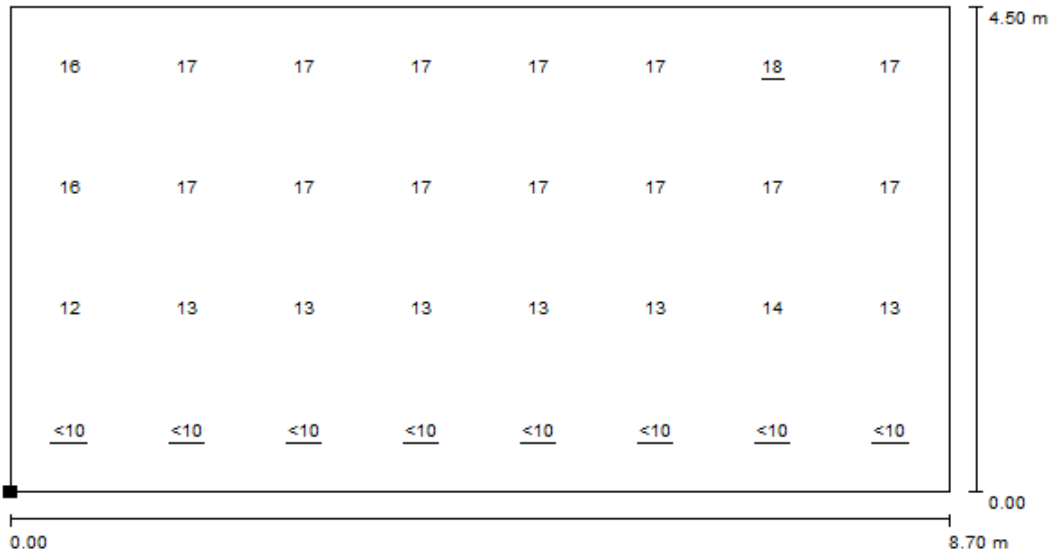
Trama: 32 x 128 Puntos

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
502	356	589	0.710	0.605

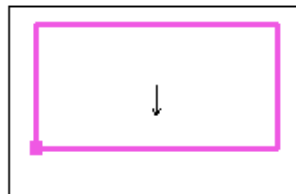
Rotación: 90.0°



LED par30 / UGR alumnos / Gráfico de valores (UGR)



Situación de la superficie en el local:
 Punto marcado: (1.000 m, 1.700 m, 1.200 m)



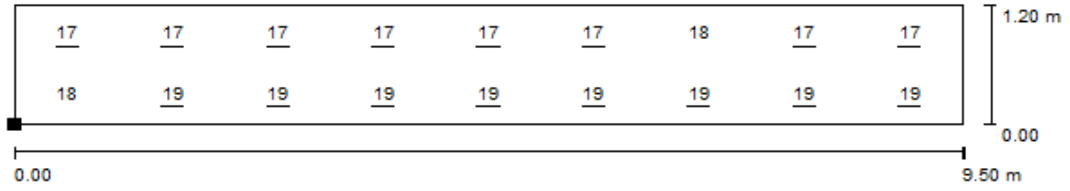
Trama: 8 x 4 Puntos

Min
/

Max
18

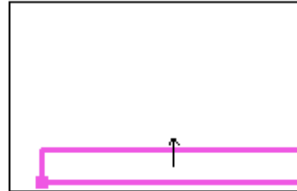


LED par30 / UGR profesor / Gráfico de valores (UGR)



Escala 1 : 68

Situación de la superficie en el local:
Punto marcado: (1.200 m, 0.299 m, 1.650 m)



Trama: 9 x 2 Puntos

Min
17

Max
19



LED par30 / Resultados luminotécnicos

Flujo luminoso total: 42590 lm
 Potencia total: 516.0 W
 Zona marginal: 0.000 m

Superficie	Intensidades lumínicas medias [lx]			Grado de reflexión [%]	Densidad lumínica media [cd/m²]
	directo	indirecto	total		
Plano útil	295	132	427	/	/
Pizarra	372	130	502	/	/
Suelo	134	105	240	40	31
Techo	0.27	165	166	70	37
Pared 1	112	98	209	70	47
Pared 2	101	119	220	70	49
Pared 3	122	130	251	70	56
Pared 4	111	141	252	70	56

Simetrías en el plano útil

E_{\min} / E_m : 0.572 (1:2)

E_{\min} / E_{\max} : 0.352 (1:3)

Proporción de intensidad lumínica (según LG7): Paredes / Plano útil: 0.524, Techo / Plano útil: 0.388.

Valor de eficiencia energética: $7.09 \text{ W/m}^2 = 1.66 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Base: 72.76 m^2)

Aula F03

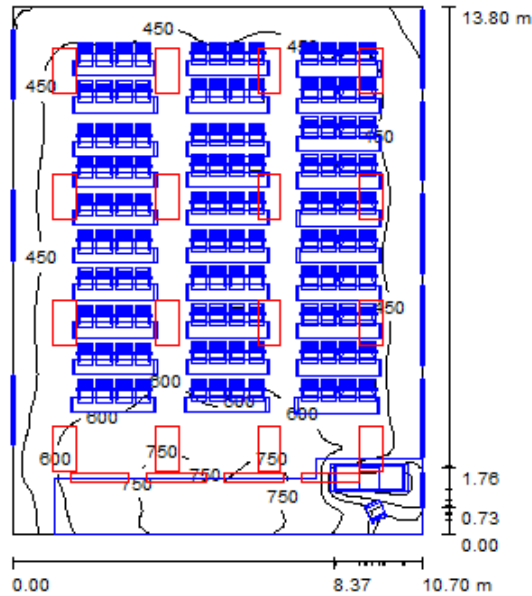


Figura 5.2.4 – Renderizado del aula F03

Se van a sustituir 16 luminarias Philips TBH318 3x36W por LG LED Flat light de 53W y sustuiremos la iluminación auxiliar de la pizarra INDAL L651IFKA 58Fa1M2 de 58W, 4 luminarias, por 8 LED PAR30 Beam 36 de 12W.

Iluminación Fluorescentes

Fluorescentes / Resumen



Altura del local: 3.250 m, Altura de montaje: 3.250 m

Valores en Lux, Escala 1:178

Superficie	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Plano útil	/	527	60	804	0.114
Suelo	40	251	5.68	635	0.023
Techo	70	171	91	224	0.533
Paredes (4)	70	223	37	718	/

Plano útil:

Altura: 0.850 m
 Trama: 128 x 128 Puntos
 Zona marginal: 0.000 m

Proporción de intensidad lumínica (según LG7): Paredes / Plano útil: 0.405, Techo / Plano útil: 0.324.

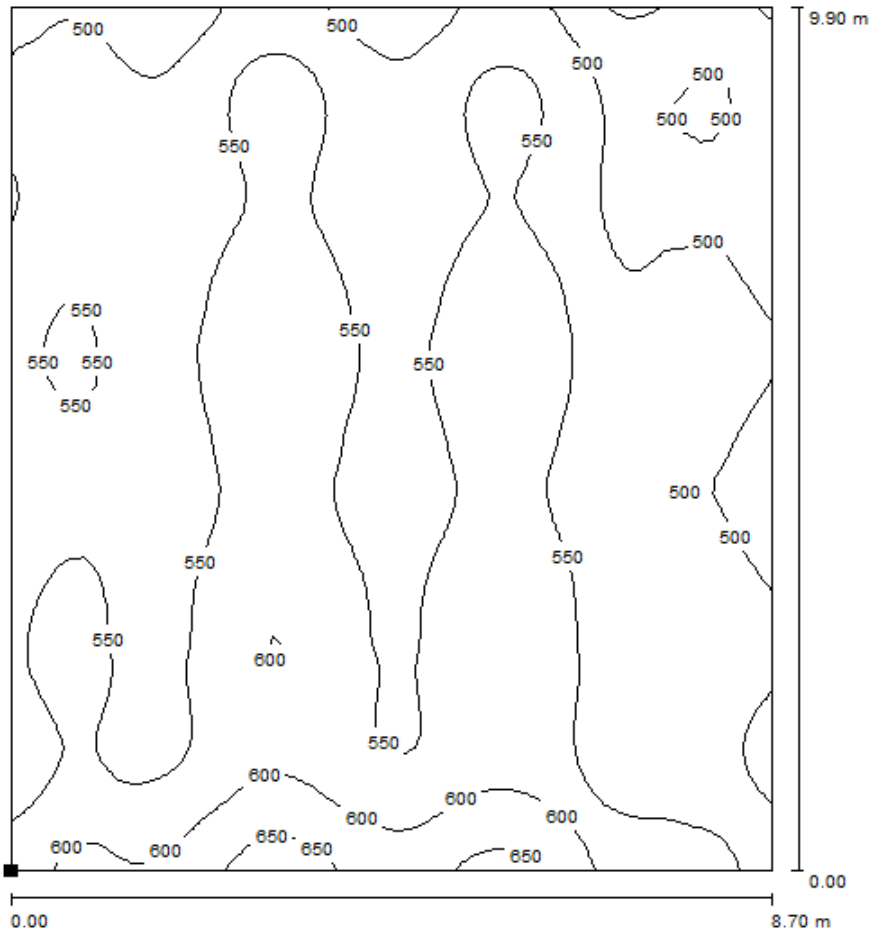
Lista de piezas - Luminarias

Nº	Pieza	Designación (Factor de corrección)	Φ [lm]	P [W]
1	4	INDAL L651IFKA_58Fa1M2 651-IFK-A-EL (1.000)	5200	58.0
2	16	Philips TBH318 3x36W M5 (Tipo 1)* (1.000)	10050	108.0

*Especificaciones técnicas modificadas Total: 181600 1960.0

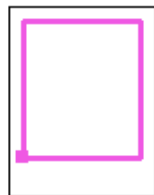
Valor de eficiencia energética: $13.27 \text{ W/m}^2 = 2.52 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Base: 147.66 m^2)

Fluorescentes / superficie de trabajo / Área de tarea / Isolíneas (E)



Valores en Lux, Escala 1 : 78

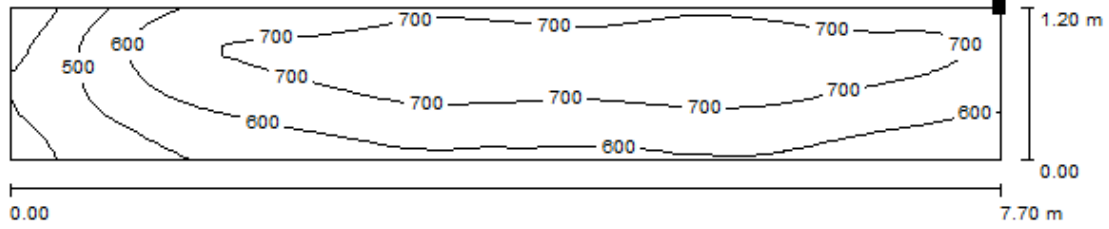
Situación de la superficie en el local:
 Punto marcado: (1.000 m, 2.236 m, 0.900 m)



Trama: 64 x 64 Puntos

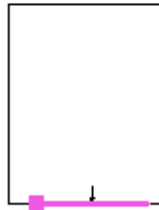
	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
Área de tarea	542	445	672	0.821	0.662
Área de circundante	563	95	810	0.169	0.118

Fluorescentes / Pizarra / Isolíneas (E, vertical)



Valores en Lux, Escala 1 : 56

Situación de la superficie en el local:
 Punto marcado: (2.000 m, -0.570 m, 2.599 m)



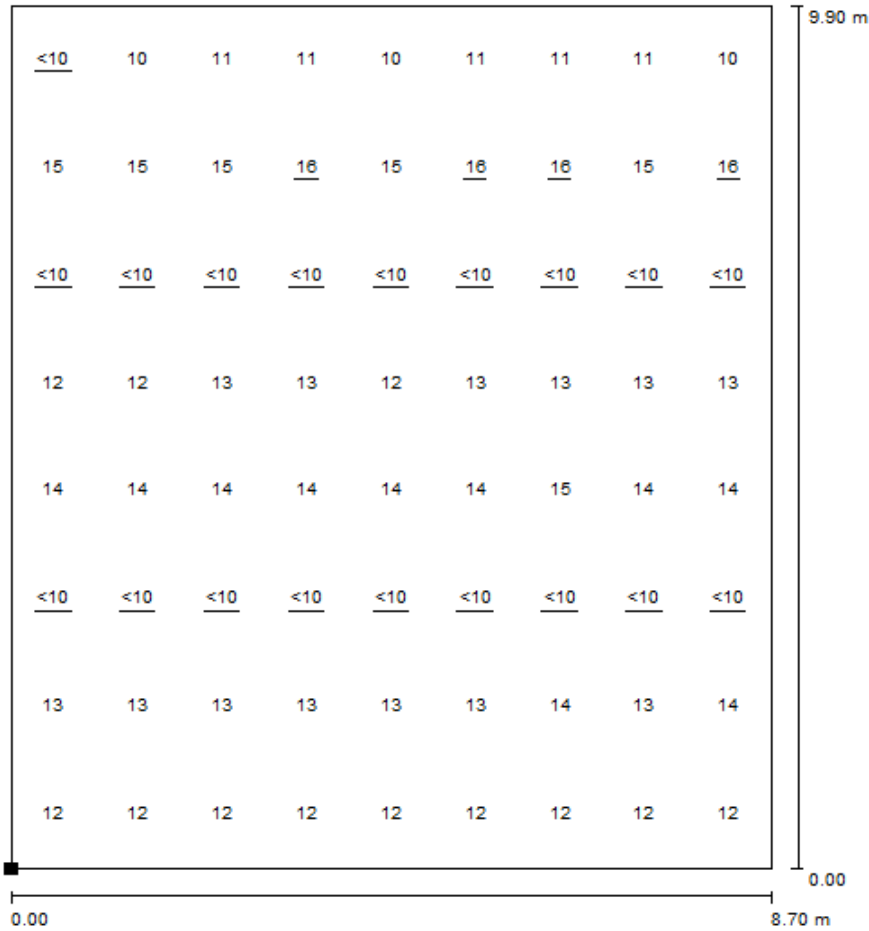
Trama: 64 x 16 Puntos

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
644	336	787	0.522	0.427

Rotación: 90.0°

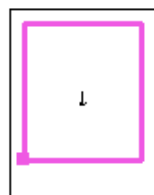


Fluorescentes Philips / UGR alumnos / Gráfico de valores (UGR)



Escala 1 : 78

Situación de la superficie en el local:
 Punto marcado: (1.000 m, 2.236 m, 1.200 m)



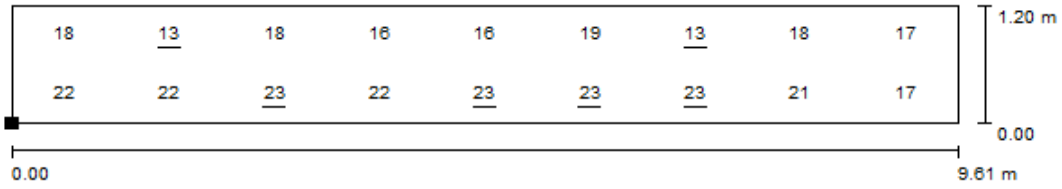
Trama: 8 x 9 Puntos

Min
<10

Max
16

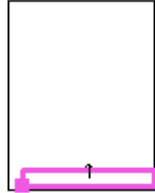


Fluorescentes / UGR profesor / Gráfico de valores (UGR)



Escala 1 : 69

Situación de la superficie en el local:
Punto marcado: (1.083 m, -
0.300 m, 2.050 m)



Trama: 9 x 2 Puntos

Min
13

Max
23



Fluorescentes / Resultados luminotécnicos

Flujo luminoso total: 181600 lm
 Potencia total: 1960.0 W
 Zona marginal: 0.000 m

Superficie	Intensidades lumínicas medias [lx]			Grado de reflexión [%]	Densidad lumínica media [cd/m ²]
	directo	indirecto	total		
Plano útil	402	124	527	/	/
Pizarra	320	159	480	/	/
Suelo	170	80	251	40	32
Techo	0.00	171	171	70	38
Pared 1	107	119	225	70	50
Pared 2	90	120	210	70	47
Pared 3	96	120	215	70	48
Pared 4	93	146	240	70	53

Simetrías en el plano útil

E_{\min} / E_m : 0.114 (1:9)

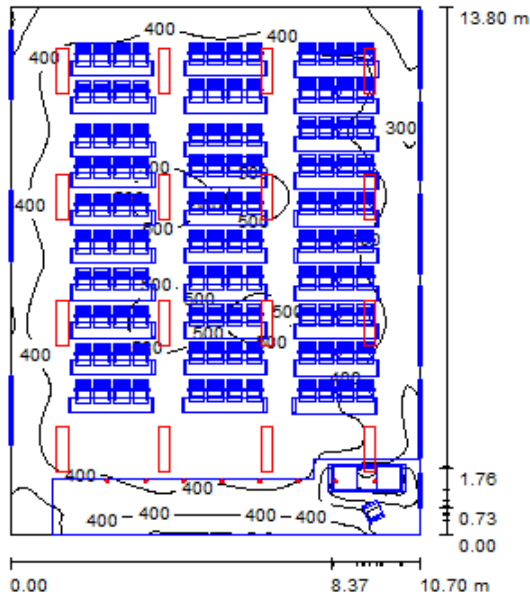
E_{\min} / E_{\max} : 0.074 (1:13)

Proporción de intensidad lumínica (según LG7): Paredes / Plano útil: 0.405, Techo / Plano útil: 0.324.

Valor de eficiencia energética: $13.27 \text{ W/m}^2 = 2.52 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Base: 147.66 m^2)

Iluminación LED

LED con par30 beam 36 / Resumen



Altura del local: 3.250 m, Altura de montaje: 3.250 m

Valores en Lux, Escala 1:178

Superficie	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Plano útil	/	422	66	535	0.156
Suelo	40	199	6.56	388	0.033
Techo	70	163	104	1044	0.636
Paredes (4)	70	230	31	525	/

Plano útil:

Altura: 0.850 m
 Trama: 128 x 128 Puntos
 Zona marginal: 0.000 m

Proporción de intensidad lumínica (según LG7): Paredes / Plano útil: 0.548, Techo / Plano útil: 0.386.

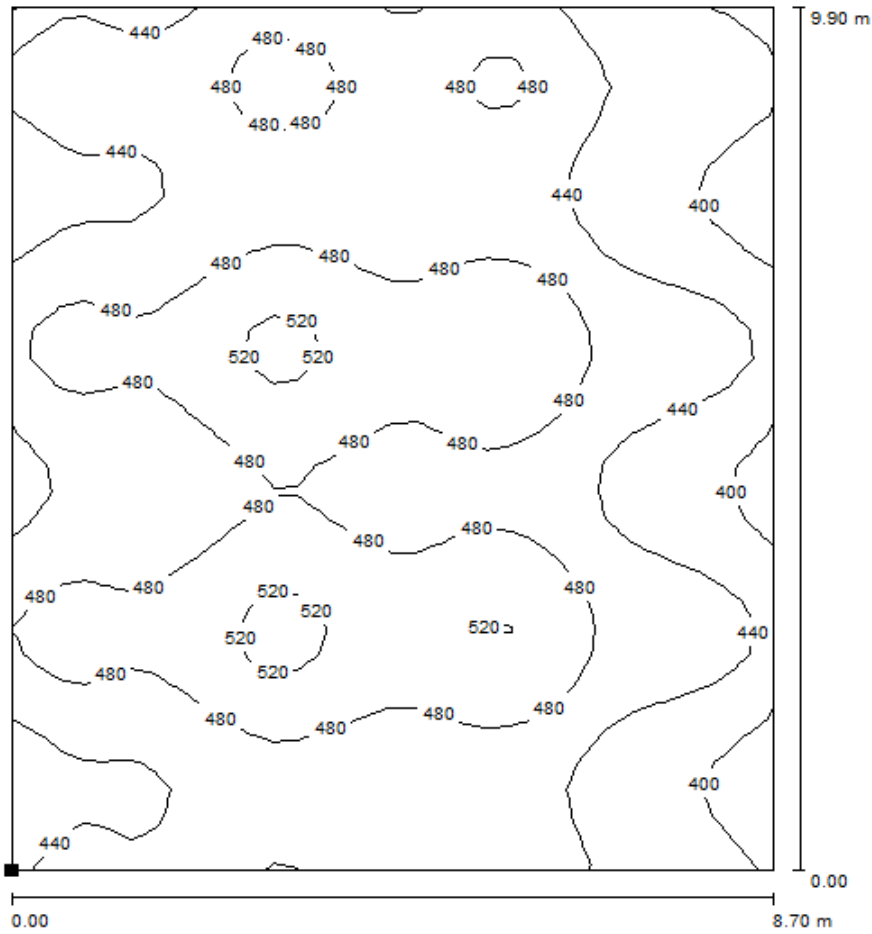
Lista de piezas - Luminarias

Nº	Pieza	Designación (Factor de corrección)	Φ [lm]	P [W]
1	16	(Tipo 1)* (1.000)	4457	53.0
2	8	(1.000)	867	11.5

*Especificaciones técnicas modificadas Total: 78244 940.0

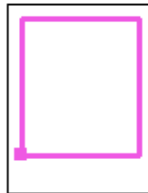
Valor de eficiencia energética: $6.37 \text{ W/m}^2 = 1.51 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Base: 147.66 m^2)

LED con par30 beam 36 / superficie de trabajo / Área de tarea / Isolíneas (E)



Valores en Lux, Escala 1 : 78

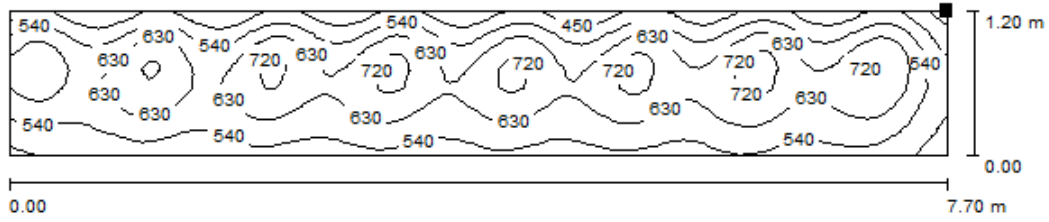
Situación de la superficie en el local:
 Punto marcado: (1.000 m, 2.236 m,
 0.900 m)



Trama: 32 x 32 Puntos

	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
Área de tarea	462	372	536	0.805	0.694
Área de circundante	389	84	542	0.217	0.156

LED con par30 beam 36 / Pizarra / Isolíneas (E, vertical)



Valores en Lux, Escala 1 : 56

Situación de la superficie en el local:
 Punto marcado: (2.000 m, -
 0.570 m, 2.599 m)



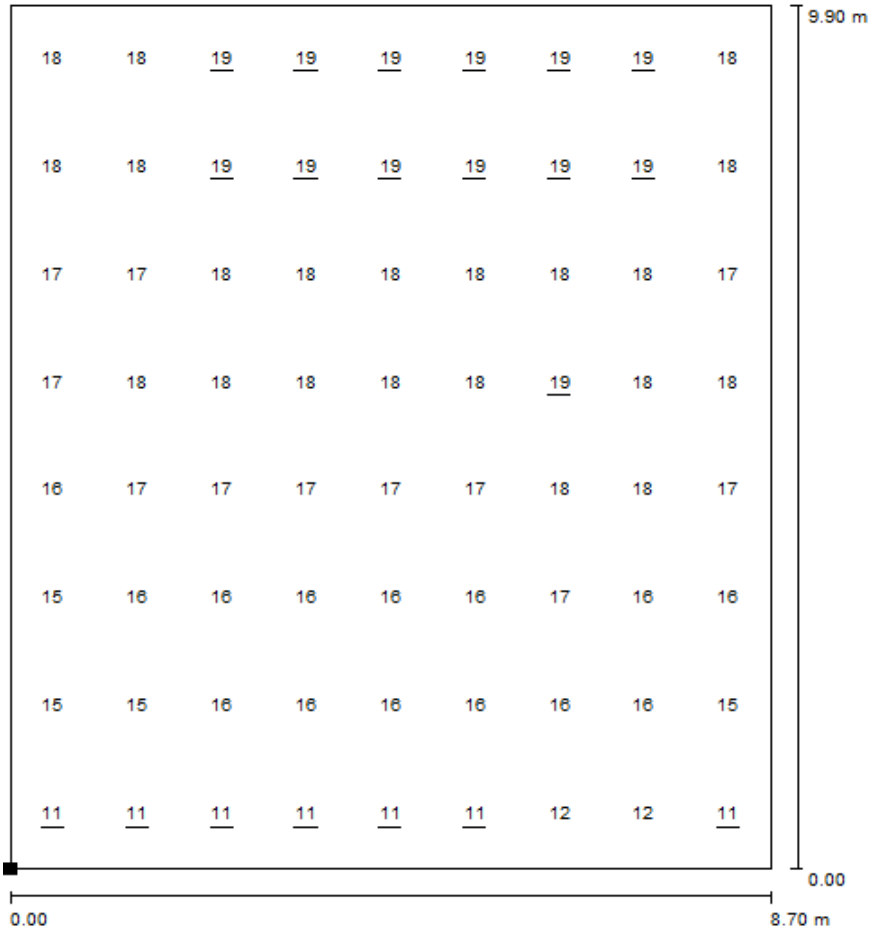
Trama: 128 x 32 Puntos

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
591	324	765	0.547	0.423

Rotación: 90.0°

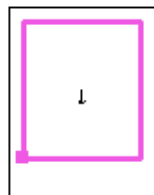


LED con par30 beam 36 / UGR alumnos / Gráfico de valores (UGR)



Escala 1 : 78

Situación de la superficie en el local:
 Punto marcado: (1.000 m, 2.236 m, 1.200 m)



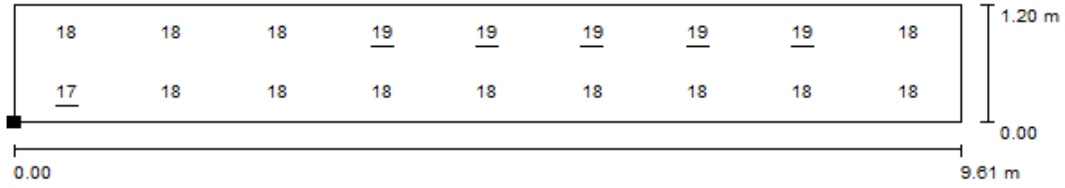
Trama: 8 x 9 Puntos

Min
11

Max
19

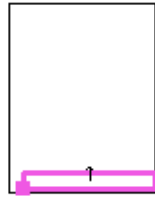


LED con par30 beam 36 / UGR profesor / Gráfico de valores (UGR)



Escala 1 : 69

Situación de la superficie en el local:
Punto marcado: (1.083 m, - 0.300 m, 2.050 m)



Trama: 9 x 2 Puntos

Min
17

Max
19



LED con par30 beam 36 / Resultados luminotécnicos

Flujo luminoso total: 78244 lm
 Potencia total: 940.0 W
 Zona marginal: 0.000 m

Superficie	Intensidades lumínicas medias [lx]			Grado de reflexión [%]	Densidad lumínica media [cd/m²]
	directo	indirecto	total		
Plano útil	298	124	422	/	/
Pizarra	460	132	591	/	/
Suelo	119	80	199	40	25
Techo	0.41	163	163	70	36
Pared 1	96	96	192	70	43
Pared 2	105	116	220	70	49
Pared 3	124	120	244	70	54
Pared 4	123	135	258	70	57

Simetrías en el plano útil

E_{min} / E_m : 0.156 (1:6)

E_{min} / E_{max} : 0.123 (1:8)

Proporción de intensidad lumínica (según LG7): Paredes / Plano útil: 0.548, Techo / Plano útil: 0.386.

Valor de eficiencia energética: $6.37 \text{ W/m}^2 = 1.51 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Base: 147.66 m^2)

Aula G02

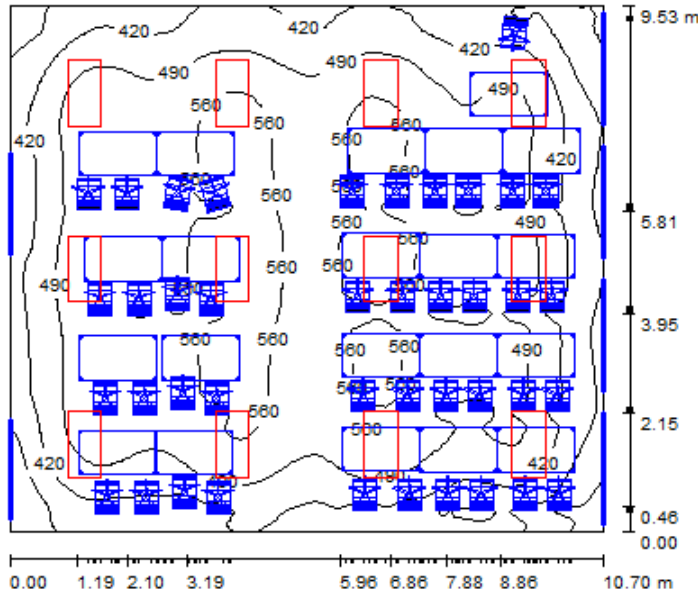


Figura 5.2.5 – Renderizado del aula G02

Se van a sustituir 12 luminarias Philips TBH318 3x36W por LG LED Flat light de 53W.

Iluminación Fluorescentes

Fluorescentes / Resumen



Altura del local: 3.250 m, Altura de montaje: 3.250 m

Valores en Lux, Escala 1:123

Superficie	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Plano útil	/	486	256	602	0.527
Suelo	50	293	63	532	0.214
Techo	70	157	90	206	0.574
Paredes (4)	70	222	101	348	/

Plano útil:

Altura: 0.850 m
 Trama: 128 x 128 Puntos
 Zona marginal: 0.000 m

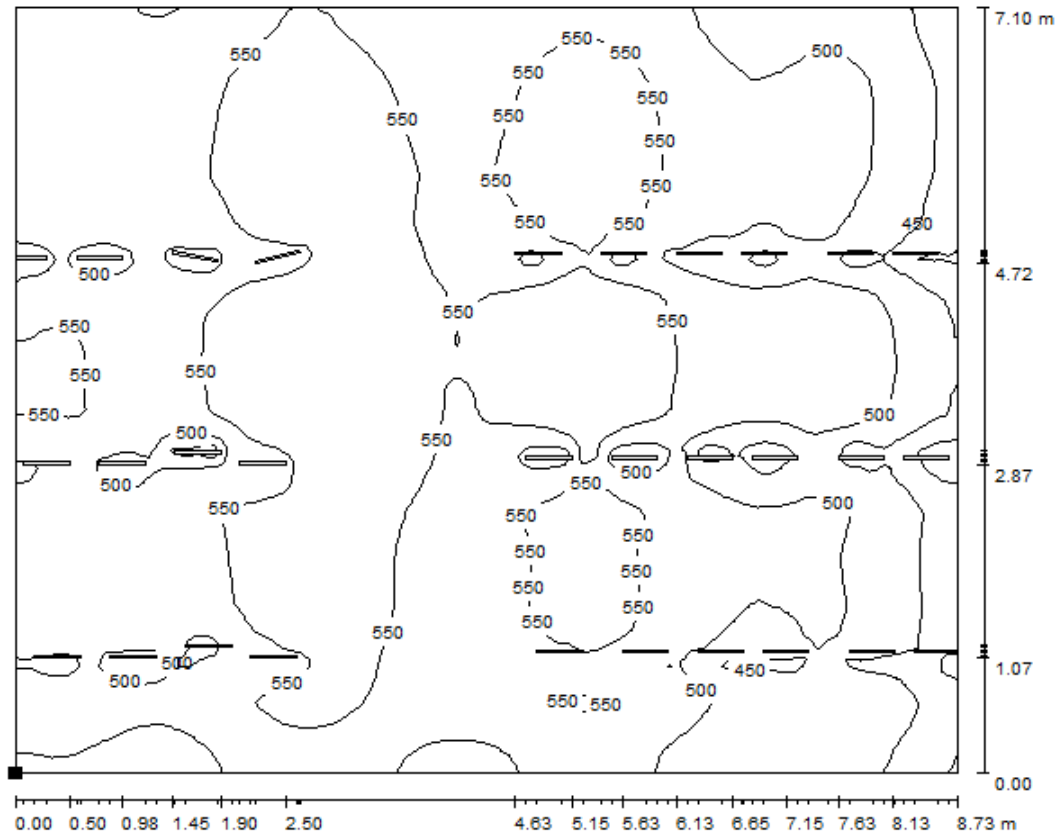
Proporción de intensidad lumínica (según LG7): Paredes / Plano útil: 0.454, Techo / Plano útil: 0.324.

Lista de piezas - Luminarias

Nº	Pieza	Designación (Factor de corrección)	Φ [lm]	P [W]
1	12	Philips TBH318 3x36W M5 (Tipo 1)* (1.000)	10050	108.0
			Total:	1296.0

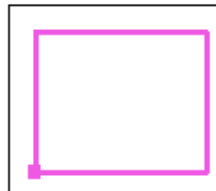
Valor de eficiencia energética: $12.71 \text{ W/m}^2 = 2.62 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Base: 101.97 m^2)

Fluorescentes / superficie de trabajo / Área de tarea / Isolíneas (E)



Valores en Lux, Escala 1 : 63

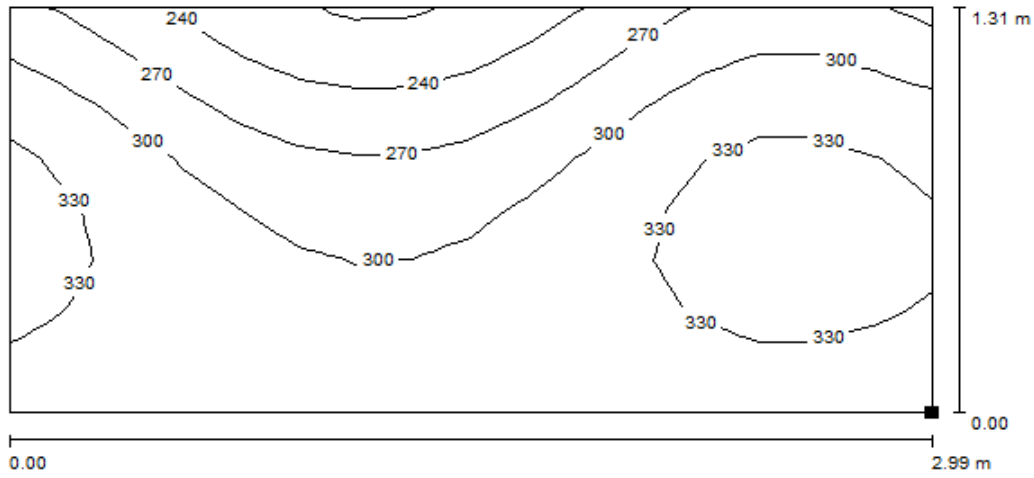
Situación de la superficie en el local:
 Punto marcado: (1.330 m, 1.100 m, 0.800 m)



Trama: 128 x 128 Puntos

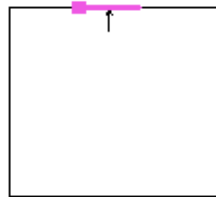
	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
Área de tarea	526	365	596	0.694	0.613
Área de circundante	424	251	550	0.591	0.456

Fluorescentes / Pizarra / Isolíneas (E, vertical)



Valores en Lux, Escala 1 : 22

Situación de la superficie en el local:
 Punto marcado: (3.542 m, 9.530 m, 0.987 m)



Trama: 8 x 16 Puntos

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
302	207	350	0.684	0.590

Rotación: -90.0°

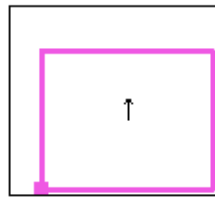


Fluorescentes / UGR alumnos / Gráfico de valores (UGR)



Escala 1 : 62

Situación de la superficie en el local:
 Punto marcado: (1.661 m, 0.314 m, 1.200 m)



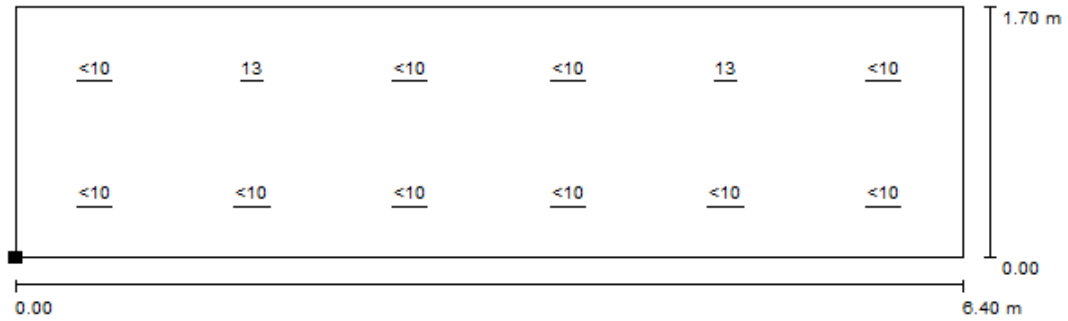
Trama: 8 x 6 Puntos

Min
<10

Max
15

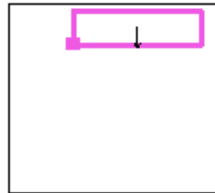


Fluorescentes / UGR profesor / Gráfico de valores (UGR)



Escala 1 : 46

Situación de la superficie en el local:
 Punto marcado: (3.300 m, 7.500 m, 1.650 m)



Trama: 6 x 2 Puntos

Min
<10

Max
13



Fluorescentes / Resultados luminotécnicos

Flujo luminoso total: 120600 lm
 Potencia total: 1296.0 W
 Zona marginal: 0.000 m

Superficie	Intensidades lumínicas medias [lx]			Grado de reflexión [%]	Densidad lumínica media [cd/m ²]
	directo	indirecto	total		
Plano útil	367	119	486	/	/
Pizarra	151	151	302	/	/
Suelo	191	102	293	50	47
Techo	0.00	157	157	70	35
Pared 1	97	124	221	70	49
Pared 2	82	115	197	70	44
Pared 3	100	140	240	70	54
Pared 4	86	142	228	70	51

Simetrías en el plano útil

E_{\min} / E_{\max} : 0.527 (1:2)

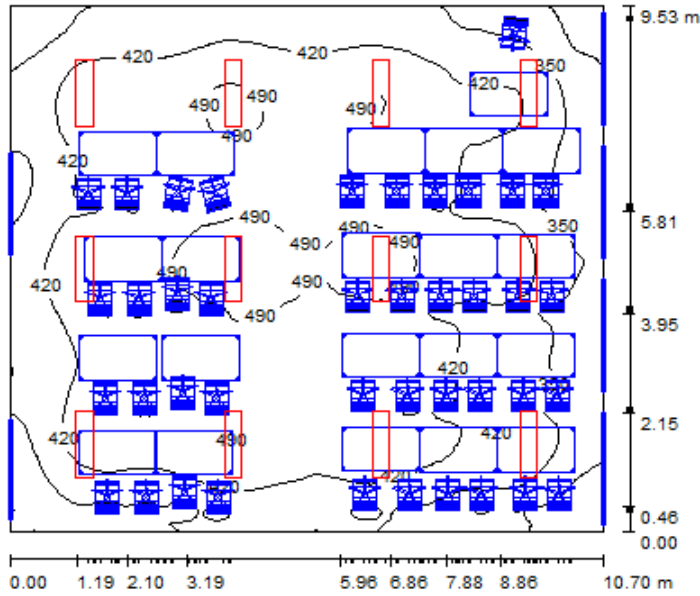
E_{\min} / E_{\max} : 0.426 (1:2)

Proporción de intensidad lumínica (según LG7): Paredes / Plano útil: 0.454, Techo / Plano útil: 0.324.

Valor de eficiencia energética: 12.71 W/m² = 2.62 W/m²/100 lx (Base: 101.97 m²)

Iluminación LED

LED / Resumen



Altura del local: 3.250 m, Altura de montaje: 3.250 m

Valores en Lux, Escala 1:123

Superficie	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Plano útil	/	418	219	530	0.524
Suelo	50	248	54	440	0.216
Techo	70	153	93	192	0.608
Paredes (4)	70	246	99	367	/

Plano útil:

Altura: 0.850 m
 Trama: 128 x 128 Puntos
 Zona marginal: 0.000 m

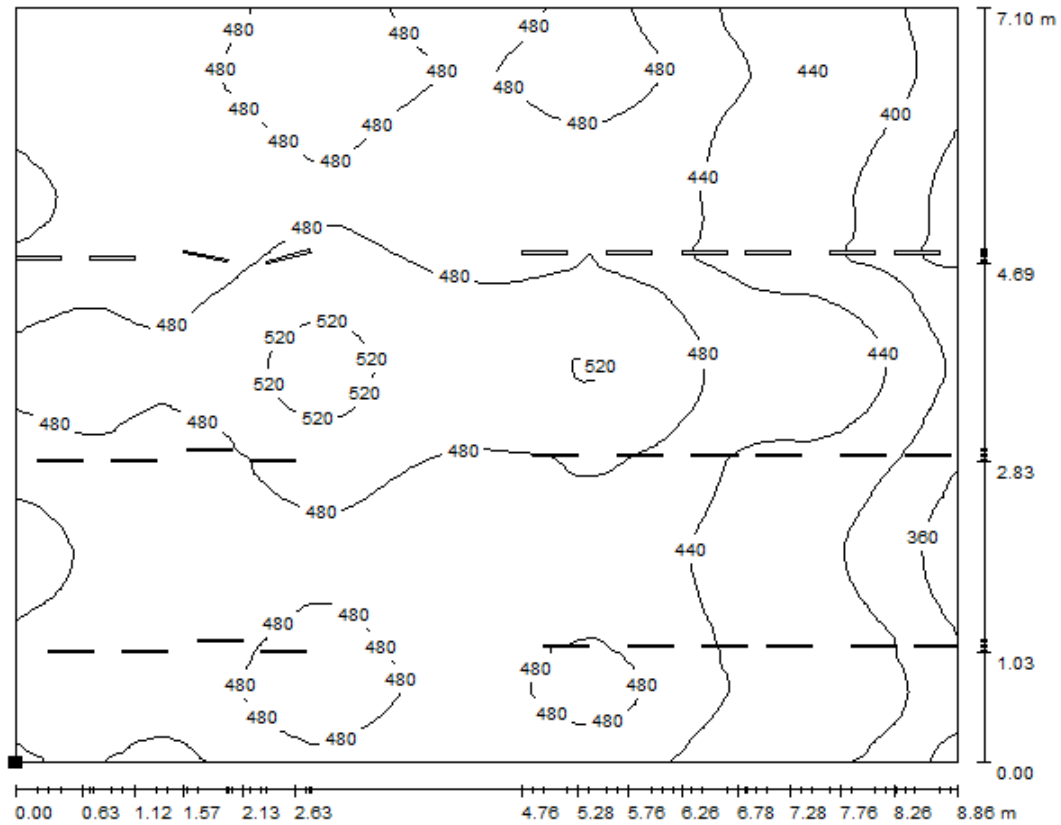
Proporción de intensidad lumínica (según LG7): Paredes / Plano útil: 0.611, Techo / Plano útil: 0.365.

Lista de piezas - Luminarias

Nº	Pieza	Designación (Factor de corrección)	Φ [lm]	P [W]
1	12	(Tipo 1)* (1.000)	4457	53.0
*Especificaciones técnicas modificadas			Total: 53482	636.0

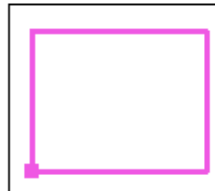
Valor de eficiencia energética: $6.24 \text{ W/m}^2 = 1.49 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Base: 101.97 m^2)

LED / superficie de trabajo / Área de tarea / Isolíneas (E)



Valores en Lux, Escala 1 : 64

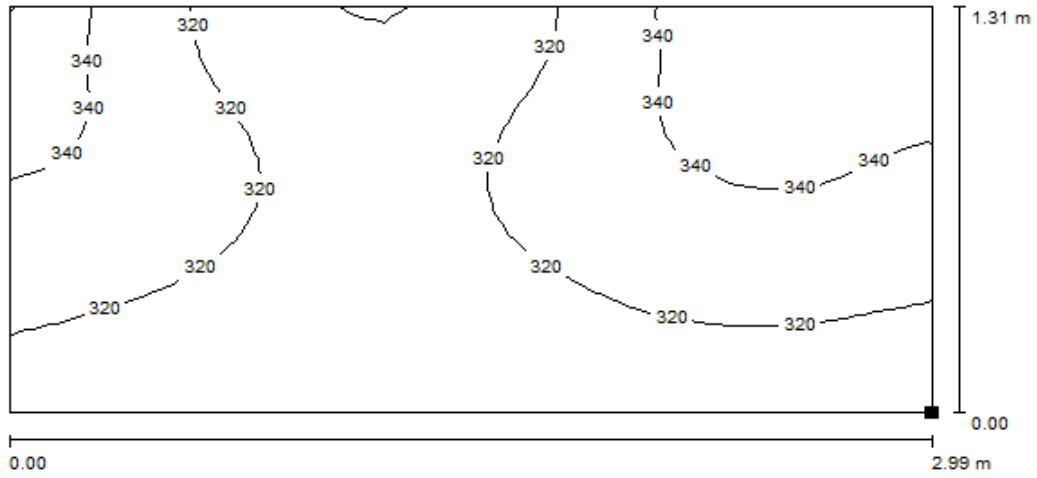
Situación de la superficie en el local:
 Punto marcado: (1.200 m, 1.100 m, 0.900 m)



Trama: 128 x 128 Puntos

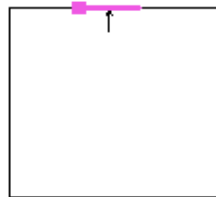
	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
Área de tarea	458	344	535	0.752	0.643
Área de circundante	373	236	490	0.632	0.481

LED / Pizarra / Isolíneas (E, vertical)



Valores en Lux, Escala 1 : 22

Situación de la superficie en el local:
 Punto marcado: (3.542 m, 9.530 m, 0.987 m)



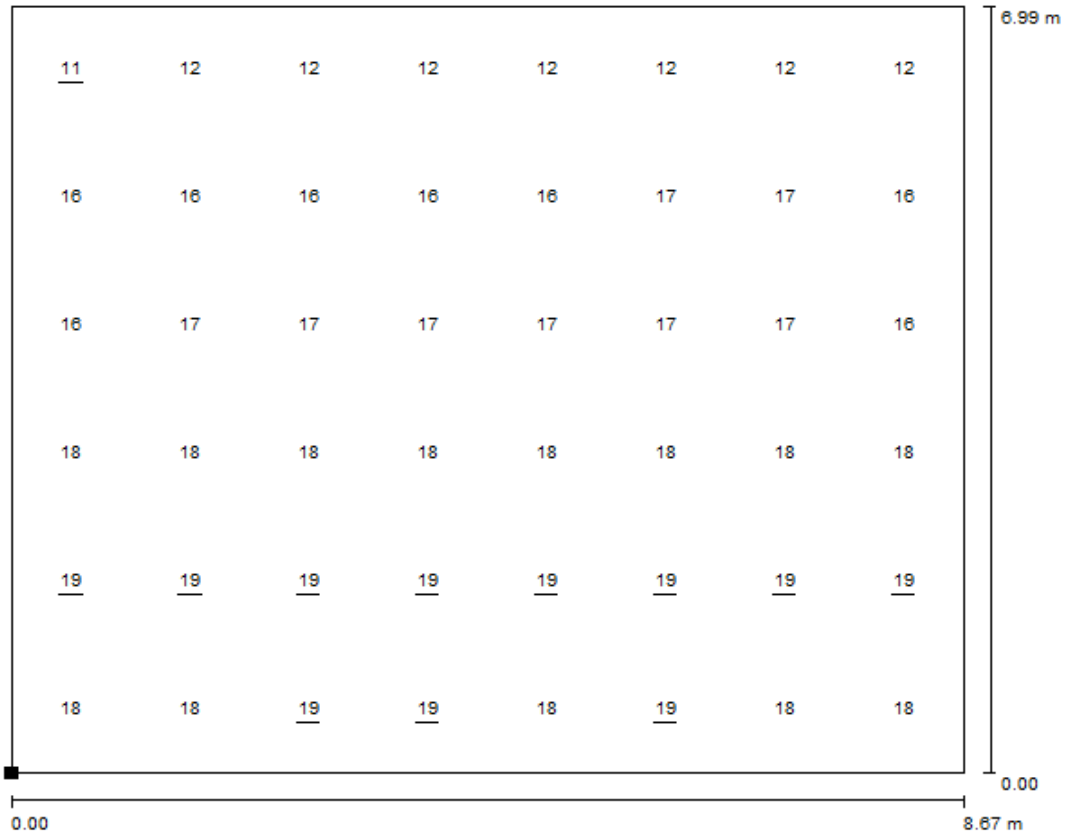
Trama: 16 x 32 Puntos

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
323	298	355	0.923	0.841

Rotación: -90.0°

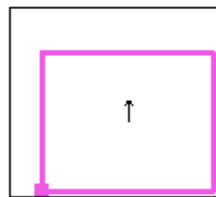


LED / UGR alumnos / Gráfico de valores (UGR)



Escala 1 : 62

Situación de la superficie en el local:
 Punto marcado: (1.661 m, 0.314 m, 1.200 m)



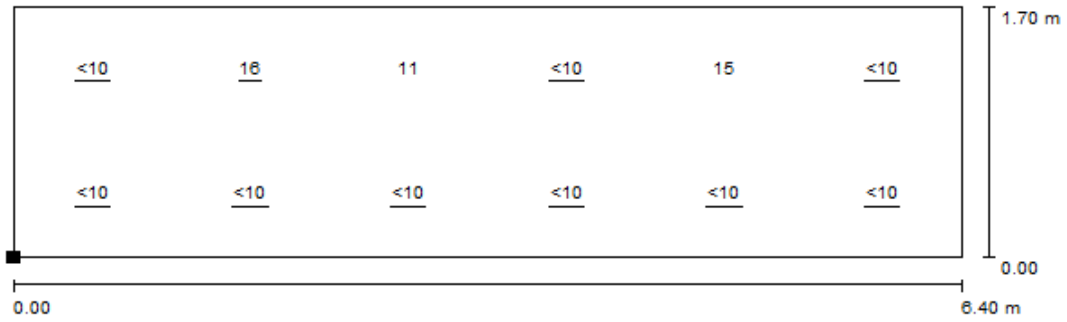
Trama: 8 x 6 Puntos

Min
11

Max
19

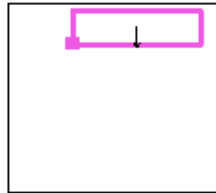


LED / UGR profesor / Gráfico de valores (UGR)



Escala 1 : 46

Situación de la superficie en el local:
Punto marcado: (3.300 m,
7.500 m, 1.650 m)



Trama: 6 x 2 Puntos

Min
/

Max
16



LED / Resultados luminotécnicos

Flujo luminoso total: 53482 lm
 Potencia total: 636.0 W
 Zona marginal: 0.000 m

Superficie	Intensidades lumínicas medias [lx]			Grado de reflexión [%]	Densidad lumínica media [cd/m ²]
	directo	indirecto	total		
Plano útil	295	123	418	/	/
Pizarra	179	144	323	/	/
Suelo	147	102	248	50	40
Techo	0.00	153	153	70	34
Pared 1	118	120	238	70	53
Pared 2	104	110	214	70	48
Pared 3	129	136	264	70	59
Pared 4	126	138	264	70	59

Simetrías en el plano útil

E_{\min} / E_m : 0.524 (1:2)

E_{\min} / E_{\max} : 0.414 (1:2)

Proporción de intensidad lumínica (según LG7): Paredes / Plano útil: 0.611, Techo / Plano útil: 0.365.

Valor de eficiencia energética: $6.24 \text{ W/m}^2 = 1.49 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Base: 101.97 m²)

Pasillo interior

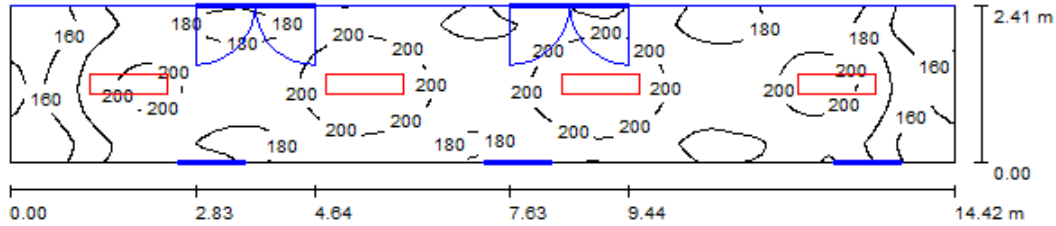


Figura 5.2.6 – Renderizado de un pasillo interior

Se van a sustituir las luminarias Philips TBH318 2x36W por LG LED Flat light de 53W. En el ejemplo se simularán secciones de 4 luminarias.

Iluminación Fluorescentes

Fluorescentes / Resumen



Altura del local: 3.000 m, Altura de montaje: 3.100 m, Factor mantenimiento: 0.80

Valores en Lux, Escala 1:104

Superficie	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Plano útil	/	187	137	219	0.733
Suelo	40	184	103	223	0.558
Techo	70	58	46	73	0.796
Paredes (4)	64	78	2.78	163	/

Plano útil:

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

Proporción de intensidad lumínica (según LG7): Paredes / Plano útil: 0.420, Techo / Plano útil: 0.312.

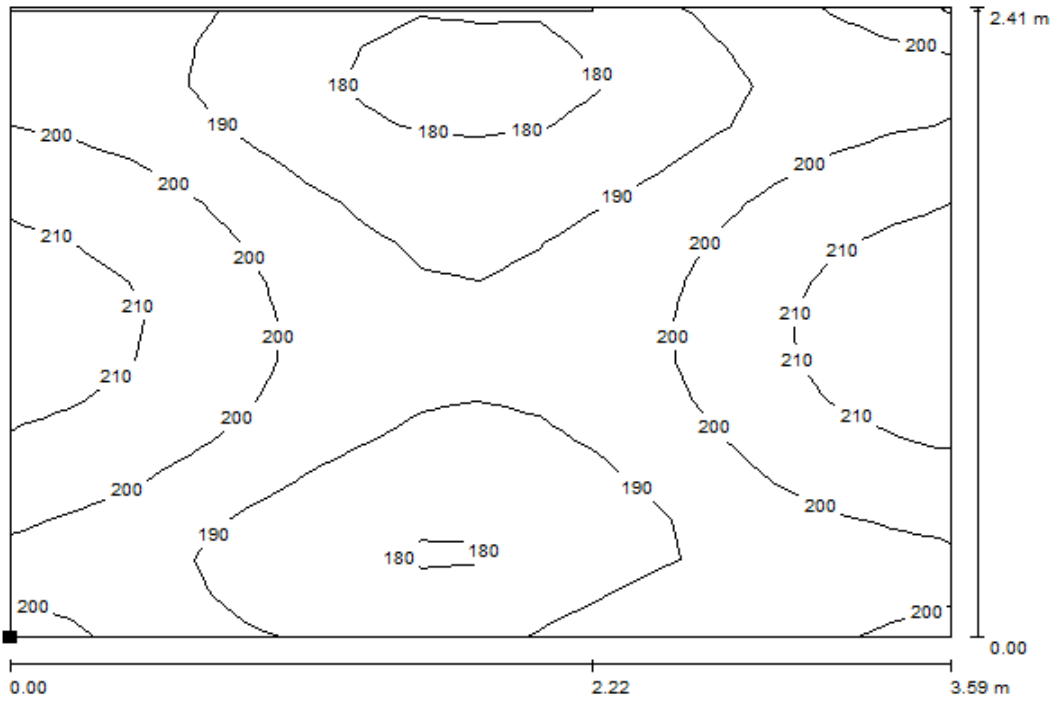
Lista de piezas - Luminarias

Nº	Pieza	Designación (Factor de corrección)	Φ [lm]	P [W]
1	4	Philips TBH318 2xTL-D36W HFE M5 (Tipo 1)* (1.000)	6700	72.0

*Especificaciones técnicas modificadas Total: 26800 288.0

Valor de eficiencia energética: $8.29 \text{ W/m}^2 = 4.43 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Base: 34.75 m^2)

Fluorescentes / Superficie de cálculo / Isolíneas (E, perpendicular)



Valores en Lux, Escala 1 : 26

Situación de la superficie en el local:
 Punto marcado: (4.210 m, 0.000 m, 0.000 m)

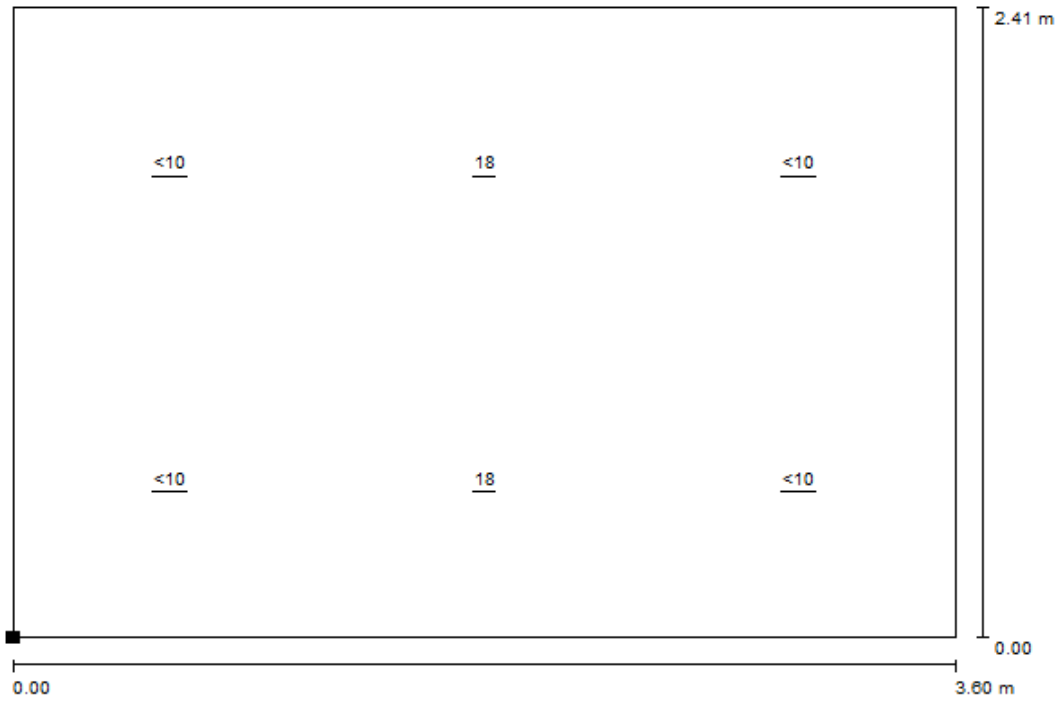


Trama: 16 x 16 Puntos

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
195	174	218	0.895	0.800

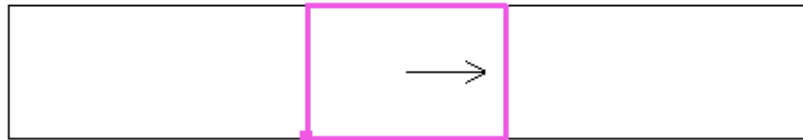


Fluorescentes / Superficie de cálculo UGR 1 / Gráfico de valores (UGR)



Escala 1 : 26

Situación de la superficie en el local:
Punto marcado: (4.210 m, 0.000 m, 1.750 m)



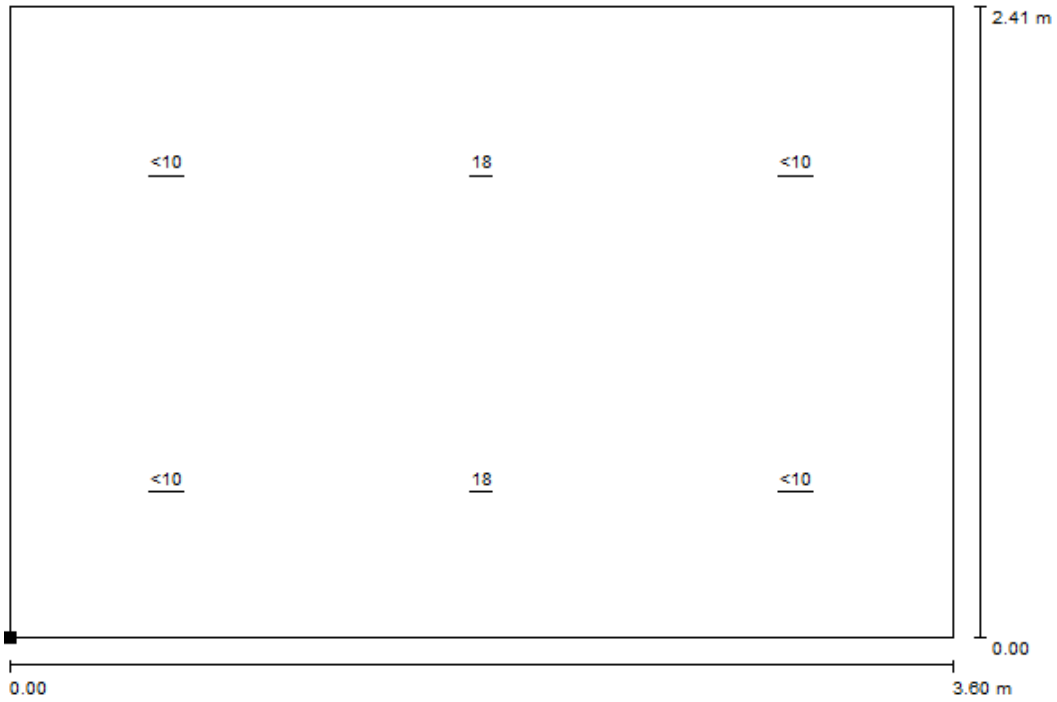
Trama: 3 x 2 Puntos

Min
<10

Max
18



Fluorescentes / Superficie de cálculo UGR 2 / Gráfico de valores (UGR)



Escala 1 : 26

Situación de la superficie en el local:
Punto marcado: (4.210 m, -0.005 m, 1.750 m)



Trama: 3 x 2 Puntos

Min
<10

Max
18



Fluorescentes / Resultados luminotécnicos

Flujo luminoso total: 26800 lm
 Potencia total: 288.0 W
 Factor mantenimiento: 0.80
 Zona marginal: 0.000 m

Superficie	Intensidades lumínicas medias [lx]			Grado de reflexión [%]	Densidad lumínica media [cd/m ²]
	directo	indirecto	total		
Plano útil	128	59	187	/	/
Superficie de cálculo	139	56	195	/	/
Suelo	127	57	184	40	23
Techo	0.00	58	58	70	13
Pared 1	41	62	103	50	16
Pared 2	37	54	91	90	26
Pared 3	16	34	50	70	11
Pared 4	37	55	92	90	26

Simetrías en el plano útil

E_{\min} / E_{\max} : 0.733 (1:1)

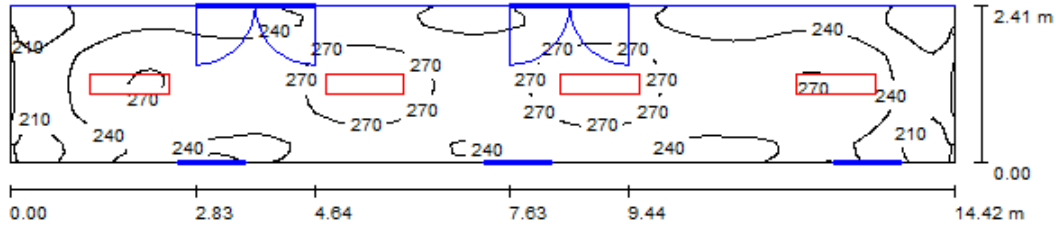
E_{\min} / E_{\max} : 0.626 (1:2)

Proporción de intensidad lumínica (según LG7): Paredes / Plano útil: 0.420, Techo / Plano útil: 0.312.

Valor de eficiencia energética: $8.29 \text{ W/m}^2 = 4.43 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Base: 34.75 m^2)

Iluminación LED

LED / Resumen



Altura del local: 3.000 m, Altura de montaje: 3.000 m, Factor mantenimiento: 0.80

Valores en Lux, Escala 1:104

Superficie	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Plano útil	/	249	176	289	0.707
Suelo	40	245	136	288	0.555
Techo	70	107	76	150	0.712
Paredes (4)	64	165	2.35	342	/

Plano útil:

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

Proporción de intensidad lumínica (según LG7): Paredes / Plano útil: 0.661, Techo / Plano útil: 0.432.

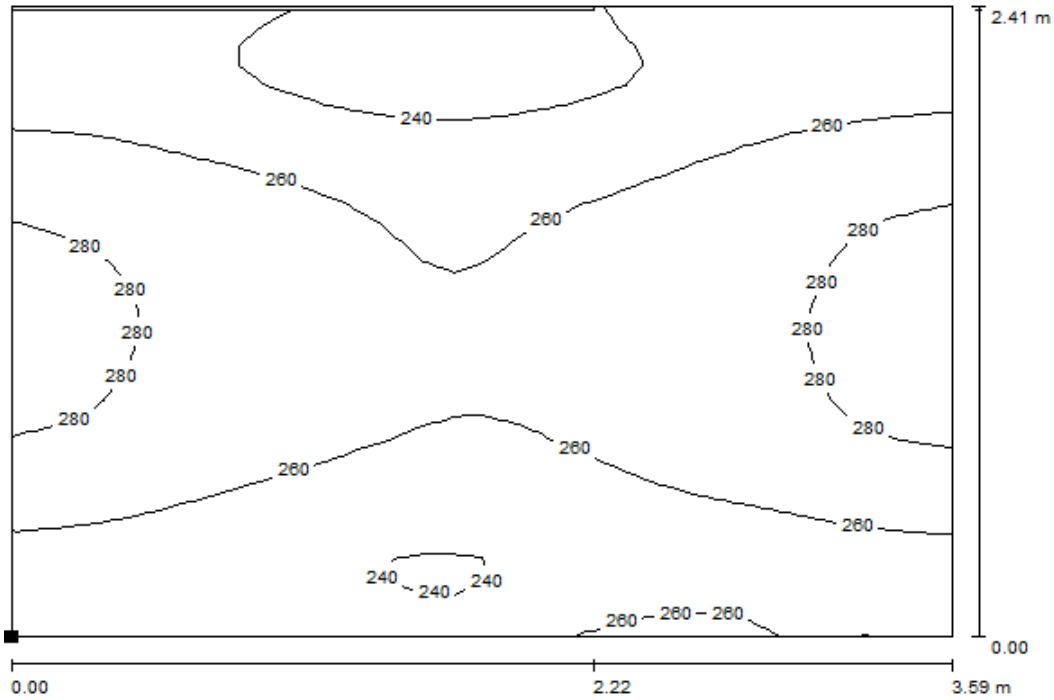
Lista de piezas - Luminarias

Nº	Pieza	Designación (Factor de corrección)	Φ [lm]	P [W]
1	4	(Tipo 1)* (1.000)	4457	53.0

*Especificaciones técnicas modificadas Total: 17827 212.0

Valor de eficiencia energética: $6.10 \text{ W/m}^2 = 2.45 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Base: 34.75 m^2)

LED / Superficie de cálculo / Isolíneas (E, perpendicular)



Valores en Lux, Escala 1 : 26

Situación de la superficie en el local:
 Punto marcado: (4.210 m, 0.000 m, 0.000 m)

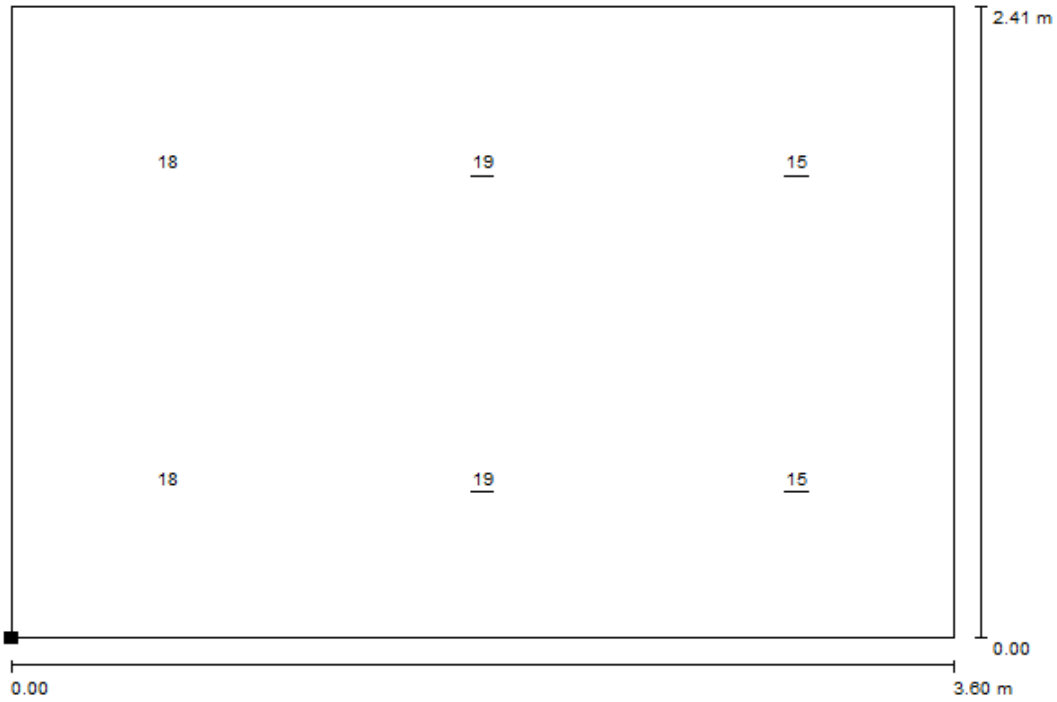


Trama: 32 x 32 Puntos

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
260	226	286	0.872	0.791

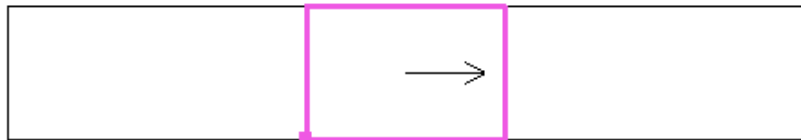


LED / Superficie de cálculo UGR 1 / Gráfico de valores (UGR)



Escala 1 : 26

Situación de la superficie en el local:
Punto marcado: (4.210 m, 0.000 m, 1.750 m)



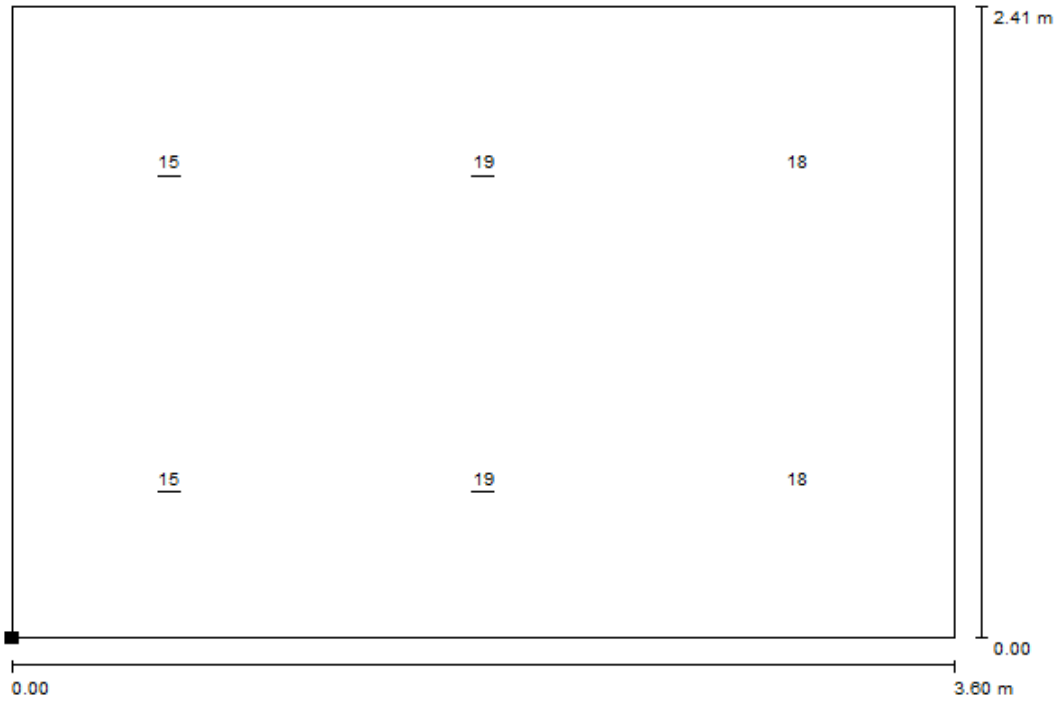
Trama: 3 x 2 Puntos

Min
15

Max
19



LED / Superficie de cálculo UGR 2 / Gráfico de valores (UGR)



Escala 1 : 26

Situación de la superficie en el local:
Punto marcado: (4.210 m, -0.005 m, 1.750 m)



Trama: 3 x 2 Puntos

Min
15

Max
19

LED / Resultados luminotécnicos

Flujo luminoso total: 17827 lm
 Potencia total: 212.0 W
 Factor mantenimiento: 0.80
 Zona marginal: 0.000 m

Superficie	Intensidades lumínicas medias [lx]			Grado de reflexión [%]	Densidad lumínica media [cd/m ²]
	directo	indirecto	total		
Plano útil	146	103	249	/	/
Superficie de cálculo	160	100	260	/	/
Suelo	144	100	245	40	31
Techo	0.00	107	107	70	24
Pared 1	94	110	203	50	32
Pared 2	71	97	168	90	48
Pared 3	64	61	126	70	28
Pared 4	74	100	174	90	50

Simetrías en el plano útil

E_{\min} / E_{\max} : 0.707 (1:1)

E_{\min} / E_{\max} : 0.608 (1:2)

Proporción de intensidad lumínica (según LG7): Paredes / Plano útil: 0.661, Techo / Plano útil: 0.432.

Valor de eficiencia energética: $6.10 \text{ W/m}^2 = 2.45 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Base: 34.75 m^2)

Pasillo con ventanas

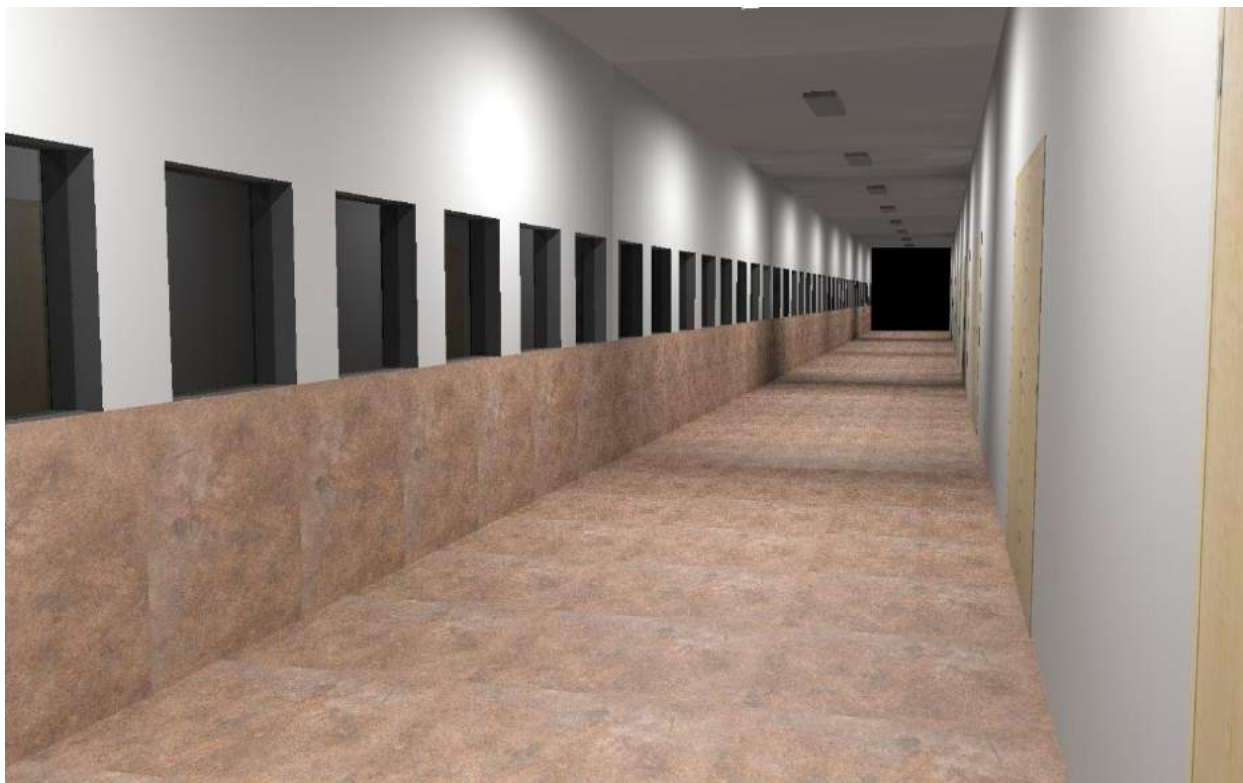
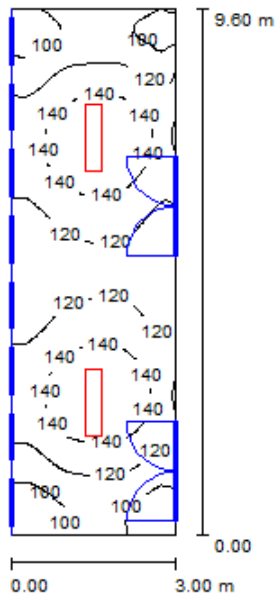


Figura 5.2.7 – Renderizado de un pasillo con ventanas

Se van a sustituir las luminarias Philips TBH318 2x36W por LG LED Flat light de 53W. En el ejemplo se simularán secciones de 2 luminarias.

Iluminación Fluorescentes

Fluorescentes / Resumen



Altura del local: 3.250 m, Altura de montaje: 3.350 m, Factor mantenimiento: 0.80

Valores en Lux, Escala 1:124

Superficie	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Plano útil	/	123	83	157	0.669
Suelo	40	123	76	157	0.616
Techo	70	40	33	48	0.815
Paredes (4)	75	50	1.95	108	/

Plano útil:

Altura: 0.000 m
 Trama: 64 x 32 Puntos
 Zona marginal: 0.000 m

Proporción de intensidad lumínica (según LG7): Paredes / Plano útil: 0.401, Techo / Plano útil: 0.328.

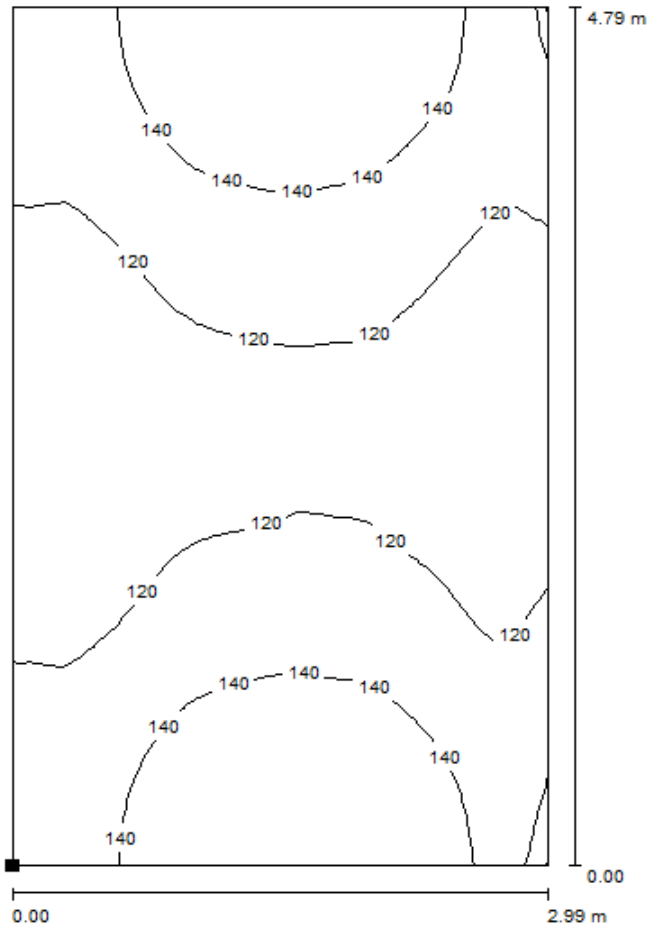
Lista de piezas - Luminarias

Nº	Pieza	Designación (Factor de corrección)	Φ [lm]	P [W]
1	2	Philips TBH318 2xTL-D36W HFE M5 (Tipo 1)* (1.000)	6700	72.0

*Especificaciones técnicas modificadas Total: 13400 144.0

Valor de eficiencia energética: $5.00 \text{ W/m}^2 = 4.05 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Base: 28.80 m^2)

Fluorescentes / Superficie de cálculo / Isolíneas (E, perpendicular)



Valores en Lux, Escala 1 : 38

Situación de la superficie en el local:
 Punto marcado: (0.010 m, 2.412 m, 0.000 m)

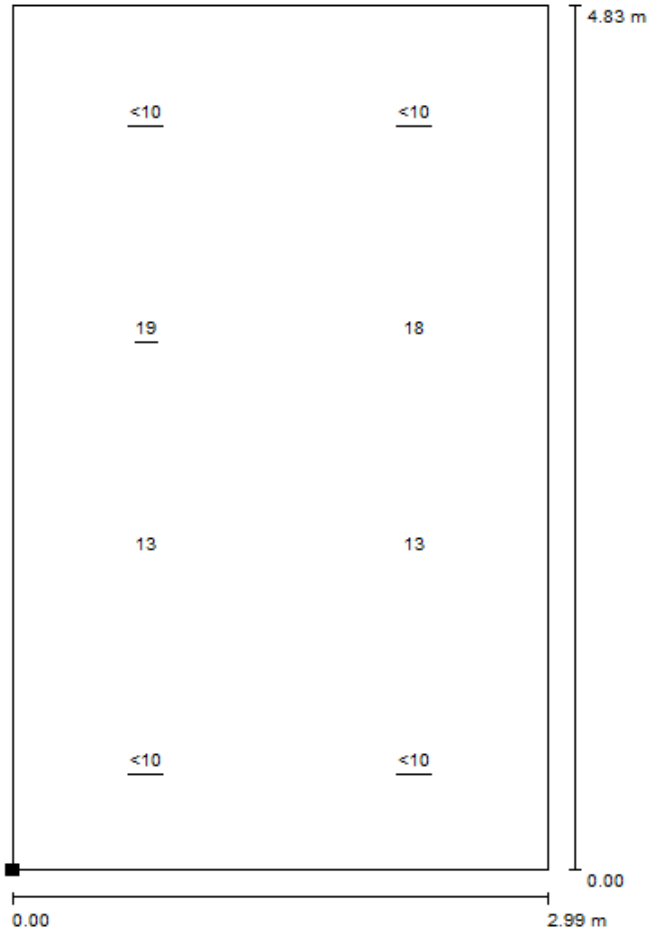


Trama: 32 x 32 Puntos

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
128	102	156	0.794	0.653



Fluorescentes / Superficie de cálculo UGR 1 / Gráfico de valores (UGR)



Escala 1 : 38

Situación de la superficie en el local:
Punto marcado: (0.010 m, 2.412 m, 1.750 m)



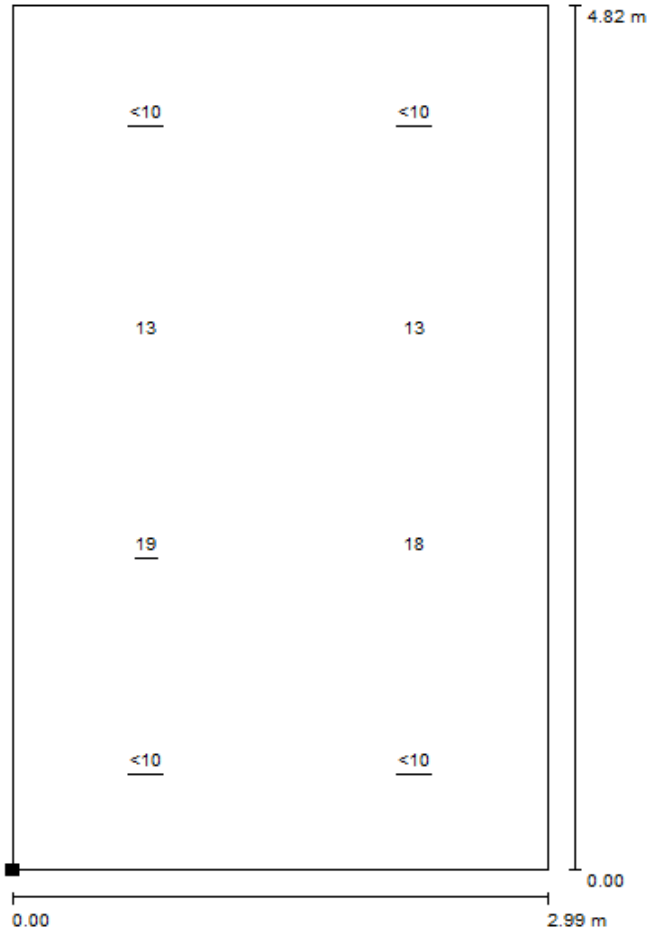
Trama: 2 x 4 Puntos

Min
/

Max
19



Fluorescentes / Superficie de cálculo UGR 2 / Gráfico de valores (UGR)



Escala 1 : 38

Situación de la superficie en el local:
 Punto marcado: (0.005 m, 2.413 m, 1.750 m)



Trama: 2 x 4 Puntos

Min
/

Max
19

Fluorescentes / Resultados luminotécnicos

Flujo luminoso total: 13400 lm
 Potencia total: 144.0 W
 Factor mantenimiento: 0.80
 Zona marginal: 0.000 m

Superficie	Intensidades lumínicas medias [lx]			Grado de reflexión [%]	Densidad lumínica media [cd/m ²]
	directo	indirecto	total		
Plano útil	84	40	123	/	/
Superficie de cálculo	91	37	128	/	/
Suelo	84	39	123	40	16
Techo	0.00	40	40	70	9.01
Pared 1	20	37	57	90	16
Pared 2	21	39	60	70	13
Pared 3	21	39	59	90	17
Pared 4	8.97	26	35	70	7.88

Simetrías en el plano útil

E_{\min} / E_m : 0.669 (1:1)

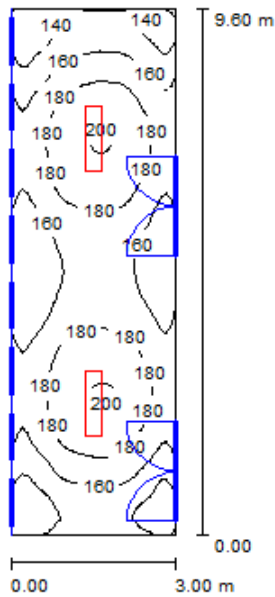
E_{\min} / E_{\max} : 0.526 (1:2)

Proporción de intensidad lumínica (según LG7): Paredes / Plano útil: 0.401, Techo / Plano útil: 0.328.

Valor de eficiencia energética: $5.00 \text{ W/m}^2 = 4.05 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Base: 28.80 m^2)

Iluminación LED

LED / Resumen



Altura del local: 3.250 m, Altura de montaje: 3.250 m, Factor mantenimiento: 0.80

Valores en Lux, Escala 1:124

Superficie	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Plano útil	/	166	116	202	0.697
Suelo	40	166	113	202	0.678
Techo	70	77	50	93	0.645
Paredes (4)	75	110	1.14	232	/

Plano útil:

Altura: 0.000 m
 Trama: 64 x 32 Puntos
 Zona marginal: 0.000 m

Proporción de intensidad lumínica (según LG7): Paredes / Plano útil: 0.652, Techo / Plano útil: 0.465.

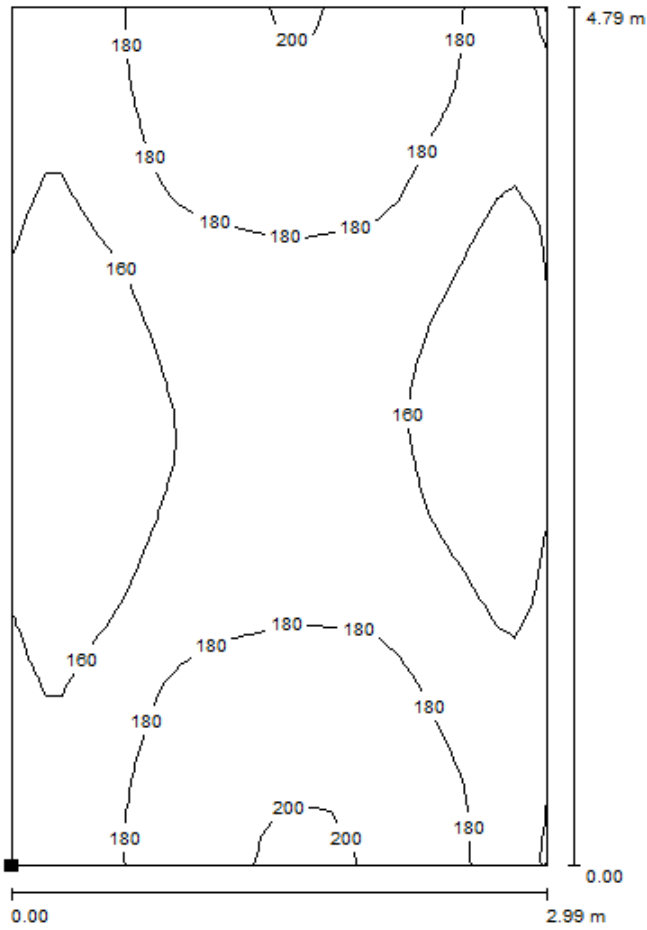
Lista de piezas - Luminarias

Nº	Pieza	Designación (Factor de corrección)	Φ [lm]	P [W]
1	2	(Tipo 1)* (1.000)	4457	53.0

*Especificaciones técnicas modificadas Total: 8914 106.0

Valor de eficiencia energética: $3.68 \text{ W/m}^2 = 2.21 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Base: 28.80 m^2)

LED / Superficie de cálculo / Isolíneas (E, perpendicular)



Valores en Lux, Escala 1 : 38

Situación de la superficie en el local:
 Punto marcado: (0.010 m, 2.412 m, 0.000 m)

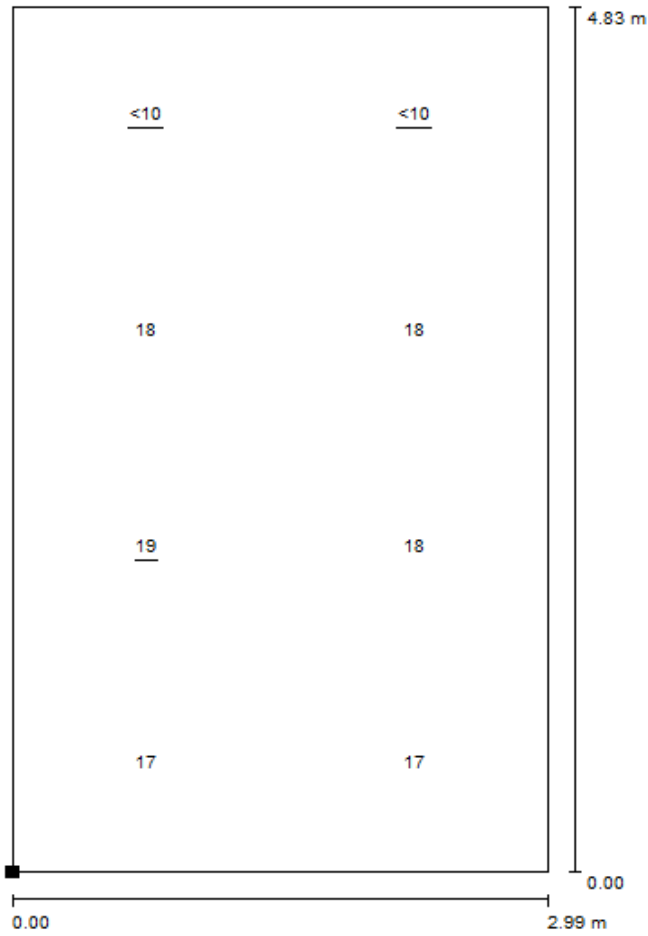


Trama: 32 x 32 Puntos

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
172	141	202	0.822	0.699



LED / Superficie de cálculo UGR 1 / Gráfico de valores (UGR)



Escala 1 : 38

Situación de la superficie en el local:
 Punto marcado: (0.010 m, 2.412 m, 1.750 m)



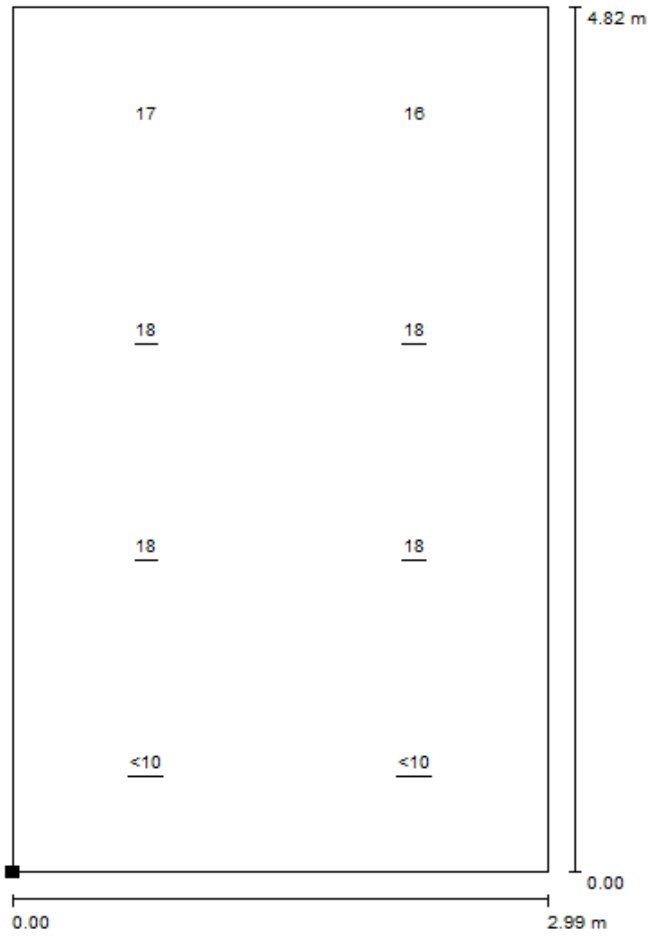
Trama: 2 x 4 Puntos

Min
/

Max
19



LED / Superficie de cálculo UGR 2 / Gráfico de valores (UGR)



Escala 1 : 38

Situación de la superficie en el local:
Punto marcado: (0.005 m, 2.413 m, 1.750 m)



Trama: 2 x 4 Puntos

Min
/

Max
18



LED / Resultados luminotécnicos

Flujo luminoso total: 8914 lm
 Potencia total: 106.0 W
 Factor mantenimiento: 0.80
 Zona marginal: 0.000 m

Superficie	Intensidades lumínicas medias [lx]			Grado de reflexión [%]	Densidad lumínica media [cd/m ²]
	directo	indirecto	total		
Plano útil	93	74	166	/	/
Superficie de cálculo	101	70	172	/	/
Suelo	93	73	166	40	21
Techo	0.00	77	77	70	17
Pared 1	43	69	112	90	32
Pared 2	58	71	130	70	29
Pared 3	42	71	113	90	32
Pared 4	40	49	89	70	20

Simetrías en el plano útil

E_{\min} / E_{\max} : 0.697 (1:1)

E_{\min} / E_{\max} : 0.573 (1:2)

Proporción de intensidad lumínica (según LG7): Paredes / Plano útil: 0.652, Techo / Plano útil: 0.464.

Valor de eficiencia energética: $3.68 \text{ W/m}^2 = 2.21 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Base: 28.80 m^2)

Baño

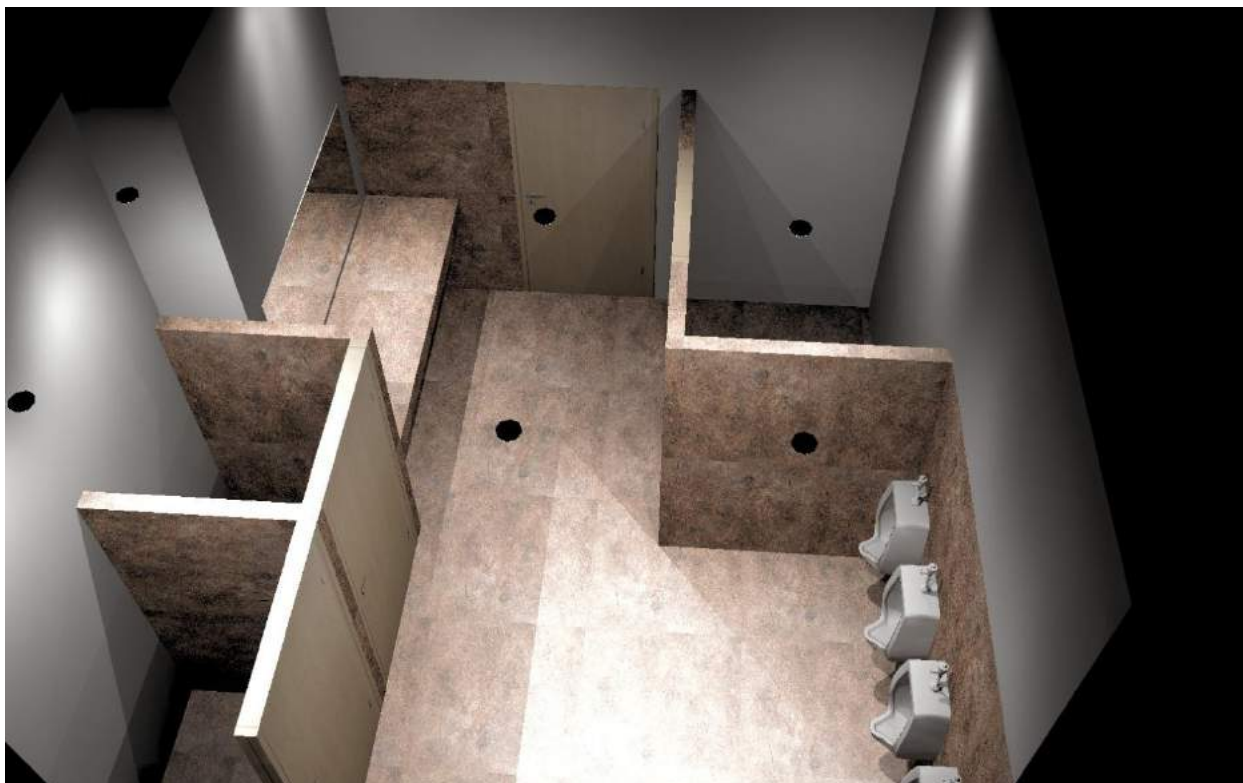
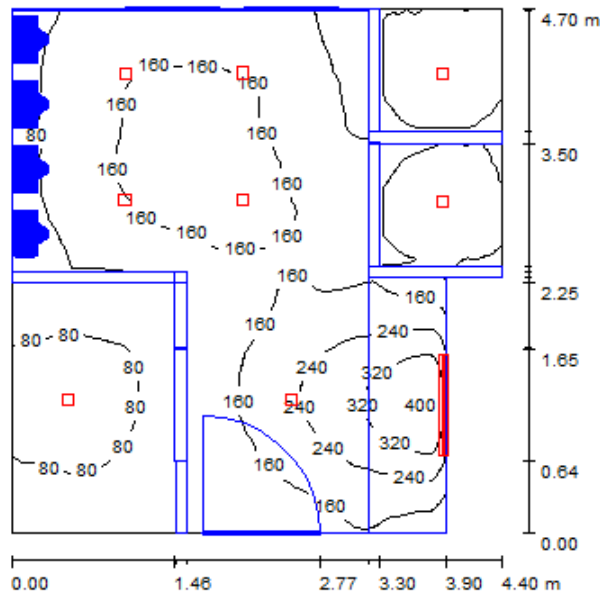


Figura 5.2.8 – Renderizado de cuarto de baño

Se sustituirán los 8 Downlights incandescentes de 40W por LG LED PAR30 Beam 36 de 12W, y el fluorescente de 36W por 2 spots LG LED MR16 Beam 36.

Iluminación convencional (incandescentes + fluorescente)

Incandesc. 40W + fluo / Resumen



Altura del local: 3.500 m, Factor mantenimiento: 0.80

Valores en Lux, Escala 1:61

Superficie	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Plano útil	/	134	23	410	0.171
Suelo	40	77	13	148	0.173
Techo	70	56	40	96	0.714
Paredes (6)	70	47	0.28	1438	/

Plano útil:

Altura: 1.000 m
 Trama: 128 x 128 Puntos
 Zona marginal: 0.000 m

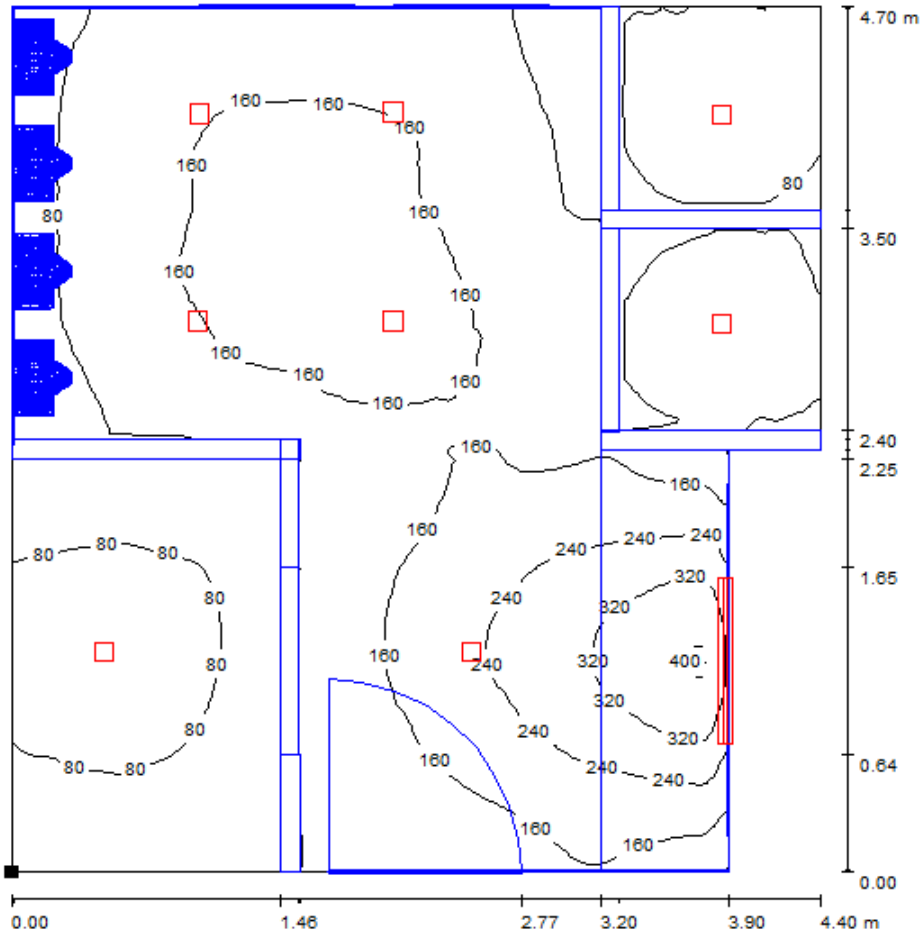
Proporción de intensidad lumínica (según LG7): Paredes / Plano útil: 0.456, Techo / Plano útil: 0.413.

Lista de piezas - Luminarias

Nº	Pieza	Designación (Factor de corrección)	Φ [lm]	P [W]
1	8	INDAL Z2052901 3300 (1.000)	397	40.0
2	1	INDAL Z7102202sM2 400139EL (1.000)	3100	39.0
Total:			6276	359.0

Valor de eficiencia energética: $18.38 \text{ W/m}^2 = 13.68 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Base: 19.53 m^2)

Incandesc. 40W + fluo / Plano útil / Isolíneas (E)



Valores en Lux, Escala 1 : 37

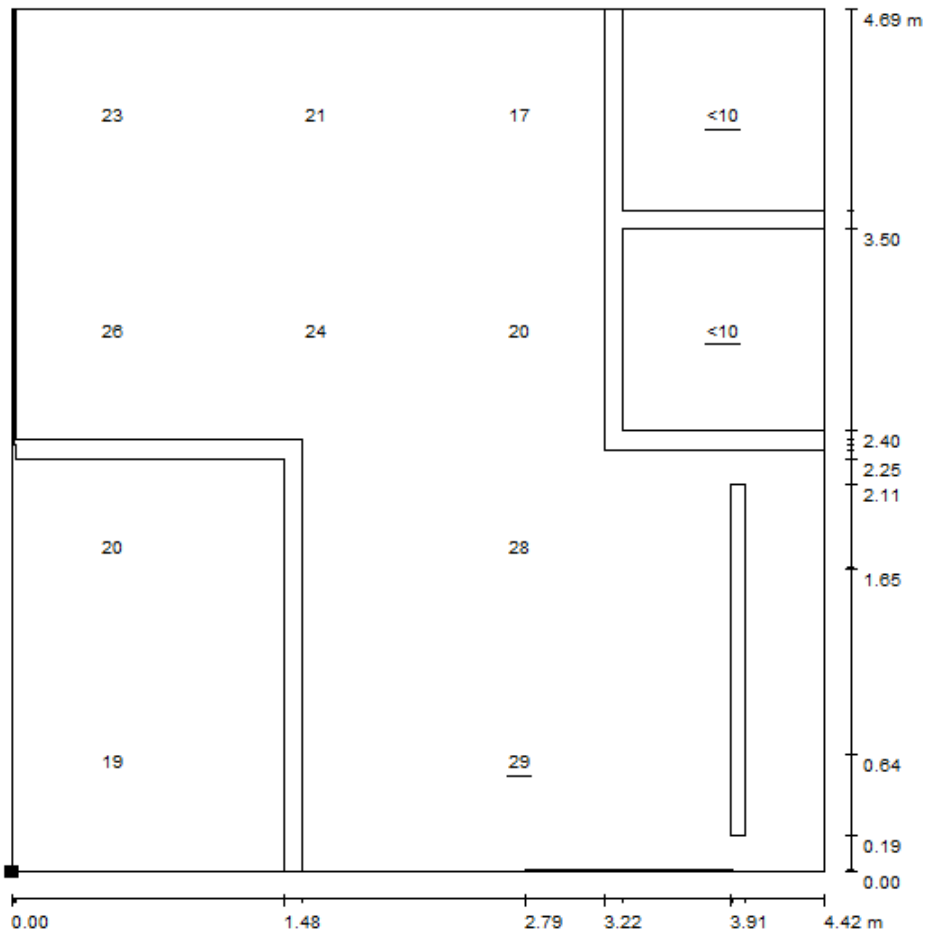
Situación de la superficie en el local:
 Punto marcado: (0.000 m, 0.000 m, 1.000 m)



Trama: 128 x 128 Puntos

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
134	23	410	0.171	0.056

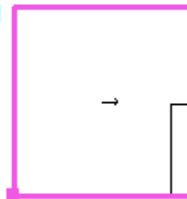
Incandesc. 40W + fluo / Superficie de cálculo UGR 1 / Gráfico de valores (UGR)



Escala 1 : 37

No pudieron representarse todos los valores calculados.

Situación de la superficie en el local:
 Punto marcado: (-0.018 m, 0.000 m, 1.650 m)



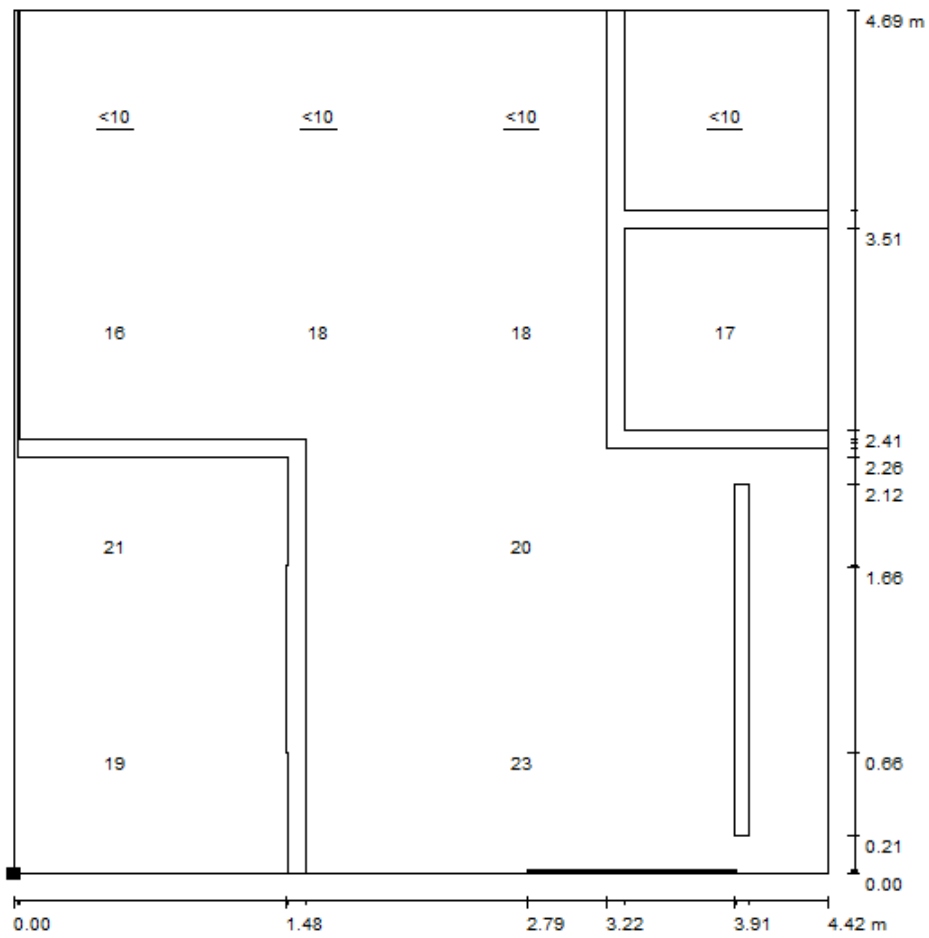
Trama: 4 x 4 Puntos

Min
/

Max
29



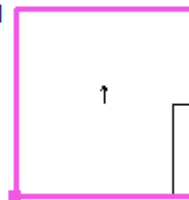
Incandesc. 40W + fluo / Superficie de cálculo UGR 2 / Gráfico de valores (UGR)



Escala 1 : 37

No pudieron representarse todos los valores calculados.

Situación de la superficie en el local:
 Punto marcado: (-0.022 m, -0.011 m, 1.650 m)

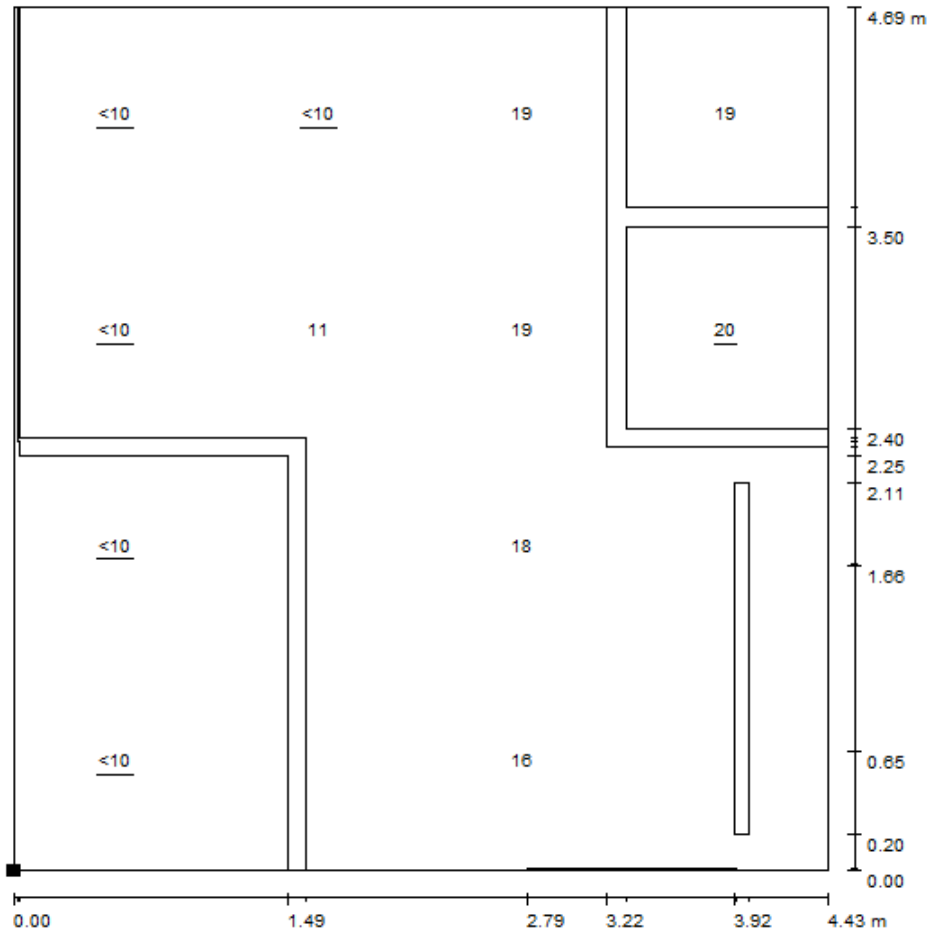


Trama: 4 x 4 Puntos

Min
/

Max
24

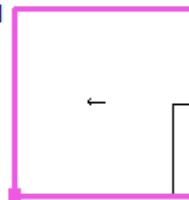
Incandesc. 40W + fluo / Superficie de cálculo UGR 3 / Gráfico de valores (UGR)



Escala 1 : 37

No pudieron representarse todos los valores calculados.

Situación de la superficie en el local:
 Punto marcado: (-0.025 m, -0.005 m, 1.650 m)



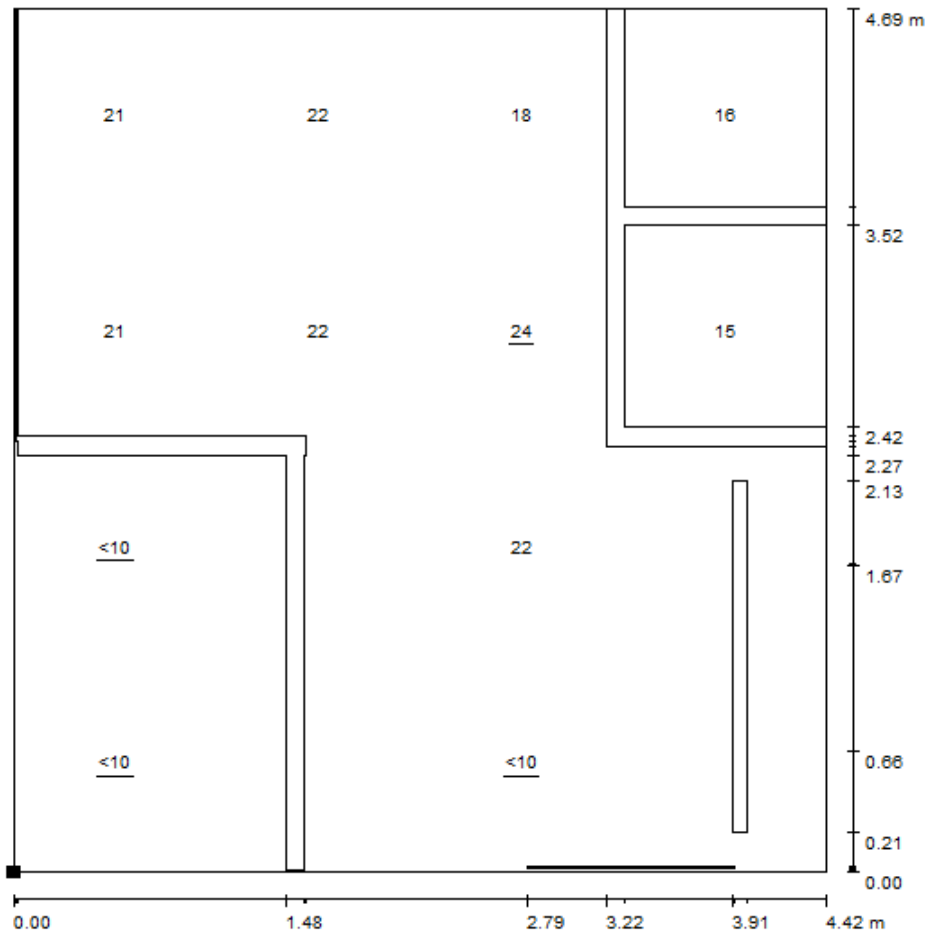
Trama: 4 x 4 Puntos

Min
/

Max
20



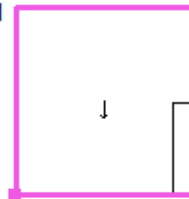
Incandesc. 40W + fluo / Superficie de cálculo UGR 4 / Gráfico de valores (UGR)



Escala 1 : 37

No pudieron representarse todos los valores calculados.

Situación de la superficie en el local:
 Punto marcado: (-0.018 m, -0.020 m, 1.650 m)



Trama: 4 x 4 Puntos

Min
/

Max
24



Incandesc. 40W + fluo / Resultados luminotécnicos

Flujo luminoso total: 6276 lm
 Potencia total: 359.0 W
 Factor mantenimiento: 0.80
 Zona marginal: 0.000 m

Superficie	Intensidades lumínicas medias [lx]			Grado de reflexión [%]	Densidad lumínica media [cd/m²]
	directo	indirecto	total		
Plano útil	93	41	134	/	/
Superficie de cálculo 1	55	31	86	/	/
Suelo	49	28	77	40	9.84
Techo	10	45	56	70	12
Pared 1	19	32	51	70	11
Pared 2	14	29	43	70	9.58
Pared 3	12	19	31	70	6.86
Pared 4	25	29	54	70	12
Pared 5	22	25	48	70	11
Pared 6	20	24	44	70	9.90

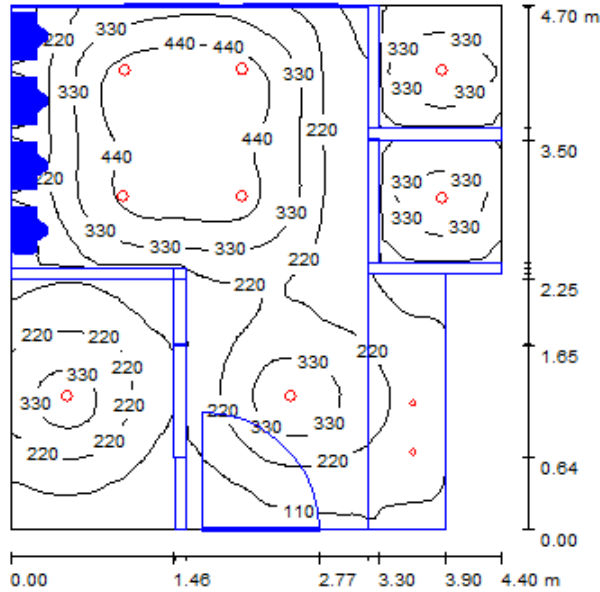
Simetrías en el plano útil
 E_{min} / E_m : 0.171 (1:6)
 E_{min} / E_{max} : 0.056 (1:18)

Proporción de intensidad lumínica (según LG7): Paredes / Plano útil: 0.456, Techo / Plano útil: 0.413.

Valor de eficiencia energética: $18.38 \text{ W/m}^2 = 13.68 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Base: 19.53 m^2)

Iluminación LED

LED PAR30 36+2MR16 36 / Resumen



Altura del local: 3.500 m, Altura de montaje: 3.500 m, Factor mantenimiento: 0.80

Valores en Lux, Escala 1:61

Superficie	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Plano útil	/	257	24	528	0.094
Suelo	40	192	15	438	0.081
Techo	70	53	32	68	0.611
Paredes (6)	70	53	0.20	165	/

Plano útil:

Altura: 1.000 m
 Trama: 128 x 128 Puntos
 Zona marginal: 0.000 m

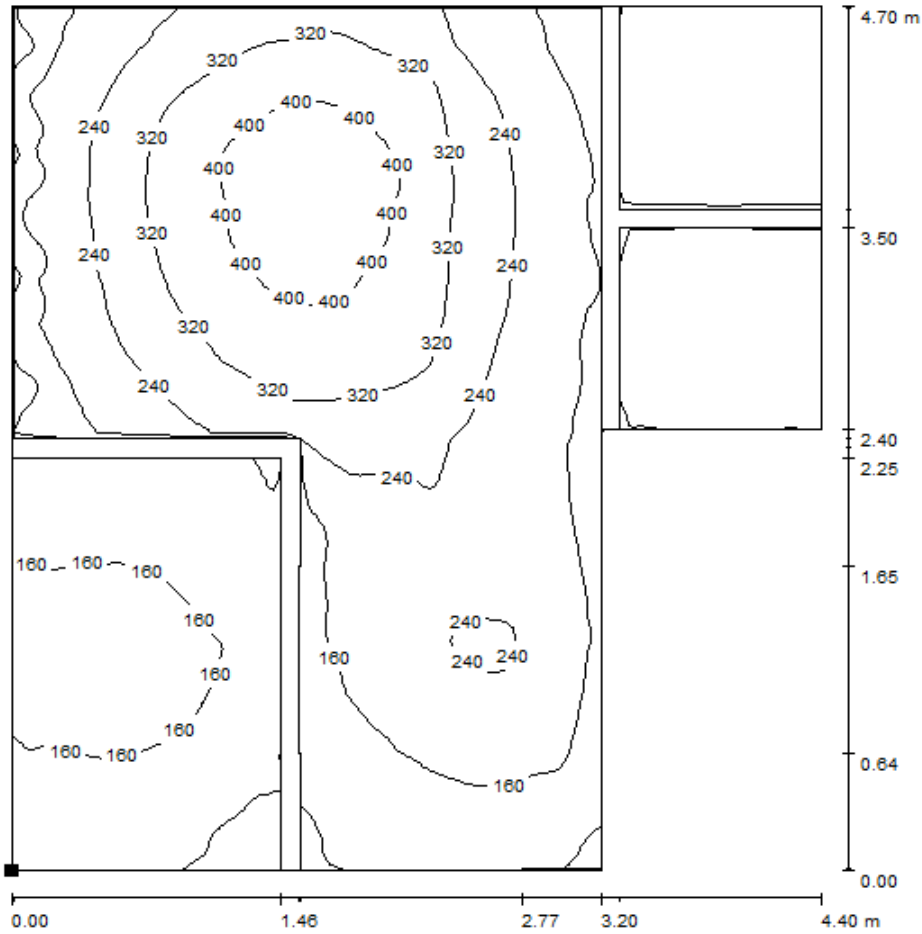
Proporción de intensidad lumínica (según LG7): Paredes / Plano útil: 0.235, Techo / Plano útil: 0.204.

Lista de piezas - Luminarias

Nº	Pieza	Designación (Factor de corrección)	Φ [lm]	P [W]
1	8	(1.000)	867	11.5
2	2	(1.000)	251	4.1
			Total: 7438	100.2

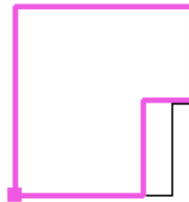
Valor de eficiencia energética: $5.13 \text{ W/m}^2 = 2.00 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Base: 19.53 m^2)

LED PAR30 36+2MR16 36 / Superficie de cálculo 1 / Isolíneas (E, perpendicular)



Valores en Lux, Escala 1 : 37

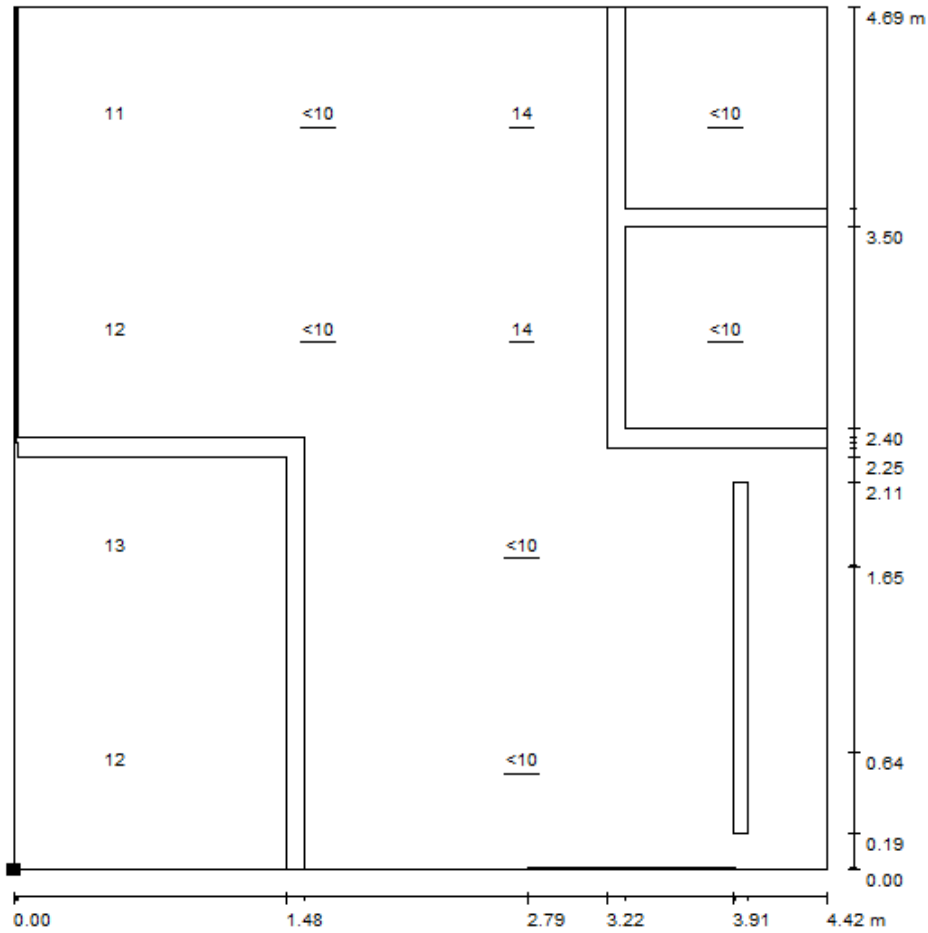
Situación de la superficie en el local:
 Punto marcado: (0.000 m, 0.000 m,
 0.000 m)



Trama: 128 x 128 Puntos

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
216	49	438	0.225	0.111

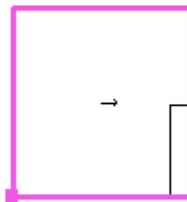
LED PAR30 36+2MR16 36 / Superficie de cálculo UGR 1 / Gráfico de valores (UGR)



Escala 1 : 37

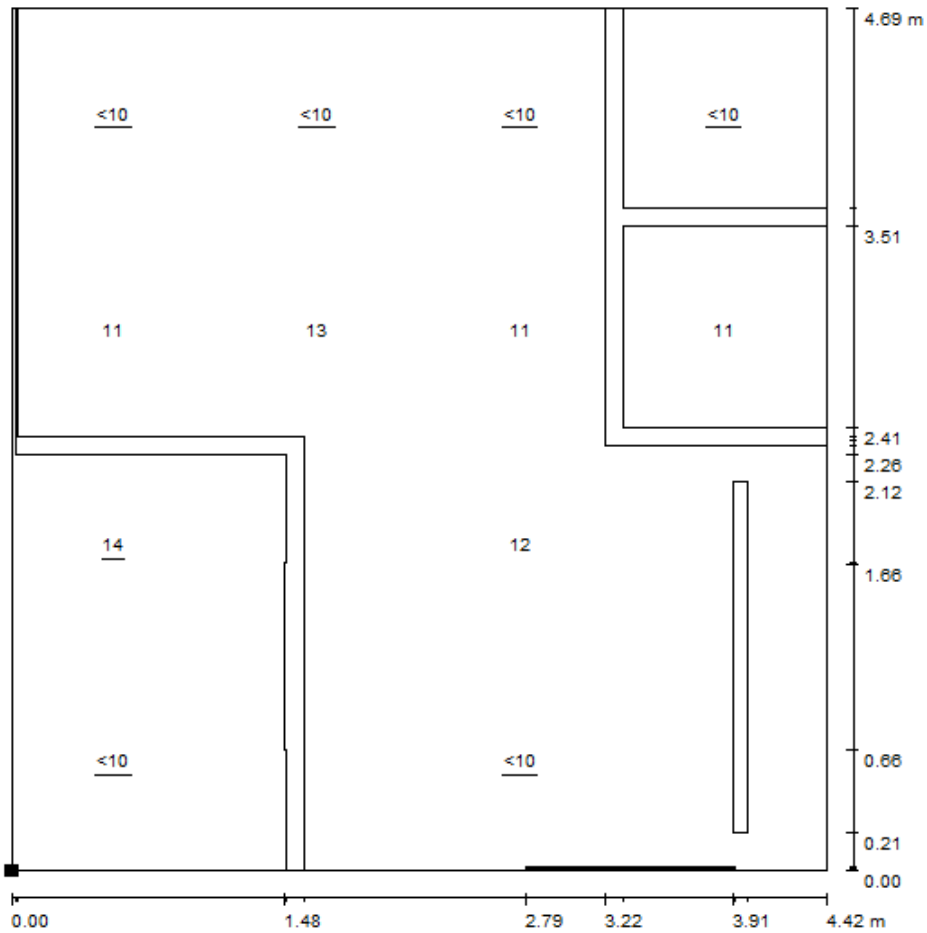
No pudieron representarse todos los valores calculados.

Situación de la superficie en el local:
 Punto marcado: (-0.018 m, 0.000 m, 1.650 m)



Trama: 4 x 4 Puntos

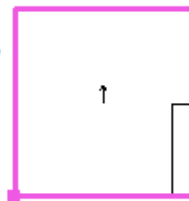
LED PAR30 36+2MR16 36 / Superficie de cálculo UGR 2 / Gráfico de valores (UGR)



Escala 1 : 37

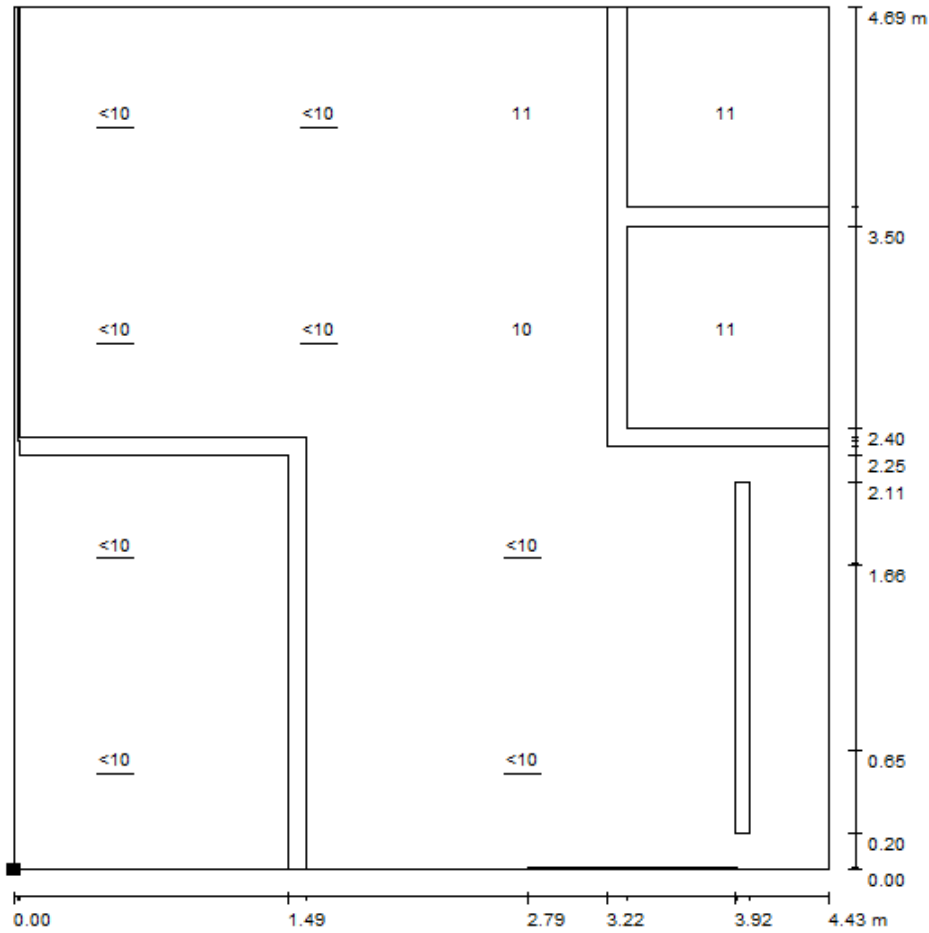
No pudieron representarse todos los valores calculados.

Situación de la superficie en el local:
 Punto marcado: (-0.022 m, -0.011 m, 1.650 m)



Trama: 4 x 4 Puntos

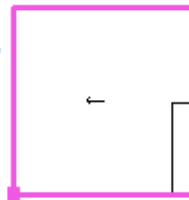
LED PAR30 36+2MR16 36 / Superficie de cálculo UGR 3 / Gráfico de valores (UGR)



Escala 1 : 37

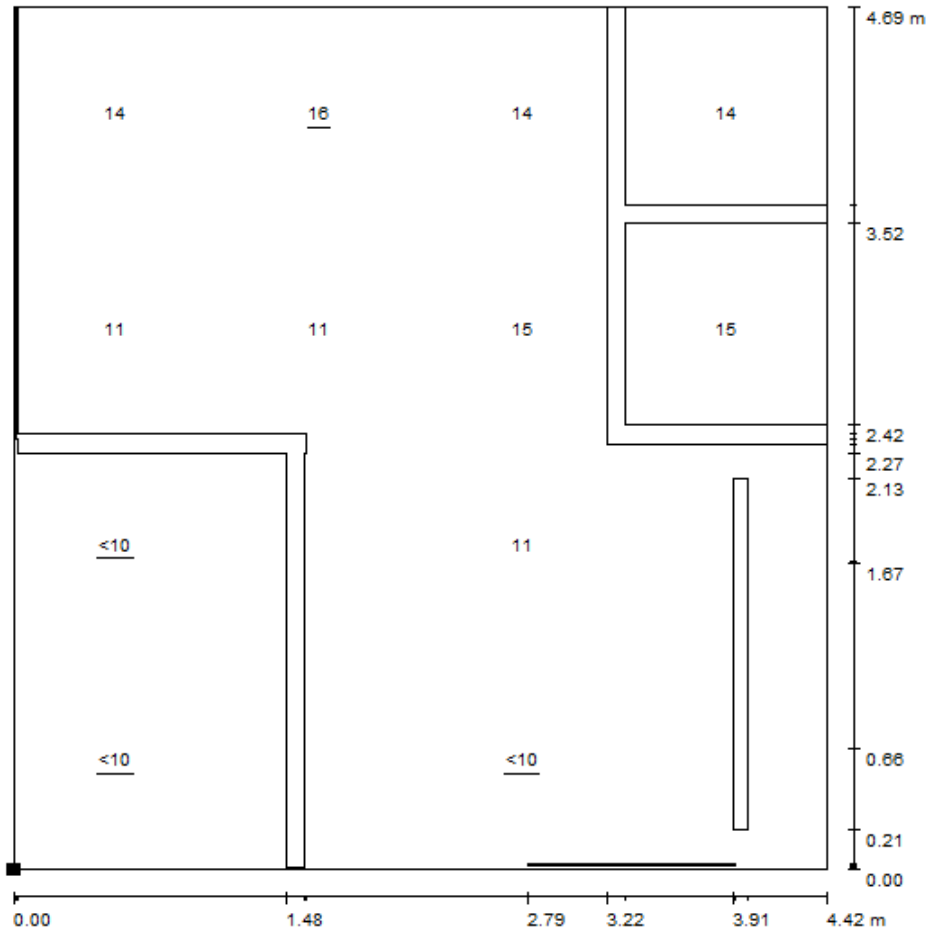
No pudieron representarse todos los valores calculados.

Situación de la superficie en el local:
 Punto marcado: (-0.025 m, -0.005 m, 1.650 m)



Trama: 4 x 4 Puntos

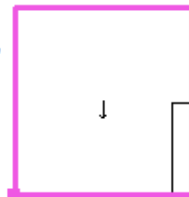
LED PAR30 36+2MR16 36 / Superficie de cálculo UGR 4 / Gráfico de valores (UGR)



Escala 1 : 37

No pudieron representarse todos los valores calculados.

Situación de la superficie en el local:
 Punto marcado: (-0.018 m, -0.020 m, 1.650 m)



Trama: 4 x 4 Puntos



LED PAR30 36+2MR16 36 / Resultados luminotécnicos

Flujo luminoso total: 7438 lm
 Potencia total: 100.2 W
 Factor mantenimiento: 0.80
 Zona marginal: 0.000 m

Superficie	Intensidades lumínicas medias [lx]			Grado de reflexión [%]	Densidad lumínica media [cd/m²]
	directo	indirecto	total		
Plano útil	217	40	257	/	/
Superficie de cálculo 1	176	40	216	/	/
Suelo	157	35	192	40	24
Techo	0.00	53	53	70	12
Pared 1	7.54	32	40	70	8.81
Pared 2	17	26	42	70	9.44
Pared 3	7.87	25	33	70	7.28
Pared 4	37	52	89	70	20
Pared 5	26	36	62	70	14
Pared 6	15	28	43	70	9.65

Simetrías en el plano útil

E_{min} / E_m : 0.094 (1:11)

E_{min} / E_{max} : 0.046 (1:22)

Proporción de intensidad lumínica (según LG7): Paredes / Plano útil: 0.235, Techo / Plano útil: 0.204.

Valor de eficiencia energética: $5.13 \text{ W/m}^2 = 2.00 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Base: 19.53 m^2)

Salón de grados

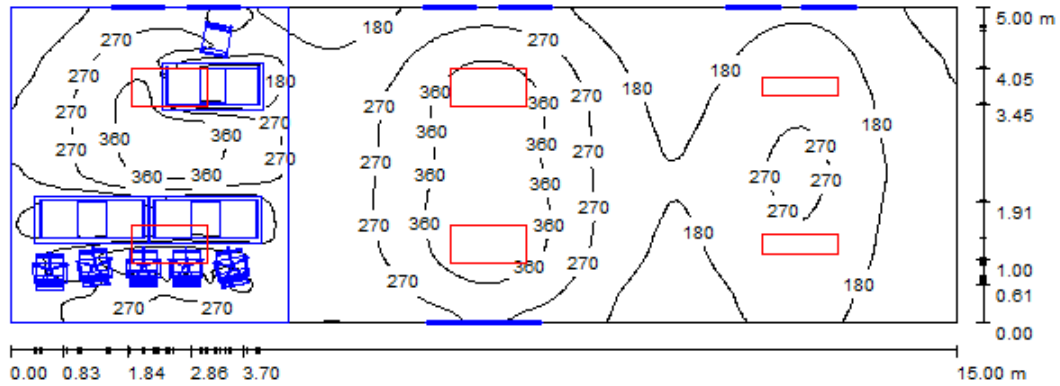


Figura 5.2.9 – Renderizado del aula de grados 1.2.C.16

Se van a sustituir 4 luminarias Philips TBH318 3x36W y 2 luminarias Philips TBH318 2x36W por LG LED Flat light de 53W.

Iluminación Fluorescentes

Fluorescentes / Resumen



Altura del local: 3.250 m, Factor mantenimiento: 0.80

Valores en Lux, Escala 1:108

Superficie	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Plano útil	/	236	27	429	0.116
Suelo	44	151	1.96	320	0.013
Techo	70	72	35	112	0.493
Paredes (4)	45	104	17	278	/

Plano útil:

Altura: 0.850 m
 Trama: 128 x 128 Puntos
 Zona marginal: 0.000 m

Proporción de intensidad lumínica (según LG7): Paredes / Plano útil: 0.423, Techo / Plano útil: 0.305.

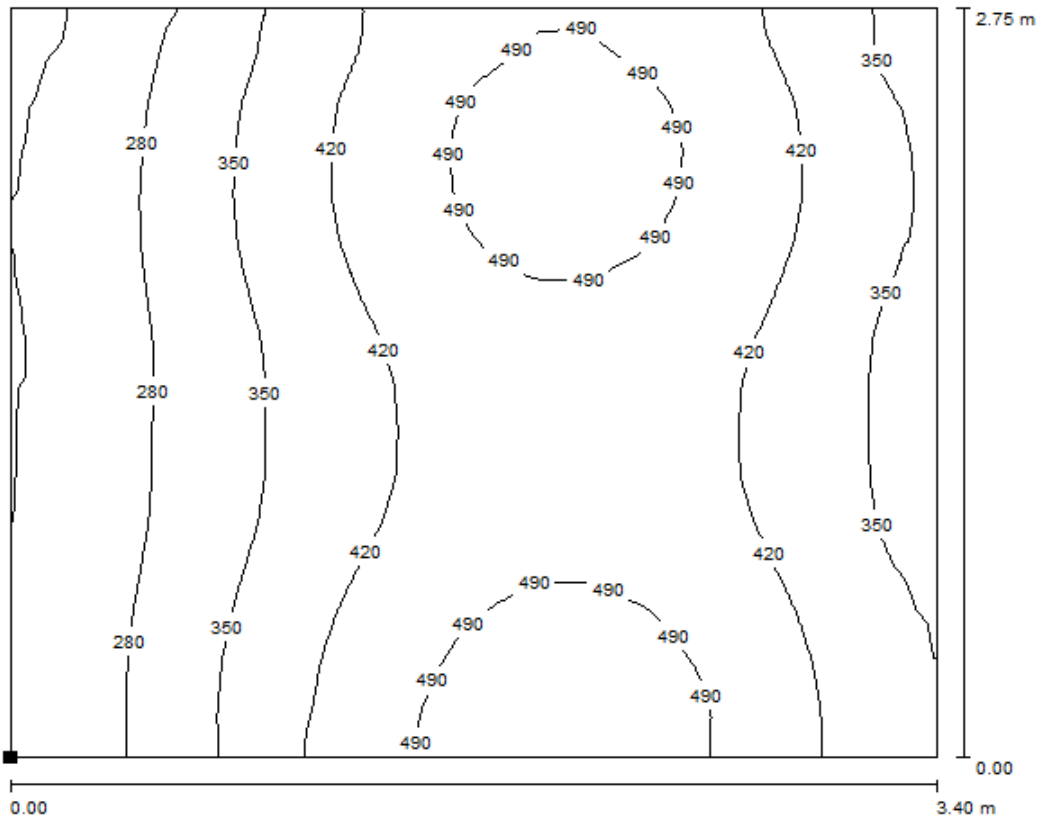
Lista de piezas - Luminarias

Nº	Pieza	Designación (Factor de corrección)	Φ [lm]	P [W]
1	2	Philips TBH318 2xTL-D36W HFE M5 (Tipo 1)* (1.000)	6700	72.0
2	4	Philips TBH318 3x36W M5 (Tipo 1)* (1.000)	10050	108.0

*Especificaciones técnicas modificadas Total: 53600 576.0

Valor de eficiencia energética: $7.68 \text{ W/m}^2 = 3.26 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Base: 75.00 m^2)

Fluorescentes / superficie de trabajo 1 / Área de tarea 1 / Isolíneas (E)



Valores en Lux, Escala 1 : 25

Situación de la superficie en el local:
 Punto marcado: (0.500 m, 1.356 m, 1.210 m)

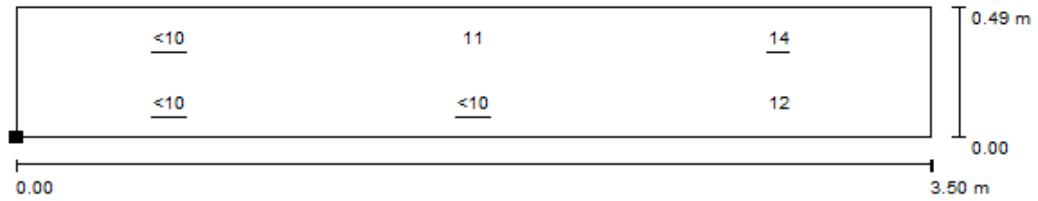


Trama: 128 x 128 Puntos

	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
Área de tarea 1	393	194	536	0.492	0.361
Área de circundante	274	96	536	0.351	0.179

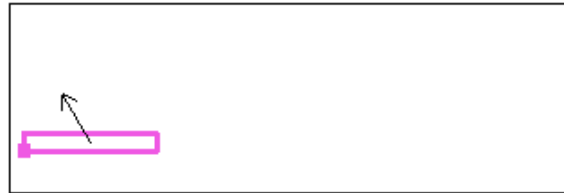


Fluorescentes / Superficie de cálculo UGR 1 / Gráfico de valores (UGR)



Escala 1 : 26

Situación de la superficie en el local:
Punto marcado: (0.400 m, 1.100 m, 1.502 m)



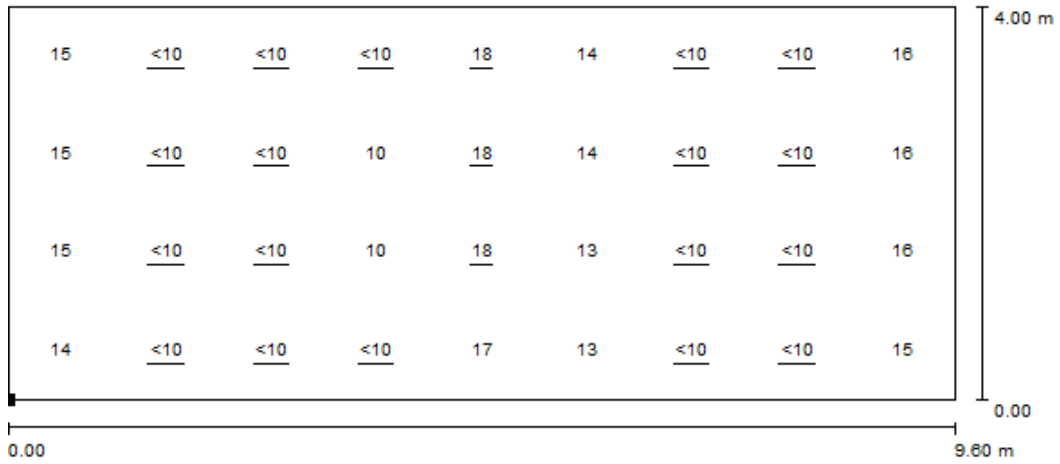
Trama: 3 x 2 Puntos

Min
<10

Max
14

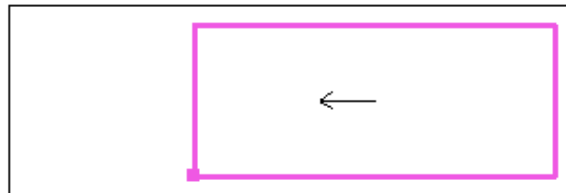


Fluorescentes / Superficie de cálculo UGR 2 / Gráfico de valores (UGR)



Escala 1 : 69

Situación de la superficie en el ocal:
 Punto marcado: (4.900 m, 1.500 m, 1.200 m)



Trama: 9 x 4 Puntos

Min
<10

Max
18



Fluorescentes / Resultados luminotécnicos

Flujo luminoso total: 53600 lm
 Potencia total: 576.0 W
 Factor mantenimiento: 0.80
 Zona marginal: 0.000 m

Superficie	Intensidades lumínicas medias [lx]			Grado de reflexión [%]	Densidad lumínica media [cd/m ²]
	directo	indirecto	total		
Plano útil	190	46	236	/	/
Suelo	117	34	151	44	21
Techo	0.00	72	72	70	16
Pared 1	50	55	105	70	23
Pared 2	25	48	73	70	16
Pared 3	50	68	118	3	1.13
Pared 4	34	60	93	70	21

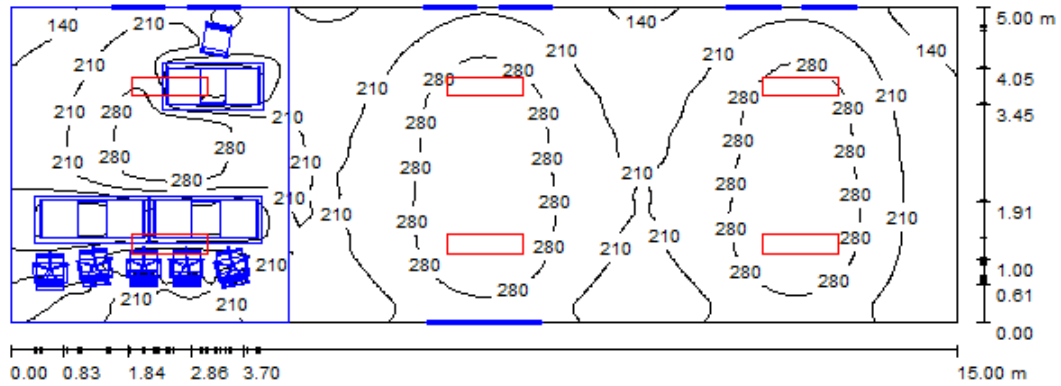
Simetrías en el plano útil
 E_{\min} / E_{\max} : 0.116 (1:9)
 E_{\min} / E_{\max} : 0.064 (1:16)

Proporción de intensidad lumínica (según LG7): Paredes / Plano útil: 0.423, Techo / Plano útil: 0.305.

Valor de eficiencia energética: $7.68 \text{ W/m}^2 = 3.26 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Base: 75.00 m²)

Iluminación LED

LED / Resumen



Altura del local: 3.250 m, Altura de montaje: 3.250 m, Factor mantenimiento: 0.80

Valores en Lux, Escala 1:108

Superficie	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Plano útil	/	225	31	347	0.139
Suelo	44	146	1.38	267	0.009
Techo	70	78	47	109	0.599
Paredes (4)	45	139	15	313	/

Plano útil:

Altura: 0.850 m
 Trama: 128 x 128 Puntos
 Zona marginal: 0.000 m

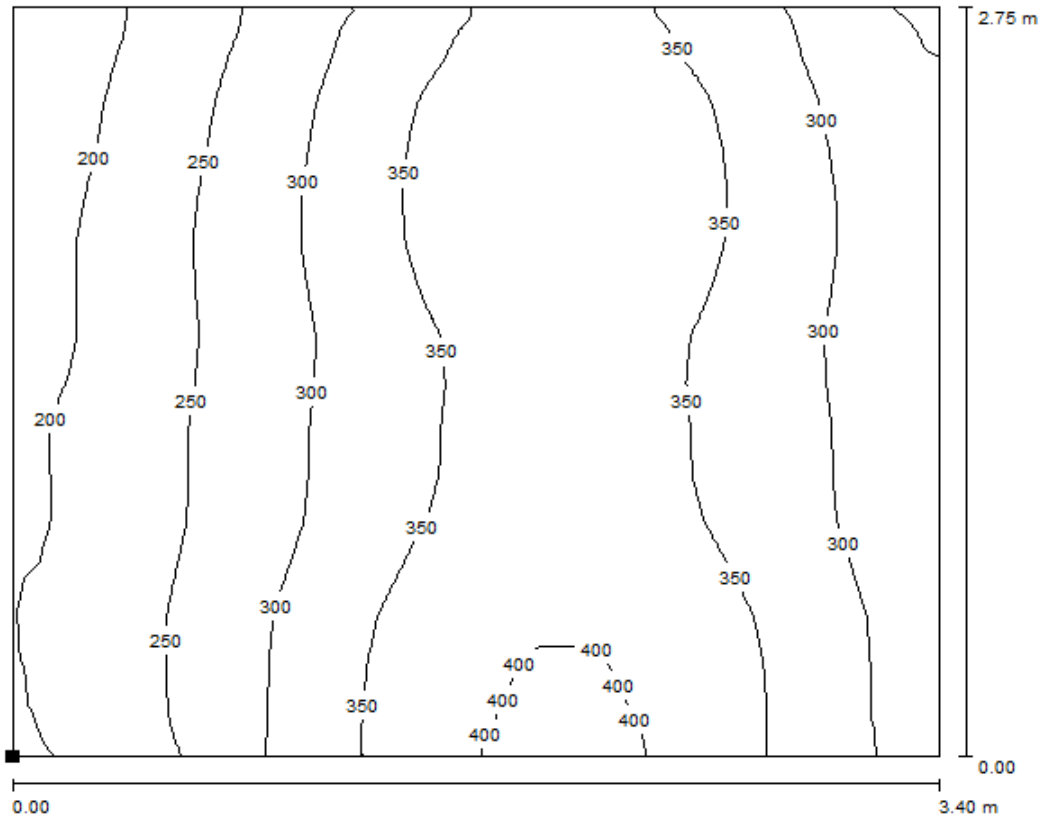
Proporción de intensidad lumínica (según LG7): Paredes / Plano útil: 0.635, Techo / Plano útil: 0.346.

Lista de piezas - Luminarias

Nº	Pieza	Designación (Factor de corrección)	Φ [lm]	P [W]
1	6	(1.000)	4457	54.8
			Total: 26741	328.6

Valor de eficiencia energética: $4.38 \text{ W/m}^2 = 1.95 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Base: 75.00 m^2)

LED / superficie de trabajo 1 / Área de tarea 1 / Isolíneas (E)



Valores en Lux, Escala 1 : 25

Situación de la superficie en el local:
 Punto marcado: (0.500 m, 1.356 m, 1.210 m)

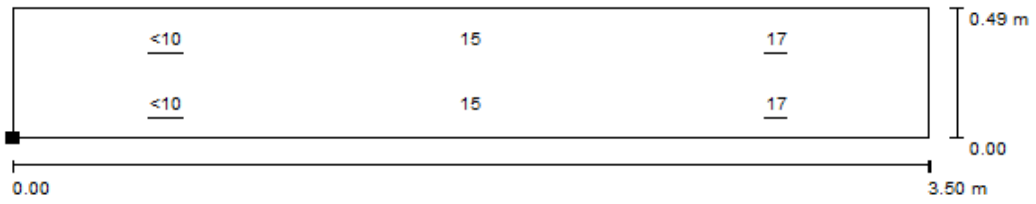


Trama: 128 x 128 Puntos

	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
Área de tarea 1	308	169	410	0.548	0.412
Área de circundante	267	135	414	0.505	0.325

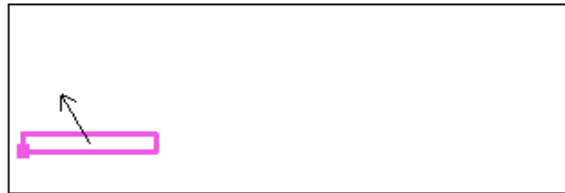


LED / Superficie de cálculo UGR 1 / Gráfico de valores (UGR)



Escala 1 : 26

Situación de la superficie en el local:
Punto marcado: (0.400 m, 1.100 m, 1.496 m)



Trama: 3 x 2 Puntos

Min
<math><10</math>

Max
17

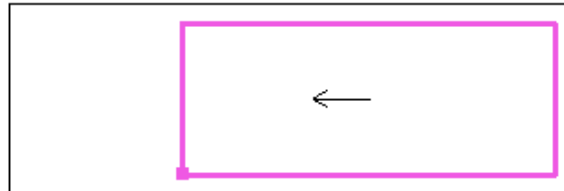


LED / Superficie de cálculo UGR 2 / Gráfico de valores (UGR)



Escala 1 : 71

Situación de la superficie en el local:
 Punto marcado: (4.600 m, 0.500 m, 1.200 m)



Trama: 9 x 3 Puntos

Min
16

Max
20



LED / Resultados luminotécnicos

Flujo luminoso total: 26741 lm
 Potencia total: 328.6 W
 Factor mantenimiento: 0.80
 Zona marginal: 0.000 m

Superficie	Intensidades lumínicas medias [lx]			Grado de reflexión [%]	Densidad lumínica media [cd/m ²]
	directo	indirecto	total		
Plano útil	169	56	225	/	/
Suelo	105	41	146	44	20
Techo	0.01	78	78	70	17
Pared 1	81	60	141	70	31
Pared 2	60	65	125	70	28
Pared 3	76	74	150	3	1.43
Pared 4	53	57	111	70	25

Simetrías en el plano útil

E_{min} / E_m : 0.139 (1:7)

E_{min} / E_{max} : 0.090 (1:11)

Proporción de intensidad lumínica (según LG7): Paredes / Plano útil: 0.635, Techo / Plano útil: 0.346.

Valor de eficiencia energética: $4.38 \text{ W/m}^2 = 1.95 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Base: 75.00 m²)



Resumen comparativo de valores de iluminación obtenidos con DIALux

Despacho H24

	Nivel iluminancia (lx)	VEEI (W/m ² /100 lx)	Uniformidad
Convencional	331	3,93	0,504
LED	305	2,82	0,738

Despacho H23

	Nivel iluminancia (lx)	VEEI (W/m ² /100 lx)	Uniformidad
Convencional	360	4,59	0,827
LED	377	2,92	0,752

Aula F01

	Nivel iluminancia (lx)	VEEI (W/m ² /100 lx)	Uniformidad
Convencional	585	2,71	0,75
LED	450	1,66	0,81

Aula F03

	Nivel iluminancia (lx)	VEEI (W/m ² /100 lx)	Uniformidad
Convencional	542	2,52	0,821
LED	462	1,51	0,805

Aula G02

	Nivel iluminancia (lx)	VEEI (W/m ² /100 lx)	Uniformidad
Convencional	526	2,62	0,694
LED	458	1,49	0,752



Pasillo interior

	Nivel iluminancia (lx)	VEEI (W/m ² /100 lx)	Uniformidad
Convencional	195	4,43	0,895
LED	260	2,45	0,872

Pasillo con ventanas

	Nivel iluminancia (lx)	VEEI (W/m ² /100 lx)	Uniformidad
Convencional	128	4,05	0,794
LED	172	2,21	0,822

Baños

	Nivel iluminancia (lx)	VEEI (W/m ² /100 lx)	Uniformidad
Convencional	134	13,68	---
LED	216	2,00	---

No podemos usar la uniformidad que nos da el programa, porque las paredes que hemos creado en el local las usa como medida. La uniformidad aproximada de la iluminación convencional es de 0,55; mientras que en la iluminación LED es de 0,64.

Salón de grados

	Nivel iluminancia (lx)	VEEI (W/m ² /100 lx)	Uniformidad
Convencional	393	3,26	0,492
LED	308	1,95	0,548



5.2 Estudio económico por espacio unitario

Una de las ventajas de la iluminación por LED es la facilidad y versatilidad para controlar el flujo luminoso de la lámpara. El programa Dialux dispone de un apartado que posibilita el cálculo aproximado de consumo. Para ello tiene en cuenta el tipo de local, su actividad, tipo de accionadores, disposición de las ventanas, etc. Algunos de los parámetros utilizados son:

- 2250h de día y 1000h de noche
- Forma de accionamiento: manual, automático con regulación de potencia
- Luz por fachada, clasificación del aporte de luz en fachadas verticales
- Valor de mantenimiento
- Latitud (ubicación del proyecto)
- Coste de mantenimiento al cambio de luminaria

A continuación vamos a comparar los costes a 15 años de:

- Instalación actual
- Instalación con LEDs
- Instalación con LEDs y control

Despacho H24

	Consumo kWh año	Coste					
		Energía	Mantenimiento	Instalacion	Total	Sobrecoste	
Fluorescentes	601,19	1.270 €	198 €	0 €	1.469 €	0 €	0,0%
LED	274,52	580 €	0 €	1.288 €	1.868 €	400 €	27,2%
LED con control	112,11	273 €	0 €	1.318 €	1.555 €	86 €	5,9%
	1 año	15 años					

Se han utilizado los valores de presencia de:

- Factor de ausencia = 0,4 (Sala de profesores)
- Factor de eficiencia del control de presencia = 0,80 (Conexión y desconexión automática con atenuación)
- Factor de mantenimiento = 300 lx



Despacho H23

	Consumo kWh año	Coste					
		Energia	Mantenimiento	Instalacion	Total	Sobrecoste	
Fluorescentes	300,59	635 €	99 €	0 €	734 €	0 €	0,0%
LED	137,5	291 €	0 €	644 €	935 €	200 €	27,3%
LED con control	56,34	119 €	0 €	659 €	778 €	44 €	6,0%
	1 año	15 años					

Se han utilizado los valores de presencia de:

- Factor de ausencia = 0,4 (Sala de profesores)
- Factor de eficiencia del control de presencia = 0,80 (Conexión y desconexión automática con atenuación)
- Factor de mantenimiento = 300 lx

Aula F01

	Consumo kWh año	Coste					
		Energia	Mantenimiento	Instalacion	Total	Sobrecoste	
Fluorescentes	4806,34	10.156 €	1.967 €	0 €	12.123 €	5.023 €	70,7%
LED	1822,36	3.851 €	0 €	4.384 €	8.235 €	1.134 €	16,0%
LED con control	1228,72	2.596 €	0 €	4.504 €	7.100 €	0 €	0,0%
	1 año	15 años					

Se han utilizado los valores de presencia de:

- Factor de ausencia = 0,25 (Aula de clase)
- Factor de eficiencia del control de presencia = 0,80 (Conexión y desconexión automática con atenuación)
- Factor de mantenimiento = 300 lx



Aula F03

	Consumo kWh año	Coste					
		Energia	Mantenimiento	Instalacion	Total	Sobrecoste	
Fluorescentes	8511,22	17.984 €	3.044 €	0 €	21.029 €	8.529 €	68,2%
LED	3258,03	6.884 €	0 €	7.776 €	14.660 €	2.161 €	17,3%
LED con control	2121,8	4.483 €	0 €	8.016 €	12.499 €	0 €	0,0%
	1 año	15 años					

Se han utilizado los valores de presencia de:

- Factor de ausencia = 0,25 (Aula de clase)
- Factor de eficiencia del control de presencia = 0,80 (Conexión y desconexión automática con atenuación)
- Factor de mantenimiento = 300 lx

Aula G02

	Consumo kWh año	Coste					
		Energia	Mantenimiento	Instalacion	Total	Sobrecoste	
Fluorescentes	5893,87	12.454 €	1.943 €	0 €	14.397 €	5.865 €	68,7%
LED	2274,69	4.806 €	0 €	5.088 €	9.894 €	1.363 €	16,0%
LED con control	1544,56	3.264 €	0 €	5.268 €	8.532 €	0 €	0,0%
	1 año	15 años					

Se han utilizado los valores de presencia de:

- Factor de ausencia = 0,25 (Aula de clase)
- Factor de eficiencia del control de presencia = 0,80 (Conexión y desconexión automática con atenuación)
- Factor de mantenimiento = 300 lx



Pasillo interior (sección 4 luminarias, 14,4 metros)

	Consumo kWh año	Coste					
		Energía	Mantenimiento	Instalacion	Total	Sobrecoste	
Fluorescentes	1352	2.857 €	446 €	0 €	3.303	2.074 €	168,8%
LED	711,75	1.504 €	0 €	424 €	1.928 €	699 €	56,9%
LED con control	352,32	744 €	0 €	484 €	1.228 €	0 €	0,0%
	1 año	15 años					

Se han utilizado los valores de presencia de:

- Factor de ausencia = 0,6 (Superficies de tránsito)
- Factor de eficiencia del control de presencia = 0,95 (Conexión automática con atenuación)
- Factor de mantenimiento = 300 lx (la normativa exige 100 lx, pero el programa no da opción a menos)

Pasillo exterior (sección de 2 luminarias, 9,6 metros)

	Consumo kWh año	Coste					
		Energía	Mantenimiento	Instalacion	Total	Sobrecoste	
Fluorescentes	676	1.428 €	223 €	0 €	1.651 €	948 €	134,9
LED	357,5	755 €	0 €	424 €	1.179 €	476 €	67,8%
LED con control	117,86	249 €	0 €	454 €	703 €	0 €	0,0%
	1 año	15 años					

Se han utilizado los valores de presencia de:

- Factor de ausencia = 0,6 (Superficies de tránsito)
- Factor de eficiencia del control de presencia = 0,95 (Conexión automática con atenuación)
- Factor de mantenimiento = 300 lx (la normativa exige 100 lx, pero el programa no da opción a menos)



Baños

	Consumo kWh año	Coste					
		Energia	Mantenimiento	Instalacion	Total	Sobrecoste	
Fluorescentes	220,26	465 €	124 €	0 €	590 €	0 €	0,0%
LED	89,31	189 €	0 €	902 €	1.091 €	501 €	84,9%
LED con control	19,59	41 €	0 €	917 €	958 €	369 €	62,5%
	1 año	15 años					

Se han utilizado los valores de presencia de:

- Factor de ausencia = 0,9 (Baño)
- Factor de eficiencia del control de presencia = 0,80 (Conexión y desconexión automática con atenuación)
- Factor de mantenimiento = 300 lx (la normativa exige 200 lx, pero el programa no da opción a menos)

Como el factor de ausencia es tan grande no se amortiza en los 15 años. Puede estimarse suponiendo un uso de 500 horas al año, que la duración de las luminarias del baño tendrían una vida útil de 100 años.

Salón de grados

	Consumo kWh año	Coste					
		Energia	Mantenimiento	Instalacion	Total	Sobrecoste	
Fluorescentes	1477,91	3.123 €	183 €	0 €	3.306 €	131 €	4,1 %
LED	642,6	1.358 €	0 €	2.544 €	3.902 €	727 €	22,9%
LED con control	256,03	541€	0 €	2.634 €	3.175 €	0 €	0,0%
	1 año	15 años					

Se han utilizado los valores de presencia de:

- Factor de ausencia = 0,6 (Salón de actos)
- Factor de eficiencia del control de presencia = 0,80 (Conexión y desconexión automática con atenuación)
- Factor de mantenimiento = 300 lx



6. Conclusiones

- Valoración económica:

Haciendo un análisis de las plantas: baja y primera (no se disponía de planos de más plantas) podemos observar cómo se necesita una inversión de 549.005 €, suponiendo un ahorro total durante los 15 años de 1.211.814 €. Que descontando la devolución de la inversión con un interés compuesto al 3%, obtenemos un ahorro para la universidad de 353.675 €. La entidad financiadora encontraría que el punto de balance cero se encuentra en algo más de 7 años. Estos análisis se han realizado sin tener en cuenta los riesgos de robo y vandalismo, cuyas cláusulas deberán ser negociadas.

	Ahorro	Inversión
Despachos simples	-0,2%	6,8%
Despachos dobles	-0,3%	9,6%
Aulas de 73 m ²	8,3%	16,4%
Aulas de 148 m ²	1,4%	2,9%
Aulas de 102 m ²	5,3%	10,6%
Pasillo interior	74,3%	38,3%
Pasillo ventanas	11,7%	12,4%
Baños	-0,5%	3,0%
Salon de grados	0,0%	0,0%

Por áreas; las zonas más rentables de inversión son los pasillos. Teniendo como puntos negativos los despachos y los cuartos de baño.

En los despachos el principal problema es el coste de todas las luminarias que se instalan, recordemos que son 5 luminarias (1 flat panel y 4 downlights) por cada luminaria de fluorescentes. Se podría solucionar con la instalación de un flat panel más potente, sin necesidad de la instalación de downlights. En la actualidad se están empezando a comercializar luminarias flat panel de hasta 70W. Pero aún no disponemos de la información técnica necesaria para simularlos en DIALux.

El uso anual horario de los cuartos de baño es muy bajo, por lo que no se amortiza en 15 años. Con dicho uso, la vida útil de las luminarias se situaría cerca de 100 años, por lo que no tiene sentido un reemplazo en tan poco tiempo.

- Se ha obtenido una mejora sustancial en los niveles de iluminación. En algunos espacios se ha conseguido a base de aumentar la iluminación; mientras en otras



áreas se ha mejorado la uniformidad. Todo esto se ha conseguido cumpliendo las normativas CTE y UNE 12464-1 aplicables a la reforma considerada.

- Se reducirán las molestias (flickering, bajo nivel de iluminación, etc.) provocadas por falta de mantenimiento preventivo, que afectan negativamente a la productividad.
- Se facilita el mantenimiento al ser necesaria tan sólo una limpieza superficial de la superficie de la luminaria.
- Además, aprovechándonos de la ventaja que supone el control de potencia que permiten las luminarias LED, conseguimos un ahorro de energía que supera el 70%. Esto supone una ventaja a largo plazo, ya que se prevé un aumento en el precio de la tarifa eléctrica.

Desarrollos futuros

En el departamento de mecánica se está desarrollando un nuevo grupo de Proyectos Fin de Carrera centrados en la ingeniería luminotécnica. Algunos de ellos se basarán en:

- Caracterización de luminarias y su comparación con los datos facilitados por el fabricante.
- Medición de propiedades (reflexión, rugosidad, etc.) de diferentes tipos de superficies.
- Comprobación de la precisión de los resultados obtenidos mediante simulación mediante la toma de medidas en los locales simulados.



7. Presupuesto

Documentación y recursos.....	30 h
Formación luminotécnica.....	100 h
Curso DIALux.....	40 h
Diseño en CAD.....	60 h
Cálculos en proyecto.....	200 h
Informe.....	40 h

Amortización de equipo informático.....167 €

Tiempo de cálculo.....20 h

Tiempo de renderizado....400 h

Coste total (Imp. Incl.) = 13.367 €

Precio mano obra: 30€/h

Amortización de un equipo de 2000€ en 48 meses, proyecto 4 meses

Anexo 1: Glosario de términos

Lámpara: fuente construida para producir una radiación óptica, generalmente visible.

Luminaria: aparato que distribuye, filtra o transforma la luz emitida por una o varias lámparas y que, además de los accesorios necesarios para fijarlas, protegerlas y conectarlas al circuito eléctrico de alimentación contiene, en su caso, los equipos auxiliares necesarios para su funcionamiento, definida y regulada en la norma UNE 60598-1:1998. Debe además, hacer de soporte y de conexión eléctrica a las lámparas que alberga; y ser de fácil instalación y mantenimiento.

Sistema de detección de presencia: conjunto de dispositivos destinados a controlar de forma automática el encendido y apagado de una instalación de iluminación en función de la presencia o no de personas en la zona. Existen varios tipos: infrarrojos, acústicos por ultrasonidos, por microondas, híbridos de los anteriores.

Vida media: es el periodo de tiempo en el cual se prevé que seguirán funcionando el 50% de las lámparas. Se puede observar en las curvas de mortalidad, en las cuales se indica el porcentaje de lámparas en funcionamiento en función del tiempo de funcionamiento. La metodología del ensayo en lámparas incluye el ciclo de encendido, por lo que en la vida real, con un mayor número de encendidos/apagados, lo normal es que la duración sea sustancialmente inferior a la especificada por el fabricante. Esto depende del tipo de lámparas, ya que aunque el ciclo de encendido es perjudicial para las lámparas fluorescentes, no lo es para las lámparas LED.

Depreciación luminosa: el flujo luminoso de una lámpara puede no ser constante a lo largo de toda su vida. Puede deberse a simple suciedad o bien al envejecimiento de la lámpara.

Vida útil: es muy importante, ya que en base a este dato, debemos establecer los periodos de reposición de las lámparas. Indica el tiempo de funcionamiento en el cual el flujo luminoso de la instalación ha descendido a un valor tal que la fuente de luz no es rentable y es recomendable su sustitución, teniendo en cuenta el coste de la lámpara, el precio de la energía consumida y el coste de mantenimiento. En general suele estimarse cuando la iluminancia mantenida ha disminuido un 20%. Los dos factores que más influyen sobre los valores teóricos son: el número de encendidos y la calidad de la tensión de la red.

Factor de potencia: el factor de potencia (f.d.p.) de un circuito de corriente alterna es la relación entre la potencia activa (P) y la potencia aparente (S).

$$f. d. p. = \cos(\phi) = P/S$$



Es importante, porque para un f.d.p alto para una misma potencia se demanda menos corriente, por lo que se necesitan cables de mayor sección. Por ello un f.d.p. bajo no resulta práctico para las compañías eléctricas y pueden llegar a penalizarlo.

Eficacia luminosa: cociente entre el flujo luminoso emitido y la potencia eléctrica de la fuente. Se expresa en lm/W.

Factor de mantenimiento (Fm): cociente entre la iluminancia media en el plano de trabajo después de un cierto periodo de uso de una instalación y la iluminancia obtenida bajo la misma condición para la instalación considerada nueva.

Iluminación de acento: iluminación diseñada para aumentar considerablemente la iluminación de un área limitada.

Iluminancia inicial (Einicial): iluminancia media cuando una instalación es nueva.

Iluminancia media en el plano horizontal (E): iluminancia promedio sobre el área especificada.

Iluminancia media horizontal mantenida (Em): incide el Nivel de iluminación medio mínimo del local. Cuando se realiza un proyecto de iluminación normalmente se establece un Nivel de iluminación inicial superior al Em, según los ciclos de mantenimiento del local, que dependen de la fuente de luz escogida, de las luminarias, posibilidad de ensuciamiento, etc. Con el tiempo el nivel de iluminación inicial va decayendo debido a la pérdida de flujo de la propia fuente de luz, así como de la suciedad acumulada en luminarias, paredes, techos y suelos. Los ciclos de mantenimiento y limpieza deben realizarse para mantener el nivel de iluminación adecuada.

Índice de deslumbramiento unificado (UGR, Unified Glare Rating): es necesario controlar los posibles deslumbramientos para poder realizar las actividades libres de errores y de manera confortable. Los valores UGR están comprendidos entre 10 y 30, siendo el mayor el deslumbramiento cuanto más alto es el valor.

Índice del local (K): es función de la longitud del local (L), la anchura del local (A), la distancia del trabajo del plano de trabajo a las luminarias (H).

$$K = \frac{L \cdot A}{H \cdot (L + A)}$$

El número de puntos mínimos a considerar en el cálculo de la iluminancia media (E) será:

4 puntos si $K < 1$

9 puntos si $2 > K > 1$

16 puntos si $3 > K > 2$

25 puntos si $K > 3$



Valor de eficiencia energética de la instalación (VEEI): valor que mide la eficiencia energética de una instalación de iluminación de una zona de actividad diferenciada, cuya unidad de medida es (W/m^2) por cada 100 lux.

Diagramas polares: son las curvas de distribución de la intensidad lumínica de una determinada luminaria.

Curvas isolux: son las líneas que unen los puntos de igual iluminación. Generalmente vienen expresadas para una altura de montaje de 1 m y un flujo luminoso de 1.000 lm.

Diagramas isocandelas: representan la distribución de las intensidades luminosas, en % sobre la $I_{\text{máx}}$, en los diferentes planos C y ángulos γ .

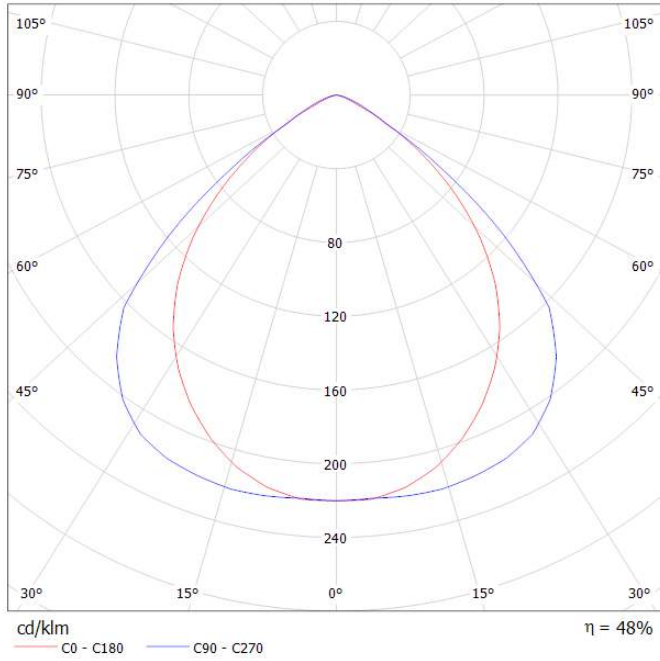
Nomenclatura lámparas: nos debe indicar la potencia, así como el índice de reproducción cromática y la temperatura de color. Por ejemplo, “modelo” 36W/830: indica una potencia de 36 W, el “8” indica un índice de reproducción cromática comprendido entre 80 y 89; y el “30” señala una temperatura de color de 3.000 K.

Anexo 2: Datos de luminarias

Philips TBH318 3x36W

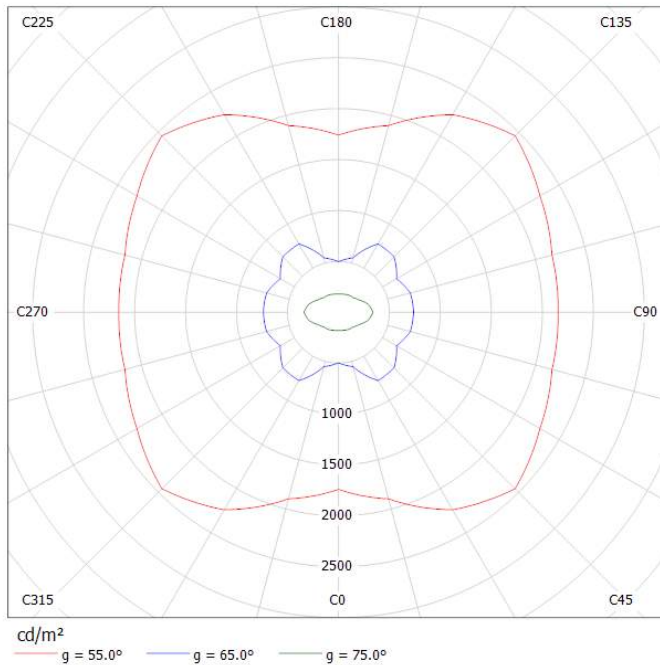
Philips TBH318 3x36W M5 / LKV (Polar)

Luminaria: Philips TBH318 3x36W M5
Lámparas: 3 x TL-D36W/840



Philips TBH318 3x36W M5 / Diagrama de densidad luminica

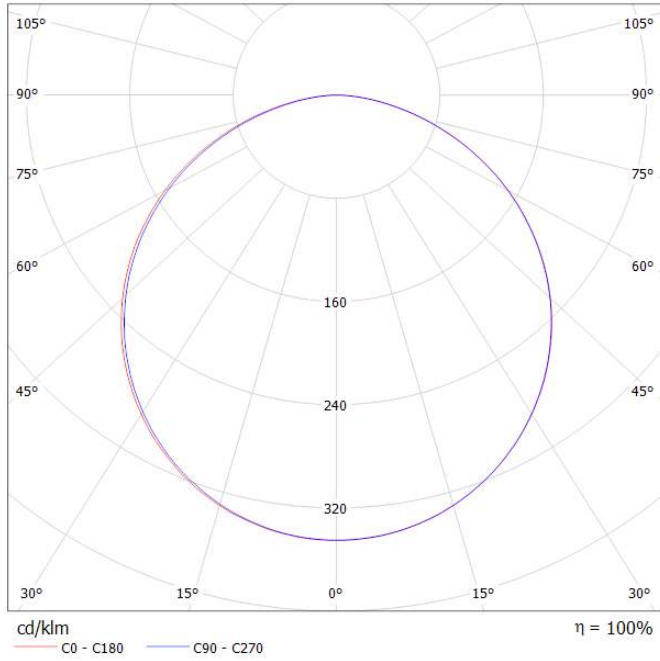
Luminaria: Philips TBH318 3x36W M5
Lámparas: 3 x TL-D36W/840



LG LED Flat Light 53W

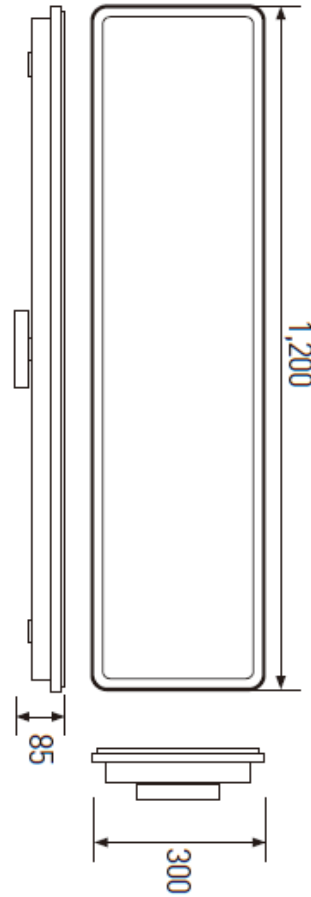
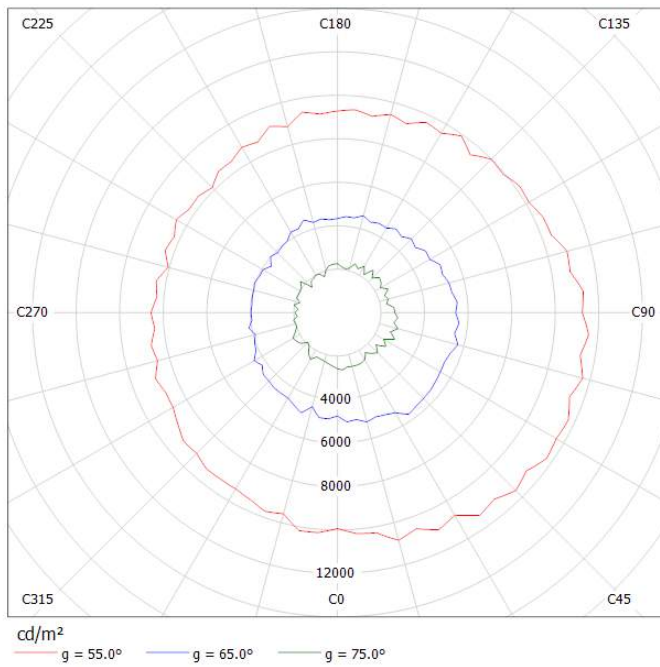
/ LKV (Polar)

Luminaria:
Lámparas: 1 x



/ Diagrama de densidad luminica

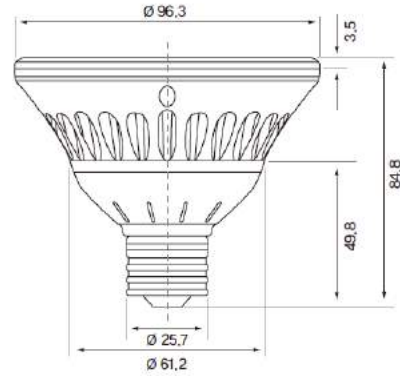
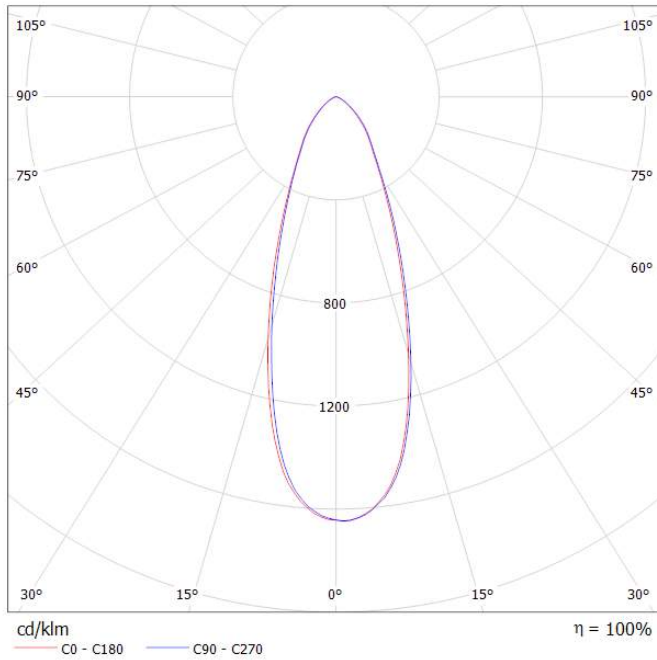
Luminaria:
Lámparas: 1 x



LG LED PAR30 Beam 36 12W

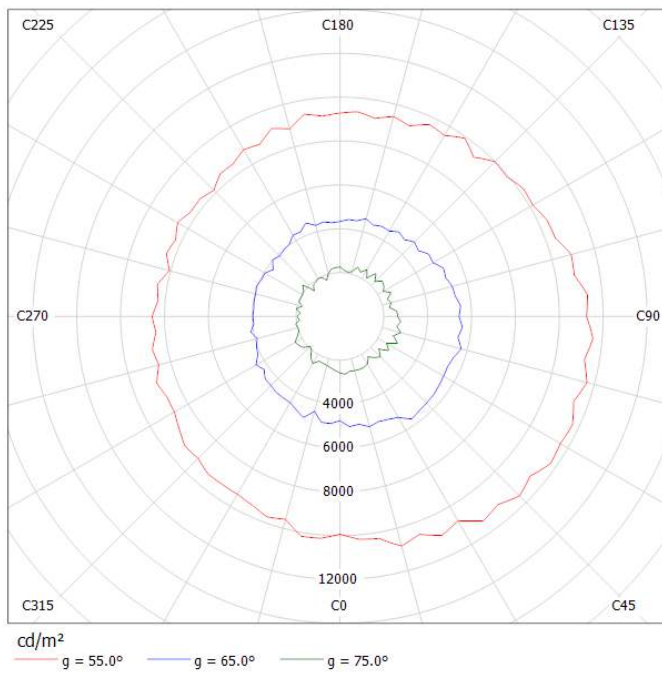
/ LKV (Polar)

Luminaria:
Lámparas: 1 x



/ Diagrama de densidad lumínica

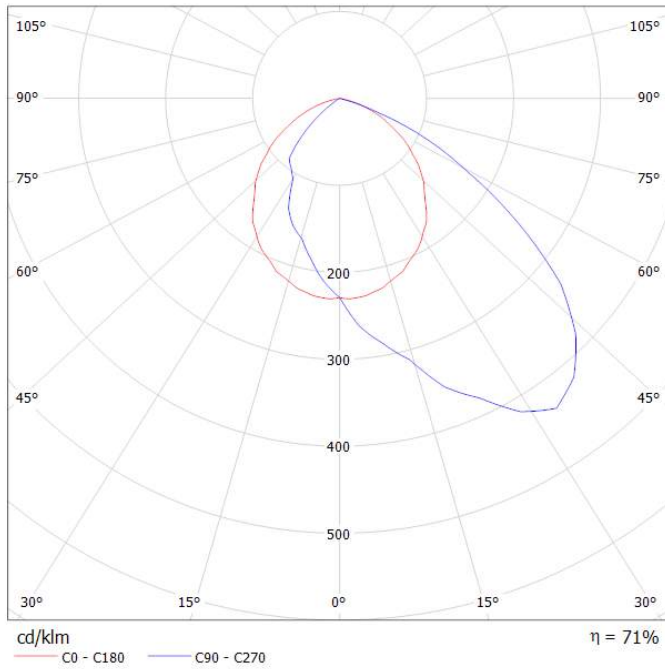
Luminaria:
Lámparas: 1 x



INDAL L651IFKA 58Fa1M2 de 58W

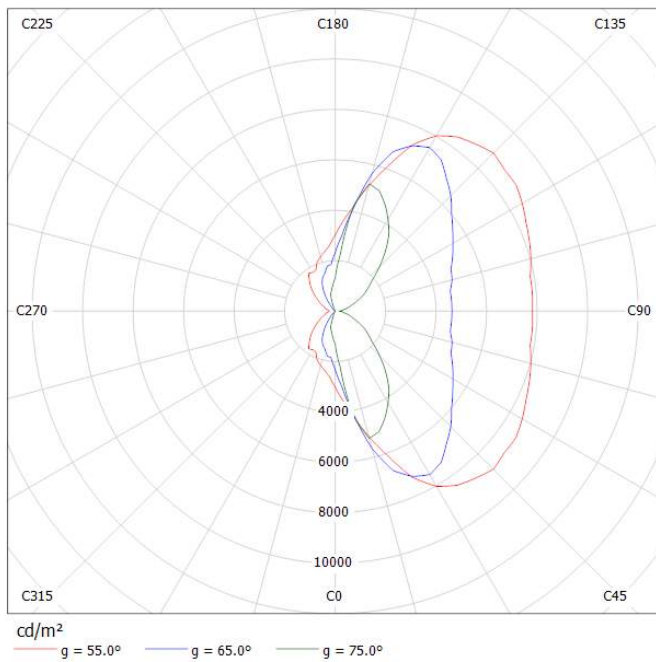
INDAL L651IFKA_58Fa1M2 651-IFK-A-EL / LKV (Polar)

Luminaria: INDAL L651IFKA_58Fa1M2 651-IFK-A-EL
Lámparas: 1 x FD-58



INDAL L651IFKA_58Fa1M2 651-IFK-A-EL / Diagrama de densidad luminica

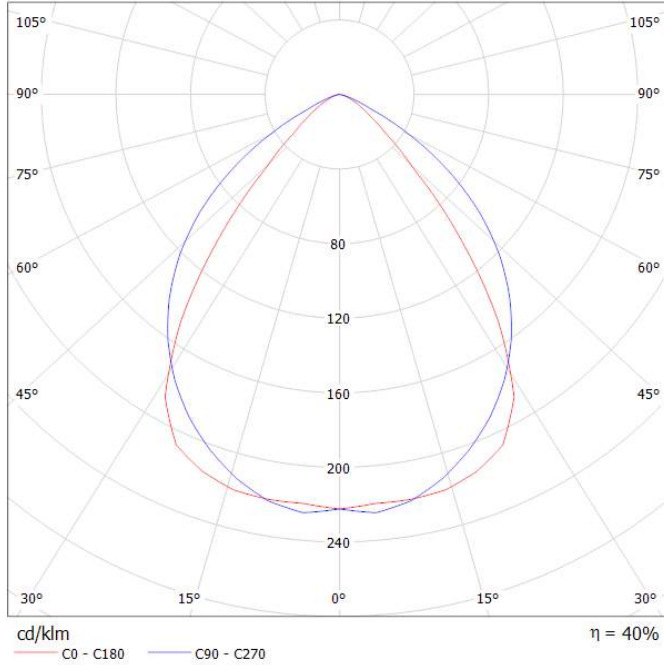
Luminaria: INDAL L651IFKA_58Fa1M2 651-IFK-A-EL
Lámparas: 1 x FD-58



Philips TBH318 2x TL-D36 HFE M5

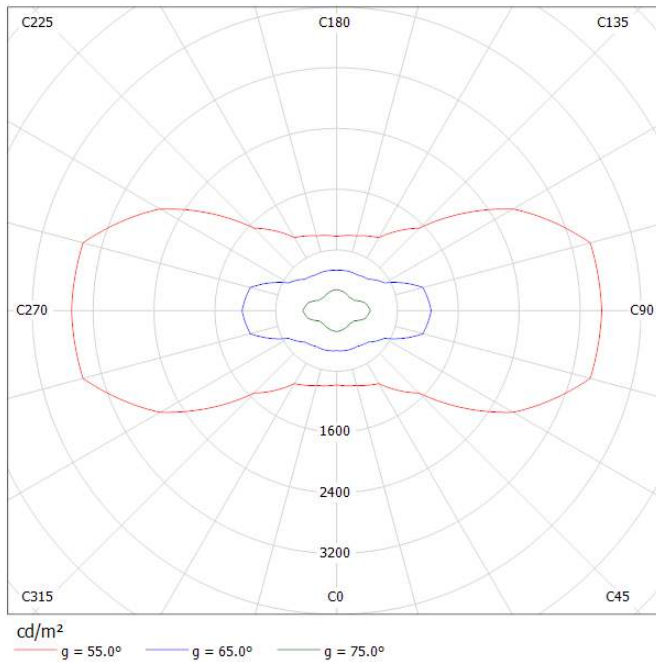
Philips TBH318 2xTL-D36W HFE M5 / LKV (Polar)

Luminaria: Philips TBH318 2xTL-D36W HFE M5
Lámparas: 2 x TL-D36W/840



Philips TBH318 2xTL-D36W HFE M5 / Diagrama de densidad luminica

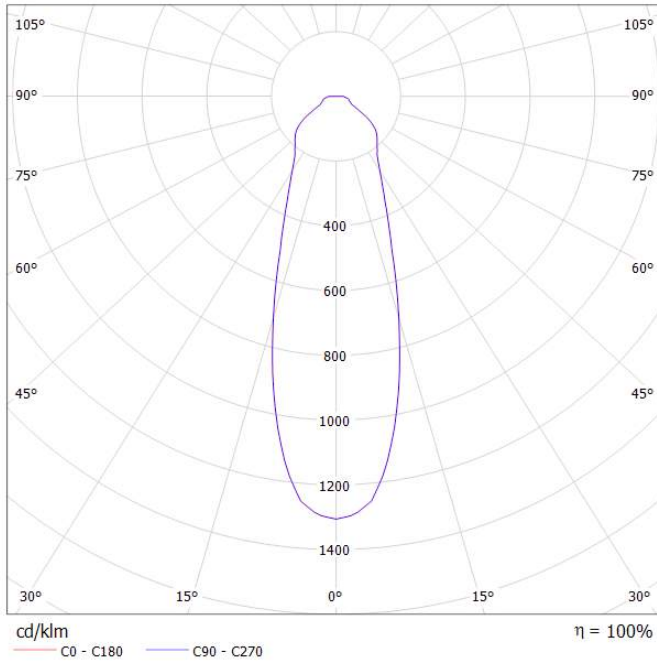
Luminaria: Philips TBH318 2xTL-D36W HFE M5
Lámparas: 2 x TL-D36W/840



INDAL Z2052901 3300 (Downlight incandescente de 40W)

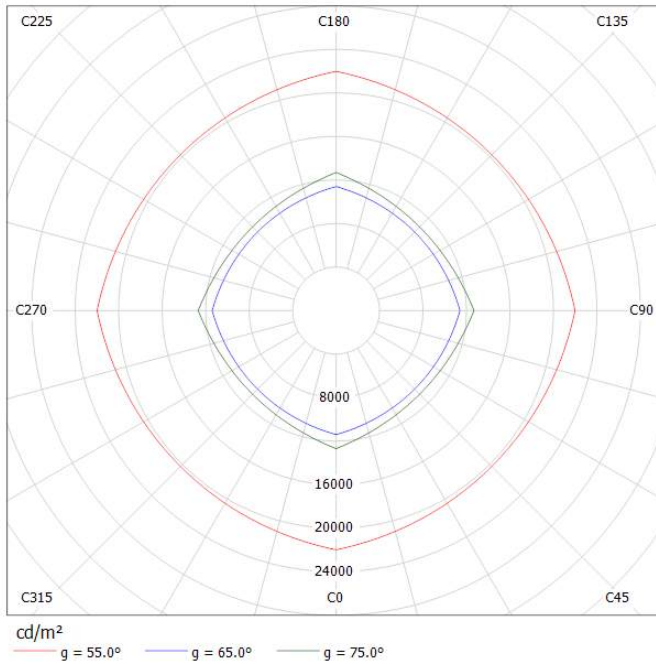
INDAL Z2052901 3300 / LKV (Polar)

Luminaria: INDAL Z2052901 3300
Lámparas: 1 x IRR-40



INDAL Z2052901 3300 / Diagrama de densidad lumínica

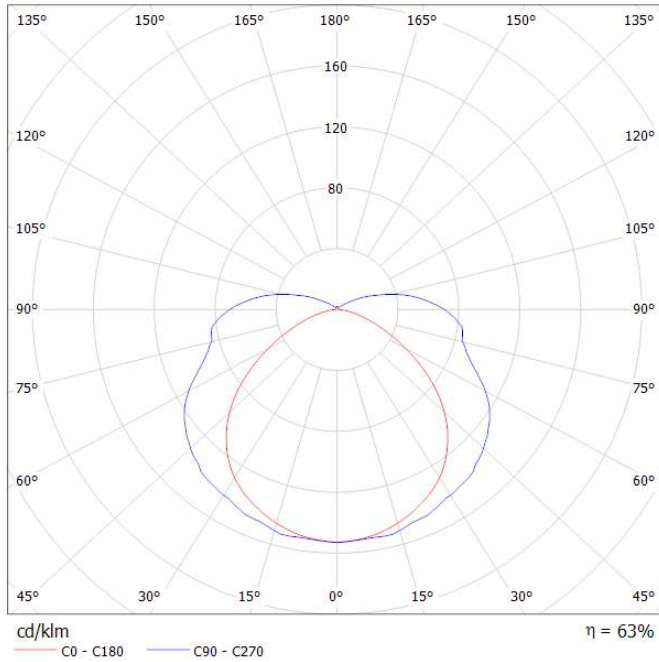
Luminaria: INDAL Z2052901 3300
Lámparas: 1 x IRR-40



INDAL Z7102202sM2 400139EL (Fluorescente de 39W)

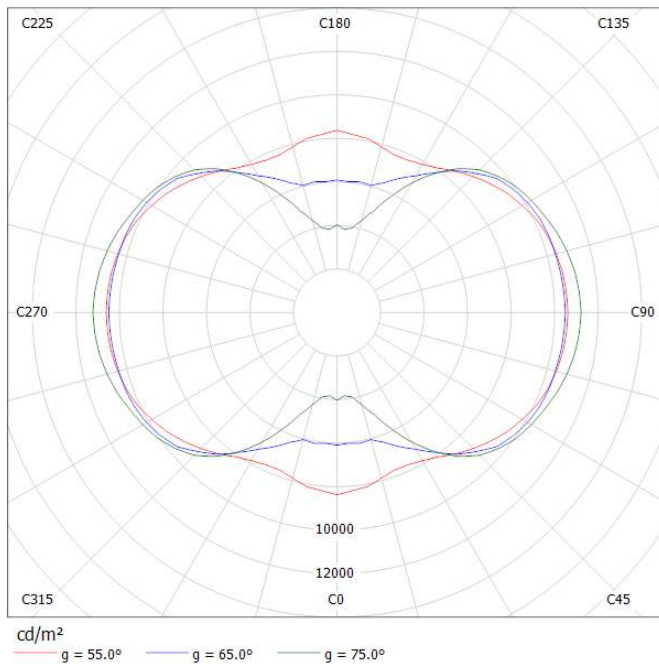
INDAL Z7102202sM2 400139EL / LKV (Polar)

Luminaria: INDAL Z7102202sM2 400139EL
Lámparas: 1 x FDH-39



INDAL Z7102202sM2 400139EL / Diagrama de densidad luminica

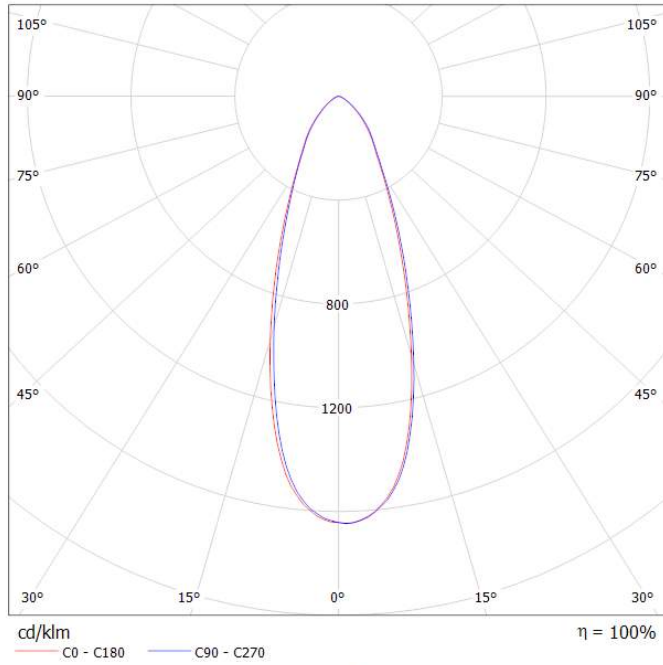
Luminaria: INDAL Z7102202sM2 400139EL
Lámparas: 1 x FDH-39



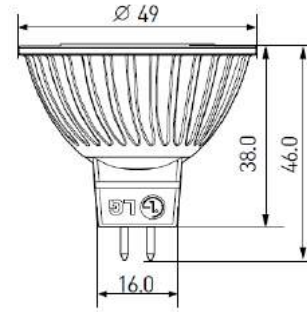
LG LED MR16 Beam 36 (Spot 4W)

/ LKV (Polar)

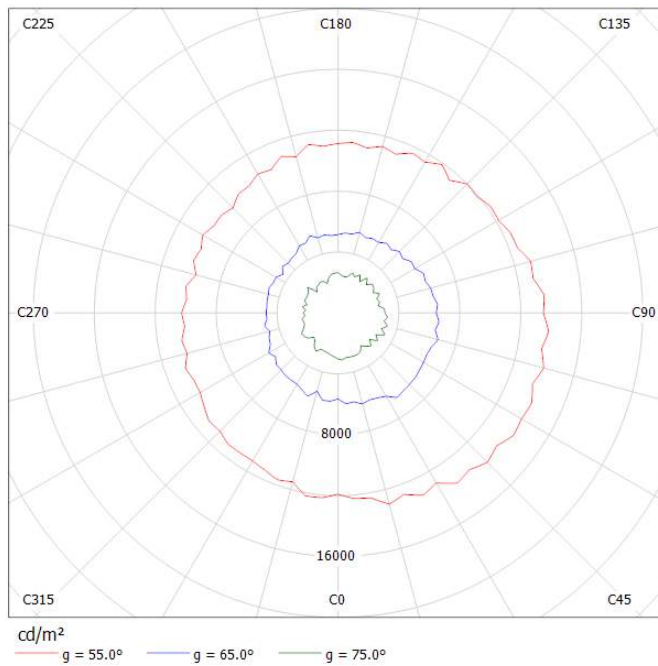
Luminaria:
Lámparas: 1 x



/ Diagrama de densidad lumínica



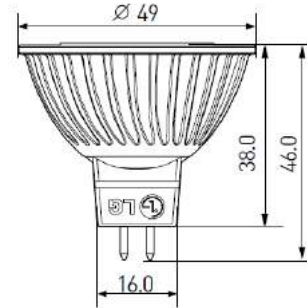
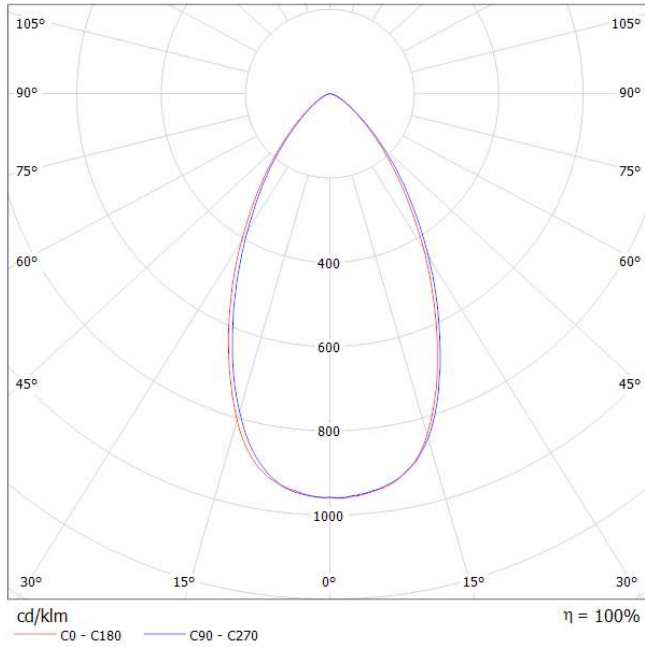
Luminaria:
Lámparas: 1 x



LG LED MR16 Beam 60 (Spot 4W)

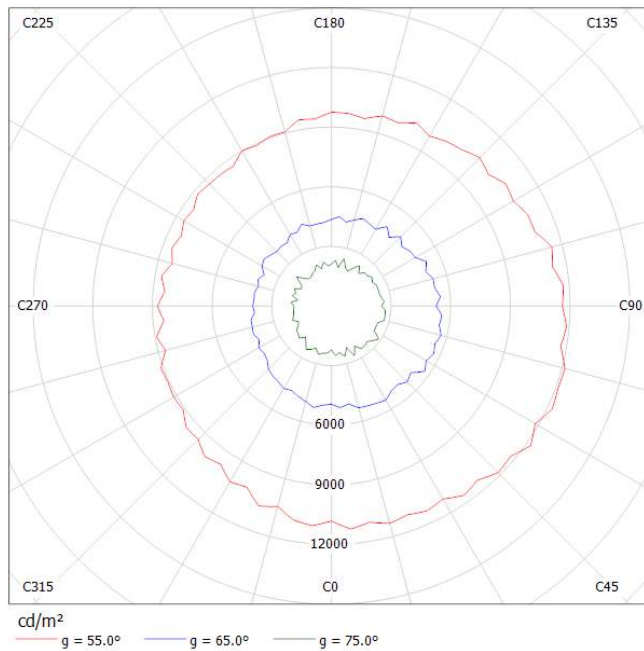
/ LKV (Polar)

Luminaria:
Lámparas: 1 x



/ Diagrama de densidad lumínica

Luminaria:
Lámparas: 1 x





Anexo 3: Ejemplo de plantilla cálculo económico

100,0%		Precio kWh eléctrico en llano	0,1409		€/kWh		3225	horas año					Vida útil (h)	Precio mano obra reposición												
http://www.endesaonline.com/es/subdominios/condiciones/index.asp?t=5&s=4									LED	LISTA LUMINARIAS	Potencia (W)	Modelo	Precio													
<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Nivel iluminancia (lx)</th> <th>VEEI (W/m2/100 lx)</th> <th>Uniformidad</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Convencional</td> <td>331</td> <td>3,93</td> <td>0,504</td> </tr> <tr> <td>LED</td> <td>305</td> <td>2,82</td> <td>0,738</td> </tr> </tbody> </table>											Nivel iluminancia (lx)	VEEI (W/m2/100 lx)	Uniformidad	Convencional	331	3,93	0,504	LED	305	2,82	0,738	Flat Light	53	300*1200	379 €	50000
	Nivel iluminancia (lx)	VEEI (W/m2/100 lx)	Uniformidad																							
Convencional	331	3,93	0,504																							
LED	305	2,82	0,738																							
H24									Downlight	23	6 inch	204 €	50000													
									PAR 30	12	A19/E26	94 €	50000													
									MR 16	4	GU 5.3	25 €	50000													
	Consumo kWh año	Coste							Convencional	3x36W	108		15 €	7000	9 €											
		Energia	Mantenimiento	Instalacion	Total	Sobrecoste		2x36W		72		10 €	7000	6 €												
Fluorescentes	601,19	1.270 €	198 €	0 €	1.469 €	0 €	0,0%	1x36W		36		5 €	7000	3 €												
LED	274,52	580 €	0 €	1.288 €	1.868 €	400 €	27,2%	1x58W		58		5 €	7000	3 €												
LED con control	112,11	237 €	0 €	1.318 €	1.555 €	86 €	5,9%	4" 40W Spotone Philux E 80		40		4 €	1000	3 €												
	1 año	15 años																								



Bibliografía

- (1) Beld, W. J. (2003). *Lighting For Work: Visual and Biological Effects*. The Netherlands: Philips Lightings
- (2) Proyecto Fin de Carrera: Ahorro energético en iluminación. Por Sergio Gismera Martínez Febrero 2005 de la Universidad Carlos III de Madrid
- (3) Proyecto Fin de Carrera: Proyecto de iluminación de las dependencias de la biblioteca Rey Pastor de la Universidad. Por María Ruiz Fernández Julio 2005 de la Universidad Carlos III de Madrid
- (4) Instalaciones de Iluminación I.S.B.N. 84-7484-126-7 Antonio Ruiz Celma y Sebastián Rojas Rodríguez 1998
- (5) Manual de alumbrado Philips ISBN: 84-283-12363-X 1988
- (6) DIALux 4 New Calculation Kernel consultada en Septiembre 2011
<http://archbps1.campus.tue.nl/bpswiki/images/b/b8/DiaLux-calculation-kernel.pdf>