



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escuela Politécnica Superior

Trabajo Fin de Grado

CURSO 2016/17

ESTUDIO TÉCNICO, ENERGÉTICO Y ECONÓMICO DE UN SISTEMA FOTVOLTAICO Y DE LA EFICIENCIA LUMÍNICA EN LA E.P.S. DE FERROL

Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales

ALUMNO

Javier Alegre Leira

TUTOR

Alberto Arce Ceinos

FECHA

FEBRERO, 2017

Índice general

1. Título y resumen.....	7
2. Antecedentes	8
2.1. Panorama actual.....	8
2.2. Sistema energético español.....	9
2.2.1. Sistema eléctrico español.....	10
2.2.2. Dependencia energética.....	10
3. Normativa sobre EERR.....	12
3.1. Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de abril de 2009, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables.....	12
3.2. Plan de acción nacional de las EERR 2011-2020.....	13
3.3. Medidas en el campo de la generación eléctrica con EERR.....	14
3.4. Medidas específicas en el sector solar	15
3.5. Marco actuación en materia de Clima-Energía hasta el año 2030.....	15
3.6. Conference of parties.....	16
4. Introducción a las energías renovables	17
4.1. Principales energías renovables.....	17
4.1.1. Solar.....	17
4.1.2. Eólica	18
4.1.3. Energía hidráulica	19
4.1.4. Energía undimotriz y maremotriz.....	19
4.1.5. Bioenergía.....	20
4.1.6. Geotérmica	21
4.2. Síntesis	21
5. Energía solar	23
5.1. Movimiento relativo Tierra con respecto al Sol	23
5.2. Movimiento de rotación.....	23
5.3. Movimiento de traslación	23
5.4. Inclinação de la Tierra y estaciones del año	23
5.5. Latitud y longitud.....	24
5.6. Radiación emitida por el Sol	25
5.6.1. Introducción	25
5.6.2. Espectro de la radiación solar terrestre	25
5.6.3. Tipos de radiaciones solares en la Tierra.....	26
5.6.3.1. Radiación directa	26

5.6.3.2.	Radiación difusa.....	26
5.6.3.3.	Radiación reflejada	26
5.6.3.4.	Radiación global.....	26
5.6.4.	Radiación solar en España	27
5.6.5.	Radiación solar en Galicia.....	29
6.	<i>Energía solar fotovoltaica.....</i>	30
6.1.	Introducción	30
6.2.	Historia.....	30
6.3.	Tipos de instalaciones según su conexión	31
6.3.1.	Sistemas aislados	32
6.3.2.	Sistemas conectados a red	32
6.4.	Componentes de una instalación fotovoltaica.....	33
6.4.1.	Panel fotovoltaico.....	33
6.4.1.1.	Célula fotovoltaica	33
6.4.1.2.	Clasificación de los módulos fotovoltaicos	35
6.4.1.3.	Parámetros fundamentales de un módulo fotovoltaico	39
6.4.1.4.	Conexión de los módulos fotovoltaicos.....	41
6.4.2.	Estructura soporte.....	41
6.4.3.	Inversor.....	42
6.4.3.1.	Protecciones	44
6.4.3.2.	Tipos de inversores	46
6.4.4.	Baterías.....	48
7.	<i>Estudio instalación fotovoltaica</i>	49
7.1.	Ubicación y características del emplazamiento	49
7.2.	Características de la instalación	50
7.3.	Diseño del sistema de captación:.....	51
7.3.1.	Campo fotovoltaico	51
7.3.2.	Agrupación de los módulos	52
7.3.3.	Distancia entre módulos.....	53
7.4.	Descripción general de la instalación eléctrica	54
7.5.	Monitorización del sistema	56
7.6.	Estructura soporte de los módulos fotovoltaicos.....	56
7.7.	Funcionamiento de la instalación	57
7.8.	Mantenimiento de la instalación	58
7.8.1.	Tareas de inspección visual	58
7.8.2.	Tareas de mantenimiento preventivo	59
7.8.3.	Tareas de mantenimiento correctivo	59
7.9.	Pérdidas de la instalación.....	60
7.10.	Presupuesto instalación fotovoltaica	61
7.11.	Estudio de viabilidad instalación fotovoltaica	63

7.12.	Conclusiones.....	64
7.13.	Fichas técnicas módulos e inversor	65
8.	Estudio eficiencia lumínica.....	69
8.1.	Introducción	69
8.2.	Resumen	70
8.3.	Preámbulos	71
8.3.1.	Tipos de lámparas.....	71
8.3.1.1.	Lámparas incandescentes.....	71
8.3.1.2.	Lámparas de descarga	74
8.3.1.3.	Lámparas LED	81
8.3.2.	Parámetros de iluminación.....	83
8.3.2.1.	Iluminancia y uniformidad	83
8.3.2.2.	Índice de deslumbramiento.....	84
8.3.2.3.	Color	85
8.3.3.	Parámetros de eficiencia energética	87
8.3.4.	Normativa de aplicación	88
8.3.4.1.	Iluminancia media	88
8.3.4.2.	Índice de deslumbramiento.....	89
8.3.4.3.	Color	89
8.3.4.4.	Parámetros de eficiencia energética	90
8.4.	Estimaciones y cálculos previos al estudio lumínico	91
8.4.1.	Estimación del horario de apertura de la escuela	92
8.4.2.	Estimación del tiempo de funcionamiento de las lámparas.....	93
8.4.3.	Cálculo del precio de las lámparas	93
8.4.4.	Cálculo cambio gradual o simultáneo de todas las lámparas.....	93
8.4.5.	Cálculo del precio del kWh	97
8.5.	Inventariado	98
8.5.1.	Introducción	98
8.5.2.	Tipos de lámparas inventariadas	98
8.5.3.	Tabla de inventario y cálculos	99
8.5.4.	Tecnologías de iluminación presentes:	106
8.6.	Cálculos	107
8.6.1.	Simulación en Dialux del sistema de iluminación actual	107
8.6.2.	Valores actuales de los principales parámetros de iluminación	118
8.6.3.	Simulación en Dialux del nuevo sistema de iluminación	120
8.6.4.	Tabla con parámetros asociados al nuevo sistema de iluminación.....	131
8.6.5.	Valores nuevos de los principales parámetros de iluminación	139
8.6.6.	Tabla de niveles de mejora de los parámetros lumínicos	142
8.6.7.	Comparativas de mejora de los principales parámetros lumínicos.....	149
8.7.	Presupuesto, ahorros y amortización.....	151
8.8.	Conclusiones.....	159
8.9.	Fichas técnicas de las nuevas lámparas.....	161

Índice de figuras:

Figura 1: Gráfico de consumo energético final Fuente: IDAE. Elaboración: propia.....	9
Figura 2: Gráfico de consumo energía eléctrica por tipo de generación Fuente: IDAE....	10
Figura 3: Gráfico de dependencia energética con otros países. Fuente: Idae.....	11
Figura 4: Campo de paneles solares fotovoltaicos en Neuhardenberg, Alemania	18
Figura 5: Parque eólico de Oaxaca, México	18
Figura 6: Hidroeléctrica de Aldeadávila, Salamanca.....	19
Figura 7: Central undimotriz de Motrico, España (primera del mundo).	19
Figura 8: Planta de biomasa en Córdoba, España.....	20
Figura 9: Central geotérmica de Yanaizu, prefectura de Fukushima, Japón.	21
Figura 10: Gráfico de potencia acumulada por habitante en países de la UE.	22
Figura 11: Explicación del movimiento relativo de la Tierra con respecto al Sol.	24
Figura 12: Descripción latitud y longitud.	24
Figura 13: Tipos de radiaciones que inciden en el panel solar	26
Figura 14: Mapa de irradiación solar y potencial eléctrico en España	27
Figura 15: Mapa de irradiación solar y potencial eléctrico en Europa	28
Figura 16: Mapa de irradiación solar en Galicia, medido en kWh/m ²	29
Figura 17: Esquema típico de un sistema fotovoltaico aislado.....	32
Figura 18: Campo fotovoltaico de vertido a red y aplicación doméstica.....	33
Figura 19: Capas de una célula fotovoltaica tipo PN	34
Figura 20: Gráfica del punto de máxima potencia.....	39
Figura 21: Gráfica del factor de forma	40
Figura 22: Conexión de módulos fotovoltaicos en serie.....	41
Figura 23: Conexión de módulos fotovoltaicos en paralelo.	41
Figura 24: Estructura soporte tipo Tracking con seguidor solar	42
Figura 25: Tipos de conexiones de los inversores.....	48
Figura 26: Ubicación de la EPS de Ferrol.....	49
Figura 27: Emplazamiento de los paneles solares	49
Figura 28: Justificación distribución paneles solares en la cubierta.....	52
Figura 29: Esquema del Idea, distancia mínima entre filas de paneles orientados al sur	53
Figura 30: Justificación distancia de dos metros entre filas de paneles	53
Figura 31: Esquema unifilar tipo de esta instalación fotovoltaica.....	55
Figura 32: Estructura PV-Light de la marca comercial “Schuco”	57
Figura 33: Partes de una bombilla incandescente	72
Figura 34: Bombilla incandescente común	73
Figura 35: Bombillas halógenas	74
Figura 36: Lámparas de mercurio a baja presión en formato tubo	75
Figura 37: Lámpara fluorescente (LFC)	75
Figura 38: Lámpara de vapor de mercurio.....	76
Figura 39: Lámpara de luz de mezcla	77
Figura 40: Lámpara de vapor de mercurio con halógenos metálicos	78
Figura 41: Lámpara de vapor de sodio a baja presión	79
Figura 42: Lámpara de vapor de sodio en una farola	79
Figura 43: Lámpara de vapor de sodio a alta presión.....	80

Figura 44: Partes de un LED	81
Figura 45: LED tipo SMD	81
Figura 46: LED tipo SMD	82
Figura 47: Formatos de LED tipo SMD	83
Figura 48: LED tipo COB	83
Figura 49: Códigos lámparas fluorescentes	85
Figura 50: Escala de temperaturas de color	86
Figura 51: Comparativo emisiones asociadas de CO ₂ según los tipos de cambios.....	96
Figura 52: Reparto porcentual de los tipos de lámpara que posee la escuela	107
Figura 53: Valores medios de VEEI antes y después del cambio	149
Figura 54: Valores medios de W/m ² antes y después del cambio.....	150
Figura 55: Valores medios de luxes antes y después del cambio	151

Índice de tablas:

Tabla 1: Origen de la energía consumida en España. Elaboración propia	9
Tabla 2: Pérdidas energéticas de la instalación	61
Tabla 3: Amortización sistema fotovoltaico	63
Tabla 4: Superficie equivalente edificios incluidos factura conjunta Campus.....	69
Tabla 5: Criterios de color para escoger una lámpara. Fuente: Idae.....	86
Tabla 6: Criterios de tonos de color según la finalidad del habitáculo. Fuente: Idae.....	87
Tabla 7: Niveles mínimos de iluminancia media. Elaboración propia	88
Tabla 8: Niveles mínimos de iluminancia media simplificados. Elaboración propia	88
Tabla 9: Datos de niveles mínimos de Em, UGR y Ra. Fuente: Idae	89
Tabla 10: Niveles mínimos de UGR simplificados. Elaboración propia.....	89
Tabla 11: Datos de niveles máximos de VEEI. Fuente: Idae.....	90
Tabla 12: Niveles máximos de VEEI. Elaboración propia	91
Tabla 13: Niveles máximos de VEEI simplificados. Elaboración propia	91
Tabla 14: Horario de la E.P.S. de Ferrol	92
Tabla 15: Cálculo horas totales apertura	92
Tabla 16: Estimación horas de funcionamiento de la iluminación	93
Tabla 17: Precios de los distintos tipos de lámparas de sustitución.....	93
Tabla 18: Precio antes de impuestos del kWh en el campus de Esteiro.....	97
Tabla 19: Resumen tipos de lámparas encontradas durante el inventariado	98
Tabla 20: Reparto de los tipos de lámparas de la escuela	106
Tabla 21: Valores actuales medios de W/m^2 , VEEI y luxes en aulas	118
Tabla 22: Valores actuales medios de W/m^2 , VEEI y luxes en la biblioteca.....	118
Tabla 23: Valores actuales medios de W/m^2 , VEEI y luxes en baños.....	119
Tabla 24: Valores actuales medios de W/m^2 , VEEI y luxes en pasillos	119
Tabla 25: Valores actuales medios de W/m^2 , VEEI y luxes en almacenes	120
Tabla 26: Valores actuales medios de W/m^2 , VEEI y luxes en toda la escuela	120
Tabla 27: Valores tras cambio medios de W/m^2 , VEEI y luxes en aulas	139
Tabla 28: Valores tras cambio medios de W/m^2 , VEEI y luxes en la biblioteca	139
Tabla 29: Valores tras cambio medios de W/m^2 , VEEI y luxes en baños	140
Tabla 30: Valores tras cambio medios de W/m^2 , VEEI y luxes en pasillos.....	140
Tabla 31: Valores tras cambio medios de W/m^2 , VEEI y luxes en almacenes.....	141
Tabla 32: Valores actuales medios de W/m^2 , VEEI y luxes en toda la escuela	141
Tabla 33: Valores medios totales de VEEI antes y después del cambio	149
Tabla 34: Valores medios totales de W/m^2 antes y después del cambio	150
Tabla 35: Valores medios totales de luxes antes y después del cambio	151

1. Título y resumen

El título del presente TFG es “Estudio técnico, energético y económico de un sistema fotovoltaico y de la eficiencia lumínica en la EPS de Ferrol”.

El objeto de este trabajo es realizar un estudio de mejora de la eficiencia lumínica, que disminuya el consumo eléctrico y genere unos ahorros que permitan implantar un sistema fotovoltaico que disminuya más aún el consumo eléctrico.

Cabe comentar que el trabajo se fundamenta en dos núcleos, primero, uno correspondiente a la parte de la instalación fotovoltaica y segundo, otro correspondiente al estudio de la eficiencia lumínica.

En primer lugar, se cuenta con una introducción general al panorama energético y a las energías renovables. Seguidamente se comenta normativa de aplicación y se hace una introducción a la energía solar. Tras lo cual, nos adentramos en la energía fotovoltaica y en el estudio de la instalación fotovoltaica de la EPS de Ferrol.

Después, comienza la parte de eficiencia lumínica. En primer lugar, una introducción al tema y, en segundo lugar, se ha dividido este estudio en 3 partes, que son: inventariado, cálculos y presupuesto-ahorro-amortización. En último lugar, se presentan las conclusiones y las fichas técnicas.

O título do presente TFG é “Estudo técnico, enerxético e económico dun sistema fotovoltaico e da eficiencia lumínica na EPS de Ferrol”.

O obxectivo deste traballo é realizar un estudo de mellora da eficiencia luminosa, para diminuír o consumo de eléctrico e xerar uns aforros que permitan a posta en marcha dun sistema fotovoltaico, que permita diminuír aínda máis o consumo de enerxía.

Vale resaltar que o traballo está baseado en dous núcleos, primeiro un que corresponde á parte do sistema fotovoltaico e outro que corresponde ao estudo da eficiencia luminosa.

En primeiro lugar, temos unha introdución xeral á paisaxe enerxética e enerxías renovables. Logo discutimos a normativa de aplicación e facemos unha introdución á enerxía solar. Despóis diso, pasamos a enerxía fotovoltaica e ao estudo da instalación fotovoltaica da EPS de Ferrol.

A continuación, comeza a parte de eficiencia luminosa. En primeiro lugar, unha introdución ao tema e, en segundo lugar, este estudo dividiuse en 3 partes, que son, inventariados, cálculos e aforro-amortización. Finalmente, preséntanse as conclusións e as fichas técnicas.

The title of the present final degree project is "Technical, energetic and economic study of a photovoltaic system and the luminous efficiency at the E.P.S of Ferrol".

The objective of this work is to carry out a study to improve light efficiency, in order to reduce electricity consumption and generate savings that allow the implementation of a photovoltaic system that further reduces electricity consumption.

It should be noted that the work is based on two main cores, first one corresponding to the part of the photovoltaic installation and another corresponding to the study of light efficiency.

In the first place, we have a general introduction to the energy scene and to renewable energies. Next, we comment on the application regulations and we make an introduction to solar energy. After that, we enter the photovoltaic energy and the study of the photovoltaic installation of the HPS of Ferrol.

Then the light efficiency part begins. First, an introduction to the topic and, secondly, this study has been divided into 3 parts, which are: inventoried, calculations and savings-amortization. Finally, the conclusions of the project are presented.

2. Antecedentes

2.1. Panorama actual

El desarrollo sostenible se define como "aquel que satisface las necesidades del presente, sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades".

Uno de los mayores retos que afronta el mundo en este siglo, incluido España, son las consecuencias del cambio climático. "Somos la primera generación en notar las consecuencias del cambio climático y la última que puede hacer algo para remediarlo".

Actualmente somos más de 7,3 billones de personas y subiendo. Para 2024 se espera superar los 8 billones y en 2050, según estimaciones de Naciones Unidas, seremos 9,5 billones. Por tanto, la demanda energética mundial está en constante aumento debido a dos corrientes. Por una parte, la población de países subdesarrollados tecnológicamente que quiere dejar de estarlo y, por otra parte, el aumento poblacional.

En diciembre de 2015 tuvo lugar la COP21 ("Conference of parties"), la cumbre sobre el clima más importante hasta la fecha y en la cual se pusieron sobre la mesa los objetivos a cumplir para evitar que en las próximas décadas tengamos un incremento de la temperatura media global de dos grados centígrados.

Podría no parecer mucho, pero ese es el valor medio de las estimaciones de los científicos, según el cual llegaríamos a un incremento descontrolado de la temperatura de nuestro planeta. Esto sería así, en gran medida por el deshielo de los polos y el

consecuente aumento de la temperatura por la pérdida de reflexión de la radiación que incidía en esta superficie.

Tras esta breve introducción al panorama actual, que pone de manifiesto el actual cambio climático en el que nos encontramos, aceptado por el 97% de los científicos y para no alargar esta introducción, pasamos a definir el sistema energético actual, tras lo cual, comentaremos normativa sobre energías renovables (EERR en adelante).

2.2. Sistema energético español

A continuación, se comentan los consumos finales de energía que han tenido lugar en nuestro país en los últimos años. Estos datos están recopilados del IDAE.

En el año 2009, el 11% de la energía consumida en España procedió de fuentes renovables.

Tabla 1: Origen de la energía consumida en España. Elaboración propia

Unidad de medida: kTEP	Julio 2014- junio 2015	Porcentaje	Suma
Carbón	1.522	2%	85%
Productos Petrolíferos	41.802	51%	
Gas Natural	14.232	17%	
Electricidad no renovable	12.710	15%	
Electricidad renovable	7.060	9%	15%
Renovables Térmicas	5.329	6%	
TOTAL	82.655	100,00%	

Como se aprecia detalladamente en este cuadro, del total de energía consumida en nuestro país entre junio de 2014 y junio de 2015, un 15% provino de fuentes renovables. A continuación, se presenta un gráfico en el que se aprecia más fácilmente esta distribución.

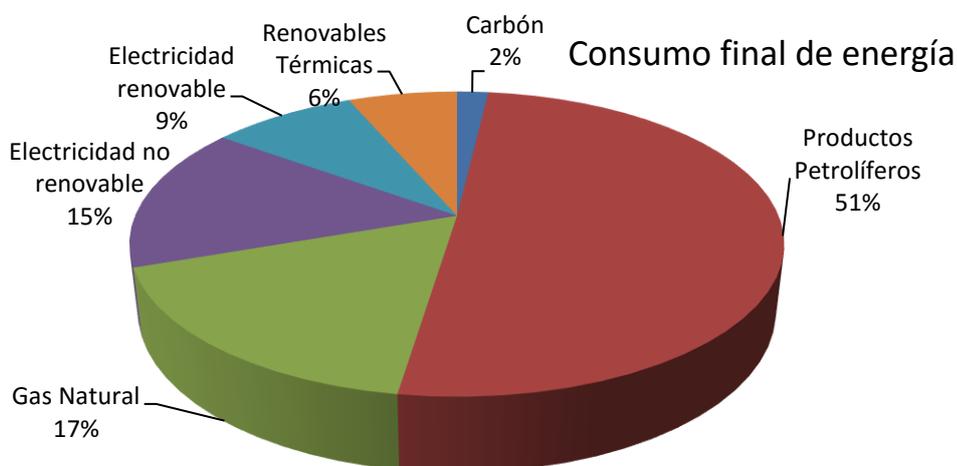


Figura 1: Gráfico de consumo energético final Fuente: IDAE. Elaboración: propia.

Los datos que se acaban de leer son los correspondientes al consumo total del país. Entre ellos se incluyen la red eléctrica, el transporte, el gas, el petróleo... Como se verá posteriormente, hay una serie de líneas de actuación en materia de transición energética en las que España se ve envuelto por el mero hecho de pertenecer a la comunidad europea. En octubre de 2014 se acordó el «Marco de actuación en materia de Clima y Energía hasta el año 2030» que obliga a los países de la UE a alcanzar para 2030 un 27% mínimo de aportación renovable al total de la energía consumida. España está lejos de esa cifra todavía. Pero lo más alarmante es que, a este ritmo de transición energética, los objetivos derivados de la COP21 (que son más ambiciosos que los del marco que acabamos de nombrar) son completamente inaccesibles.

2.2.1. Sistema eléctrico español

Seguidamente, se presenta un gráfico que ilustra el consumo de energía eléctrica dividido en las diferentes tecnologías de generación de electricidad.

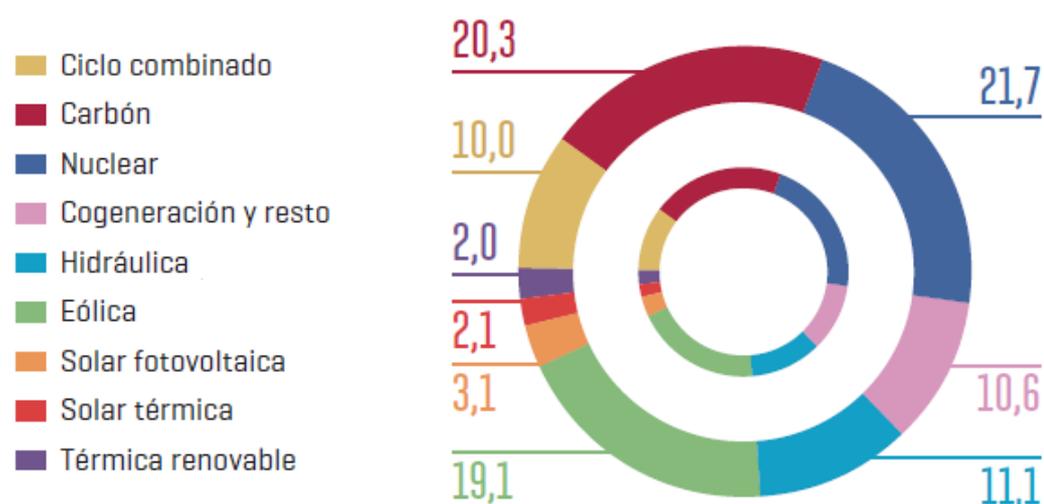


Figura 2: Gráfico de consumo energía eléctrica por tipo de generación Fuente: IDAE.

De este gráfico se extrae que, a nivel de red eléctrica española, hay un 37,6% de electricidad cubierta con energías renovables. Ya que, sumando hidráulica, eólica, solares y térmica renovable, se obtiene ese resultado.

Hay que tener cuidado, por tanto, a la hora de diferenciar entre el porcentaje de renovables que corresponde a la red eléctrica española y el que pertenece al conjunto de energía consumida en el país. Que, como se vio anteriormente, en 2015, fue un 15%, valor muy alejado de ese 37,6%.

2.2.2. Dependencia energética

Además de las razones obvias para apostar por las EERR. Hay otra importante, que es la dependencia energética que tiene el país.

La media, en cuanto a dependencia energética en la unión europea, se sitúa en el 53,2%. España se encuentra con un 73,2%. En el siguiente gráfico, se muestra la evolución de la dependencia energética en España en los últimos años.

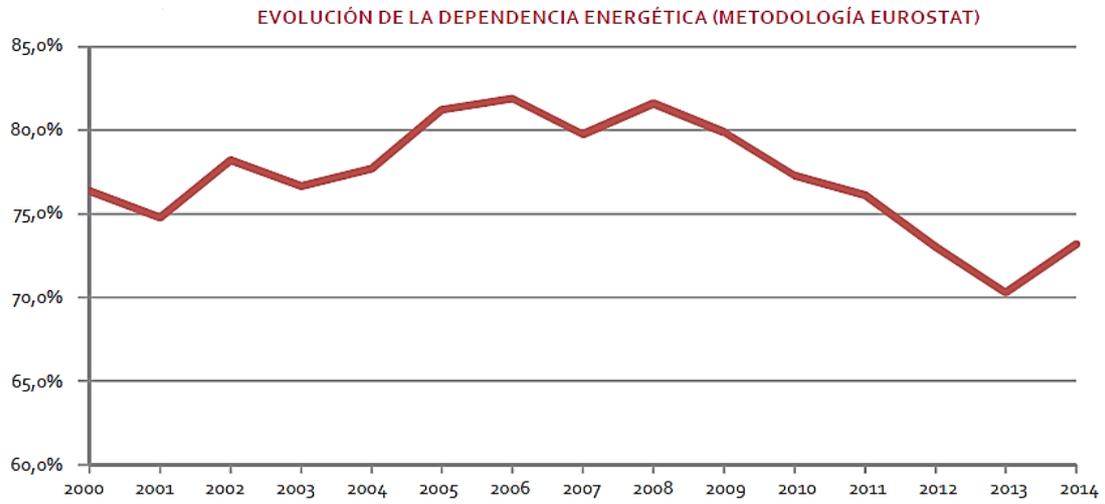


Figura 3: Gráfico de dependencia energética con otros países. Fuente: Idae

3. Normativa sobre EERR

3.1. Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de abril de 2009, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables

Esta Directiva relativa al fomento del uso de energías procedentes de fuentes renovables, que entró en vigor fue el 25 de junio de 2009, considera los siguientes puntos:

- El desarrollo de las energías procedentes de fuentes renovables debe vincularse estrechamente al aumento de la eficiencia energética, con el fin de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en la Unión europea.
- El objetivo obligatorio de alcanzar una cuota del 20% de energía procedente de fuentes renovables en el consumo total de energía de la UE para 2020 y el objetivo vinculante de conseguir un mínimo del 10% de contribución de energía renovable por parte de los Estados miembros en el sector del transporte. Es decir, mediante biocarburantes, electricidad de origen renovable o hidrógeno. Pero únicamente mediante una producción sostenible de los mismos.
- La mejora de la eficiencia energética es un objetivo clave de la Comunidad cuya finalidad es lograr una mejora del 20% en la eficiencia energética de aquí a 2020.

Los objetivos globales nacionales obligatorios y medidas para el uso de energía procedente de fuentes renovables son los siguientes:

- El objetivo nacional está fijado en una cuota equivalente de energía del 20%, como mínimo, procedente de fuentes renovables. En el caso de España, se fijó también un 20%.
- Para poder alcanzar estos objetivos los estados miembros de la Unión Europea podrán aplicar las siguientes medidas:

Sistema de apoyo y mecanismos de cooperación entre los distintos países miembros y con países terceros, para alcanzar los objetivos nacionales.

Cada país miembro velará porque la cuota de energía procedente de fuentes renovables en todos los tipos de transporte en 2020 sea como mínimo el equivalente a un 10% en su consumo final.

Cada país miembro de Europa adoptará un plan de acción nacional en materia de energía renovable, estos planes deben ser notificados a la Comisión a más tardar el 30 de junio de 2010.

Por tanto, pasamos a definir el plan que fue presentado por nuestro país en ese mismo 30 de junio de 2010.

3.2. Plan de acción nacional de las EERR 2011-2020

Este plan fue elaborado para responder a los requerimientos y a la metodología de la Directiva de energías renovables y se ajusta al modelo de planes de acción nacionales de energías renovables adoptado por la Comisión Europea. Por tanto, la función de este plan fue la de crear unos estatutos que ayudasen a reducir las emisiones de CO₂ y a cumplir con los objetivos fijados en la normativa europea descrita en el apartado anterior.

Para cumplir con el plan, propone una serie de medidas generales y específicas para cada tipo de tecnología renovable.

Medidas generales:

1. Elaboración de un marco que agilice los procedimientos administrativos de instalaciones renovables.
2. Desarrollar un procedimiento reglado simplificado para la obtención de autorizaciones administrativas en proyectos de EERR para aplicaciones térmicas.
3. Apoyo a la I+D+i en sistemas de almacenamiento de energía.
4. Mantenimiento de una participación pública activa en I+D+i en el sector de las EERR, estableciendo programas de apoyo anuales para las iniciativas industriales prioritarias de desarrollo tecnológico, encaminadas a la reducción de los costes de generación principalmente en los sectores eólico y solar.
5. Desarrollo de líneas de investigación e innovación científica, que promuevan el desarrollo tecnológico de prototipos de aprovechamiento de energías renovables en el mar.
6. Desarrollo de tecnologías marinas específicas, especialmente dirigidas al despliegue en aguas profundas de proyectos de aprovechamiento de las EERR (eólica, energía de las olas, etc).
7. Apoyo financiero a la implantación de plataformas experimentales nacionales de primer nivel y alta especialización, con reconocimiento internacional.

3.3. Medidas en el campo de la generación eléctrica con EERR

1. Cambio hacia un sistema de redes inteligentes de transporte y distribución (*smart grids*).
2. Favorecer las instalaciones de generación eléctrica a partir de fuentes renovables destinadas al autoconsumo, mediante el establecimiento de los sistemas más idóneos basados en balance neto y compensación de saldos de energía.
3. Establecer un marco retributivo estable, predecible, flexible, controlable y seguro para los promotores y el sistema eléctrico.
4. Revisión de la Planificación vigente para los Sectores de Gas y Electricidad (aprobada en mayo de 2008 para el período 2008-2016), y adecuado desarrollo de las infraestructuras eléctricas de transporte.
5. Planificación específica de las infraestructuras de evacuación eléctrica asociadas a los proyectos marinos (eólica, energía de las olas, etc.) teniendo en cuenta el grado de avance en la tramitación administrativa. Posibilidad de establecer corredores eléctricos marinos de transporte hasta las zonas de implantación de proyectos marinos.
6. Puesta en servicio de nuevas interconexiones internacionales (especialmente con Francia).
7. Aumento de la capacidad de almacenamiento energético, mediante la puesta en servicio de nuevas centrales de bombeo.
8. Potenciación de la gestión de la demanda en tiempo real, facilitando la participación del usuario eléctrico final mediante medidas encaminadas al aplanamiento de la curva de demanda (carga de baterías de vehículos eléctricos, y otras).
9. Establecimiento de un cupo específico para proyectos experimentales.
10. Nueva regulación para facilitar la conexión de las instalaciones de generación eléctrica con energías renovables de pequeña potencia asociadas a centros de consumo interconectados con la red eléctrica, especialmente en baja tensión.

Para no alargar esta parte del trabajo nombraremos las medidas específicas que afectan directamente a la fotovoltaica.

3.4. Medidas específicas en el sector solar

1. Medidas de difusión, promoción y adaptación reglamentaria de las instalaciones solares (fotovoltaicas, térmicas y termoeléctricas) para fomentar su penetración horizontal en todos los sectores (edificación, agropecuario, industrial y servicios).
2. Desarrollo de los mecanismos necesarios para fomentar las instalaciones de desalación basadas en tecnologías solares (la térmica de baja temperatura, fotovoltaica y termoeléctricas).
3. Impulso a proyectos para la optimización de las instalaciones solares térmicas que incluyan soluciones integrales (ACS, calefacción y refrigeración).
4. Medidas para la profesionalización del sector y para fomento del cambio de percepción de los usuarios mediante la difusión de las ventajas de la energía solar, así como de los derechos y obligaciones de sus usuarios.

3.5. Marco actuación en materia de Clima-Energía hasta el año 2030

Uno de los hitos más relevantes de la política energética europea durante 2014 ha sido la aprobación del «Marco de actuación en materia de Clima y Energía hasta el año 2030», acordado durante el Consejo Europeo de octubre de 2014.

Este acuerdo, que deberá aplicarse en la UE a partir de 2021, incluye los siguientes objetivos de política energética europea para 2030:

- Reducir obligatoriamente las emisiones de gases de efecto invernadero de la Unión por lo menos en un 40 % para 2030 con respecto a los valores de 1990.
- La cuota de energías renovables dentro del consumo total de energía de la UE en 2030 será como mínimo del 27 %. Este objetivo será vinculante a escala de la UE y se cumplirá mediante contribuciones particulares de cada Estado miembro, a determinar mediante planes nacionales de gobernanza que deberán pactarse con la Comisión Europea.
- Se establece un objetivo indicativo de mejora de la eficiencia energética en al menos en un 27 % en 2030 con respecto a las previsiones de consumo energético futuro sobre la base de los criterios actuales.
- La Comisión Europea tomará medidas urgentes para alcanzar un objetivo mínimo del 10 % de las interconexiones de electricidad existentes con carácter de urgencia y a más tardar en 2020, al menos para los Estados miembros que no hayan logrado un nivel mínimo de integración en el mercado interior de la energía (Estados Bálticos, Portugal y España) y con la finalidad de alcanzar un objetivo del 15 % en 2030.

- Ambos objetivos de interconexión se alcanzarán mediante la ejecución de proyectos de interés común. En los casos en que la ejecución de estos proyectos no sea suficiente para alcanzar el objetivo del 10 %, se definirán nuevos proyectos, que se añadirán con carácter prioritario a la lista de proyectos de interés común en la próxima revisión de esta y que se ejecutarán con rapidez. Estos proyectos deberán ser cofinanciados por la UE.

- Se renovará el instrumento NER300 vigente, también para la captura y el almacenamiento de carbono y para las fuentes de energía renovables, ampliando su ámbito de aplicación a la innovación hipocarbónica en los sectores industriales e incrementando su dotación inicial a 400 millones de derechos de emisión (NER400).

- Se señala el compromiso del Consejo Europeo para construir a partir de 2015 una Unión de la Energía que permita garantizar una energía asequible, segura y sostenible, tal y como se expone en la Agenda Estratégica, y evaluará regularmente los progresos realizados hacia la consecución de dicho objetivo.

3.6. Conference of parties

Como se mencionó anteriormente, en diciembre de 2015 tuvo lugar la COP21. La conferencia de las partes que sirvió como punto de partida para llevar a cabo un cambio en nuestro modelo energético, entre otros factores. El problema de este acuerdo, al que han llegado 198 países, es decir, prácticamente la mayoría de los países del planeta, es que es insuficiente para evitar el temido aumento de la temperatura media global de 2 grados centígrados. Y no lo dice un servidor, lo dicen desde ONGs como “Manos unidas”, “Oxfam”, pasando por organizaciones sin ánimo de lucro que defienden los intereses del planeta como “Greenpeace” o “Ecologistas en acción”, también partidos políticos como “Izquierda Unida” y “Equo”, además de muchos expertos en materia de energías renovables y medio ambiente.

La mayoría de estos destacan la importancia del pacto y consideran un buen punto de partida el hecho de marcar el límite de los dos grados, pero lo consideran insuficiente por la falta de planes y la inexistencia de obligaciones legales por incumplimiento de los objetivos. Es decir, se trata de una declaración de intenciones. Se reconoce que es necesario tomar medidas, pero no se dice ni cómo, ni cuándo. No hay una cuantificación de reducción de emisiones, ya que, simplemente se expone que los países deben esforzarse por reducir las mismas. Otra de las medidas que se echa en falta es la prohibición de las subvenciones a energías vinculadas a combustibles fósiles.

Si bien, hay que decir que es un punto de partida para un posible cambio, ya que se ha conseguido implicar a países que hasta ahora se habían abstenido de cualquier participación en eventos relacionados con el Cambio Climático, como es el caso de China y sin los cuales la lucha contra el Cambio Climático sería fallida.

Este acuerdo no entrará en vigor hasta el 2020. Esa es la fecha límite que tienen las Partes para entregar un plan de estrategias de bajas emisiones de gases de efecto invernadero a largo plazo, con vistas a mediados de siglo. Para ello, España deberá realizar un nuevo plan de energías renovables, en lugar de llevar a cabo la desinversión en EERR que se ha venido llevando en los últimos años.

Deberá cumplirse, no como ha ocurrido con el protocolo de Kyoto, en el cual, en la Unión europea se comprometían a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero un 8% con respecto a valores de 1990-1995 y lejos de reducirlas, en España hemos aumentado las de CO₂ un 9,5%.

Por tanto, es importante no esperar a que el gobierno haga todo el trabajo en materia de transición energética y que, además de las del estado, se lleven a cabo iniciativas que comprendan cambios energéticos hacia energías limpias, tanto a nivel de comunidades autónomas, provincias, ciudades, ayuntamientos e incluso como es el caso de este TFG, a nivel de universidades. Las cuales suponen, nada más y nada menos, que, aproximadamente, el 0,3% de la demanda energética del país.

4. Introducción a las energías renovables

Lo primero es definir lo que entendemos por energía renovable:

Las energías renovables son aquellas tecnologías de generación respetuosas con el medioambiente y que provienen de fuentes inagotables o naturalmente renovables en escalas de tiempo humanas.

Estas fuentes pueden ser el sol, el viento, la lluvia, las mareas, las olas, el calor geotérmico... Pero al final todas estas fuentes provienen del mismo lugar, el Sol. Ya que el Sol produce cambios de presión en la atmósfera, que producen los vientos, la evaporación del agua, gracias a la cual, se almacena en presas... Provoca el crecimiento de la vegetación mediante la fotosíntesis, que posteriormente se usa en la biomasa, etc.

4.1. Principales energías renovables

A continuación, se definen los 8 principales tipos de energías renovables que existen atendiendo al origen de los recursos naturales utilizados para la generación de la energía:

4.1.1. Solar

Dentro de la energía solar hay dos grandes tipos, que son la energía fotovoltaica y la solar térmica. La solar fotovoltaica será explicada más adelante con detalle. La solar térmica se basa en extraer la energía de la luz solar a partir de un sistema formado por un colector que transmite calor a un fluido de trabajo, que será usado posteriormente en un intercambiador de calor.



Figura 4: Campo de paneles solares fotovoltaicos en Neuhardenberg, Alemania

Pero también hay otra forma de extraer la energía de la luz solar, mediante los llamados combustibles solares. Se trata de un combustible producido a partir de la luz solar mediante un proceso de fotosíntesis artificial. La energía de la luz se convierte en energía química, que normalmente trata de reducir protones a hidrógeno o dióxido de carbono a compuestos orgánicos.

Un combustible solar puede ser producido y almacenado para su uso posterior, cuando la luz solar no está disponible, lo cual es una alternativa a los combustibles fósiles.

4.1.2. Eólica

La tecnología eólica es la más consolidada de todas. En España es la renovable que más electricidad aporta al sistema eléctrico.



Figura 5: Parque eólico de Oaxaca, México

Los aerogeneradores, que convierten la energía cinética del viento, en energía mecánica mediante sus palas y en energía eléctrica mediante un alternador, se han convertido en parte del paisaje en muchas regiones del país.

4.1.3. Energía hidráulica

Este tipo de energía aprovecha el ciclo natural del agua. Consiste en construir presas artificialmente o aprovechar accidentes geográficos naturales para almacenar el agua y por tanto, su energía potencial, para posteriormente transformarla mediante una caída en cinética y eléctrica.



Figura 6: Hidroeléctrica de Aldeadávila, Salamanca

Esta tecnología ha cubierto el 11,1% de la demanda eléctrica de la península ibérica este pasado 2015.

4.1.4. Energía undimotriz y maremotriz

La energía undimotriz se basa en aprovechar la energía mecánica de las olas. El sistema consiste en conseguir una corriente de aire gracias a un cambio del nivel del agua en una cámara por el movimiento de las olas. Esta es una de las tecnologías renovables más estudiadas en la actualidad.



Figura 7: Central undimotriz de Motrico, España (primera del mundo).

La energía maremotriz consiste en almacenar el agua tras un dique cuando la marea sube, cerrar la compuerta cuando está en su punto máximo, esperar a que baje la marea y abrirla cuando hay bajamar, para así hacerla pasar por una turbina que genere electricidad.

4.1.5. Bioenergía

Este tipo de energía procede del aprovechamiento de materia orgánica, como plantas, residuos de animales y personas. Dependiendo del tipo de materia a aprovechar, existen varios tipos. La biomasa suele aprovechar los residuos forestales y agrícolas. El biogás, que a menudo aprovecha residuos animales mediante un tratamiento anaeróbico de los mismos, gracias a la descomposición generada por bacterias y al aprovechamiento del metano producido.



Figura 8: Planta de biomasa en Córdoba, España.

También existen biodiésels y biocarburantes que se consiguen tras procesar aceites vegetales y grasas animales.

4.1.6. Geotérmica

Este sistema consiste en hacer pasar unas tuberías por el subsuelo con agua glicolada para recoger el calor de las profundidades. Se intercambia energía en un evaporador con un refrigerante, el nuevo fluido se comprime y cede calor al refrigerante que cederá el calor al circuito de agua de unos radiadores, piscina climatizada o a la aplicación escogida.



Figura 9: Central geotérmica de Yanaizu, prefectura de Fukushima, Japón.

El sistema puede aprovechar el calor del suelo a gran profundidad o en zonas más superficiales y cuanto más profundo llegue, menos energía habrá que gastar en el compresor.

4.2. Síntesis

En el momento actual, la gran mayoría de tecnologías renovables compiten con las no renovables, ya que gracias a la mejora en los procesos de fabricación se han reducido mucho los costes de producción. Hay que recordar que la gran ventaja económica de las renovables, es que prácticamente la totalidad de los costes se encuentran en la puesta en marcha. Una vez que el sistema comienza a funcionar, los costes son mínimos, no ocurriendo lo mismo con las tecnologías convencionales.

Es una lástima que en nuestro país hayamos pasado de ser una referencia en el sector de las energías renovables, a estar a la cola en instalación de megavatios de este tipo de tecnologías durante el 2015. Además, esto ocurre cuando más falta hace (ecológicamente hablando) y cuando más barato sería hacerlo (ya que, por ejemplo, a día de hoy, los paneles fotovoltaicos valen un 80% menos que hace cinco años).

Esto ha ocurrido en un momento de crisis económico-financiera, debido a la mentalidad cortoplacista del gobierno y a la omisión del coste medioambiental y social que supone la apuesta en tecnologías contaminantes.

El 2015 concluyó con una disminución de la aportación al sistema eléctrico proveniente de energías renovables. Según el avance del sistema eléctrico español elaborado por la Red eléctrica de España, este descenso en la energía renovable producida en nuestro país es consecuencia de la reducción de las reservas hidráulicas. Esta disminución en las reservas es causada por la ausencia de lluvias, que a su vez es causada en gran medida al aumento de la temperatura y que a su vez está causado por el cambio climático.

Por tanto, lejos de seguir apostando por energías limpias con las que no se tendría dependencia de otros países, se está invirtiendo dinero en el carbón (que actualmente es la segunda tecnología que más electricidad produce en el país, tras la nuclear), cuya quema es la principal causa del cambio climático.

Centrándonos en la fotovoltaica, llama la atención encontrarse con los siguientes datos:

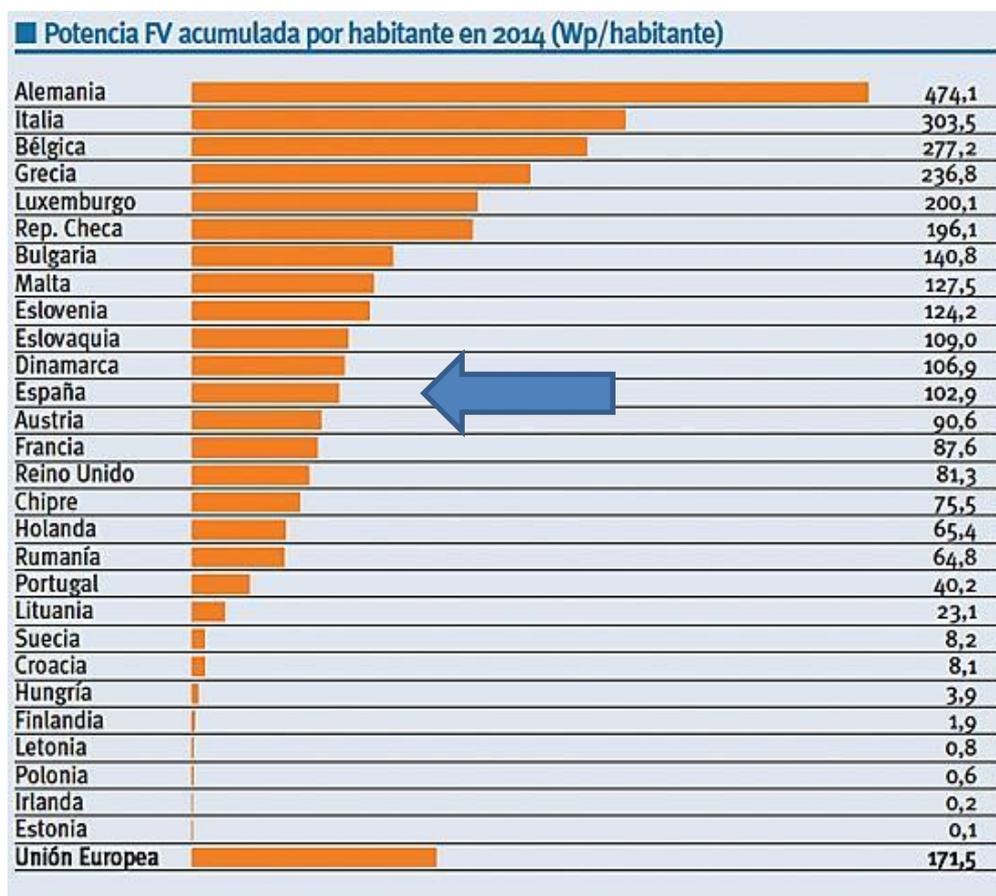


Figura 10: Gráfico de potencia acumulada por habitante en países de la UE.

En cuanto a potencia instalada de fotovoltaica, por habitante de la Unión europea, España ocupa el puesto número doce. Lo que en nuestro país se traduce en un 4,3% de fotovoltaica con respecto al total de potencia instalada del país.

Hay dos factores que hacen que esta situación sea llamativa. La primera es que España es uno de los países con mayor PIB de Europa y la segunda y más importante es que tenemos el mayor índice de radiación solar de todos los países de la Unión europea.

Tras la introducción, se pretende dejar claro que la esencia de este trabajo de fin de grado, reside en una esperanza de cambio plasmada en medidas de ahorro energético y de transición a energías limpias, como la que este trabajo aporta.

5. Energía solar

5.1. Movimiento relativo Tierra con respecto al Sol

Dado que la energía que se usa en las aplicaciones solares, proviene, obviamente del Sol, se va a ver, en primer lugar, el movimiento relativo de nuestro planeta con respecto al astro. Este movimiento se divide en una rotación sobre su propio eje y en una traslación.

5.2. Movimiento de rotación

Es el movimiento que realiza la Tierra alrededor de su propio eje de oeste a este. Por tanto, tomando como punto de referencia el Norte, la Tierra gira en sentido opuesto a las agujas del reloj. Dando una vuelta completa en el tiempo que corresponde a un día. Este movimiento es causante de la sucesión del día y la noche, además de las diferencias horarias en la Tierra.

5.3. Movimiento de traslación

Es el movimiento que realiza la Tierra cuando se desplaza alrededor del Sol, describiendo una órbita de forma elíptica, cuyo foco es el Sol. La distancia de la Tierra al Sol es de 150 millones de km y su velocidad con respecto al astro es de 30 Km/s. El tiempo que tarda en recorrer una órbita completa es un año. La distancia entre la Tierra y el Sol no es constante durante todo el año, teniendo una posición de máximo alejamiento, denominado afelio, y una posición de máximo acercamiento, llamada perihelio. Consecuencia de este movimiento, resultan los cambios de temperatura durante el año que caracterizan cada una de las diferentes estaciones del año.

5.4. Inclinação de la Tierra y estaciones del año

La inclinación del eje terrestre, junto con los movimientos de traslación y rotación, son la causa de que la duración de los días varíe con el paso de lo que llamamos estaciones. De la inclinación del eje de la Tierra depende, también, la temperatura de las distintas zonas de la superficie del planeta.

Para entender esto, hay que tener claro que si se traza una línea perpendicular a la eclíptica (superficie de la elipse que describe la Tierra en su movimiento alrededor del Sol) y la comparamos con el eje de rotación de la Tierra, se apreciará que hay una diferencia de $23,5^\circ$. Esto quiere decir que el eje norte-sur del planeta no gira de manera

perpendicular con respecto al plano de traslación. Y es precisamente este desfase, el que da lugar a las estaciones.

Por esta razón, en el hemisferio Norte es verano cuando en el Sur es invierno y viceversa. Y por ello, en nuestro país, además de tener días más largos en verano, se recibe más cantidad de radiación solar, ya que los rayos solares en esta época atraviesan la atmósfera de manera más perpendicular y, por consiguiente, atravesarán una cantidad de gases menor.

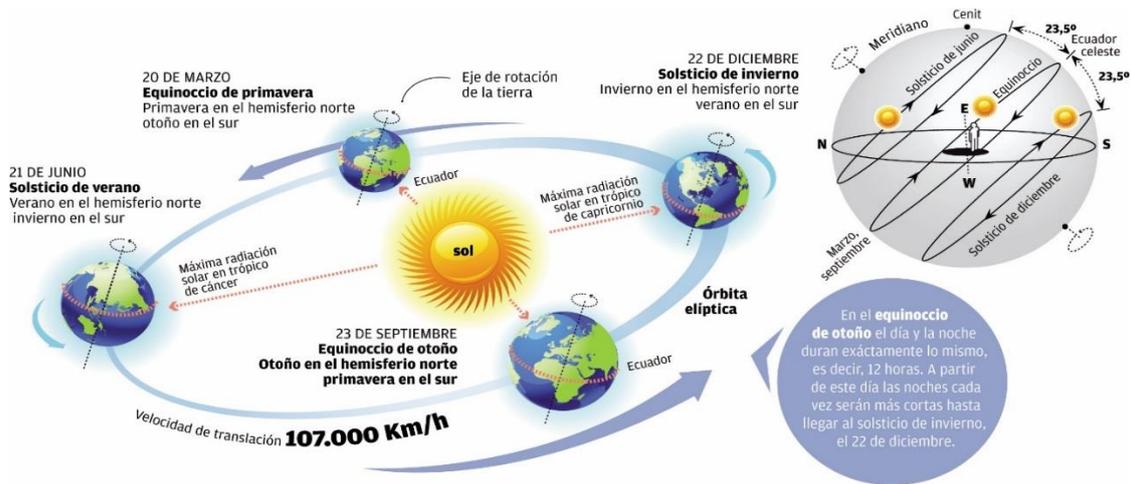


Figura 11: Explicación del movimiento relativo de la Tierra con respecto al Sol.

5.5. Latitud y longitud

La latitud de una zona es la distancia angular desde el Ecuador hasta el punto a considerar, medida a lo largo del meridiano. Su unidad de medida son los grados sexagesimales, positivos para el Norte y negativos para el Sur. El grado cero corresponde al Ecuador. En el Polo Norte, la latitud es $+90^\circ$ y en el Polo Sur es -90° .

La longitud es la distancia angular desde el meridiano de Greenwich (meridiano que se toma como referencia cero), medida a lo largo del paralelo. Su unidad de medida también son grados sexagesimales, positivos para el Este y negativos para el Oeste. Por tanto, la longitud varía de 0° a 180° Este y de 0° a 180° Oeste.

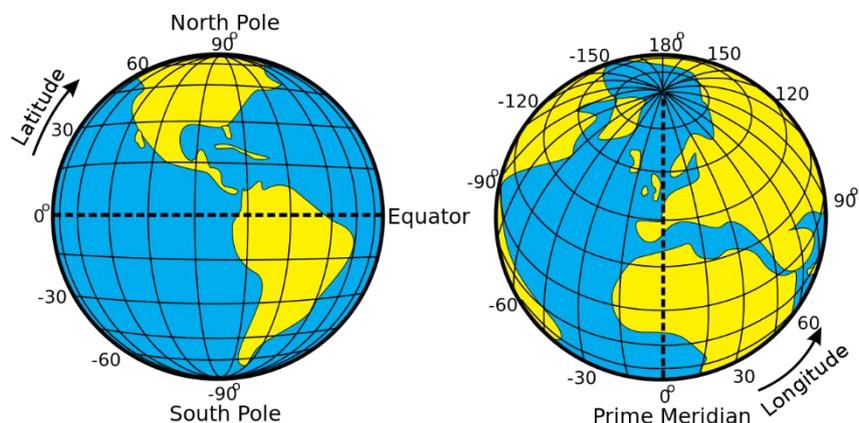


Figura 12: Descripción latitud y longitud.

5.6. Radiación emitida por el Sol

5.6.1. Introducción

La radiación solar es el conjunto de radiaciones electromagnéticas que son emitidas por el Sol. Este astro se encuentra a una temperatura media de 6.000K y posee el 99,8% de la masa del sistema solar. En su interior tienen lugar reacciones de fusión que producen una pérdida de masa y su consecuente transformación en energía. Esta energía que se libera es lo que conocemos como radiación solar.

Estas radiaciones se distinguen por sus diferentes longitudes de onda. Algunas, como las ondas de radio, llegan a tener longitudes de onda de kilómetros, mientras que las más energéticas, como los rayos X o las radiaciones gamma, tienen longitudes de onda de milésimas de nanómetro.

La radiación en el Sol es de unos 63.450.720 W/m². La energía que llega al exterior de la atmósfera terrestre sobre una superficie perpendicular a los rayos solares, lo hace en una cantidad fija, llamada constante solar (1.353W/m²).

5.6.2. Espectro de la radiación solar terrestre

Esta energía es una mezcla de radiaciones de longitudes de onda entre 200 y 4000 nm, que se distingue entre radiación ultravioleta, luz visible y radiación infrarroja.

Sin embargo, existen diferencias significativas entre la distribución espectral de la radiación que incide sobre la parte exterior de la atmósfera y la distribución espectral de la radiación que llega a la superficie terrestre. Esto es debido principalmente a que las moléculas de gas y las partículas suspendidas absorben una parte de la radiación y retienen una fracción de energía en forma de calor, provocando atenuaciones significativas en la intensidad de la radiación solar.

La radiación ultravioleta (UV) representa, apenas un 8-9% del total de la energía contenida por la insolación. El rango visible representa el 46-47% del total de la energía recibida del Sol. Casi la totalidad del restante 45% se encuentra en rangos cercanos al infrarrojo.

Radiación ultravioleta: es la de menor longitud de onda (360 nm), la cual lleva mucha energía e interfiere con los enlaces moleculares. Especialmente las de menos de 300 nm, que pueden alterar las moléculas de ADN, muy importantes para la vida. Estas ondas son absorbidas por la parte alta de la atmósfera, especialmente por la capa de ozono.

Radiación visible: correspondiente a la zona visible cuya longitud de onda está entre 360 nm (violeta) y 760 nm (rojo), por la energía que lleva, tiene gran influencia en los seres vivos. La luz visible atraviesa con bastante eficacia la atmósfera limpia, pero cuando hay nubes o masas de polvo, parte de ella es absorbida o reflejada.

Radiación infrarroja: la de más de 760 nm es la que corresponde a longitudes de onda más largas, y lleva poca energía asociada. Su efecto aumenta la agitación de las moléculas, provocando el aumento de la temperatura. El CO₂, el vapor de agua y las pequeñas gotas de agua que forman las nubes absorben con mucha intensidad las radiaciones infrarrojas.

5.6.3. Tipos de radiaciones solares en la Tierra

Podemos hacer una clasificación de los tipos de radiación solar, en función del camino que recorren hasta alcanzar la superficie terrestre. Así, la radiación solar puede llegar de manera difusa, directa y reflejada. Llamaremos radiación global a la suma de estas 3.

5.6.3.1. Radiación directa

Es aquella que llega directamente del sol sin haber sufrido cambio alguno en su dirección (sin reflexiones ni refracciones). Se caracteriza por proyectar una sombra definida de los objetos opacos que los interceptan.

5.6.3.2. Radiación difusa

Parte de la radiación que atraviesa la atmósfera es reflejada por las nubes o absorbida por éstas. Esta radiación, que se denomina difusa, va en todas las direcciones como consecuencia de las reflexiones y absorciones, no sólo de las nubes sino de las partículas de polvo atmosférico, montañas, árboles, edificios... Se caracteriza por no producir sombra alguna respecto a los objetos opacos interpuestos. Las superficies horizontales, al contrario que las verticales, son las que más radiación difusa reciben.

5.6.3.3. Radiación reflejada

Es aquella que es reflejada por la superficie terrestre. La cantidad de radiación depende del coeficiente de reflexión de la superficie, también llamado albedo. Las superficies verticales son las que más radiación reflejada reciben.

5.6.3.4. Radiación global

Como acabamos de comentar, la radiación global es la suma de las 3 anteriores.

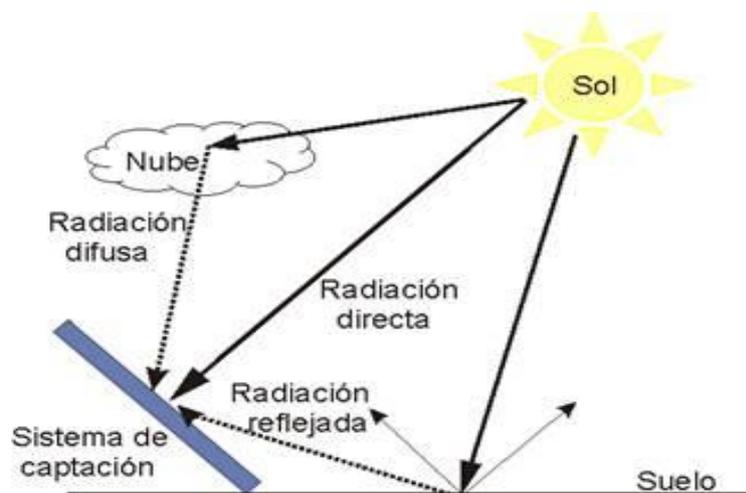


Figura 13: Tipos de radiaciones que inciden en el panel solar

5.6.4. Radiación solar en España

La medida sistemática de la irradiancia (potencia de radiación incidente por unidad de superficie) en España comenzó en los años 60, aunque no fue hasta principios de los 70 cuando, siguiendo las directrices de la Organización Meteorológica Mundial, se creó el Centro Radiométrico Nacional.

Hasta la década de los 90 no se puede hablar de una Red Radiométrica Nacional (RRN) propiamente dicha, si bien, con muy pocas estaciones y obteniendo únicamente datos de radiación global.

Fue en los años 2005 y 2006 cuando se llevó a cabo el que podría considerarse el mayor proceso de actualización y modernización de la Red mediante la instalación de seguidores solares automáticos y nuevos sensores y adquiridores de datos, ampliándola a 25 estaciones radiométricas completas de medida de radiación en banda ancha. Desde entonces, la evolución de los sensores y equipos ha sido constante tanto en su resolución espacial, como temporal y espectral.

Actualmente, la RRN está constituida por 59 puntos de medida. En las llamadas estaciones radiométricas principales de la RRN se llevan a cabo las medidas de las siguientes variables: irradiancia solar global, difusa y directa, ultravioleta B (UVB) e irradiancia infrarroja atmosférica y terrestre.

A continuación, presentamos un mapa de irradianción global de España, siendo la irradiancia, como se comentó arriba, la radiación por unidad de superficie.

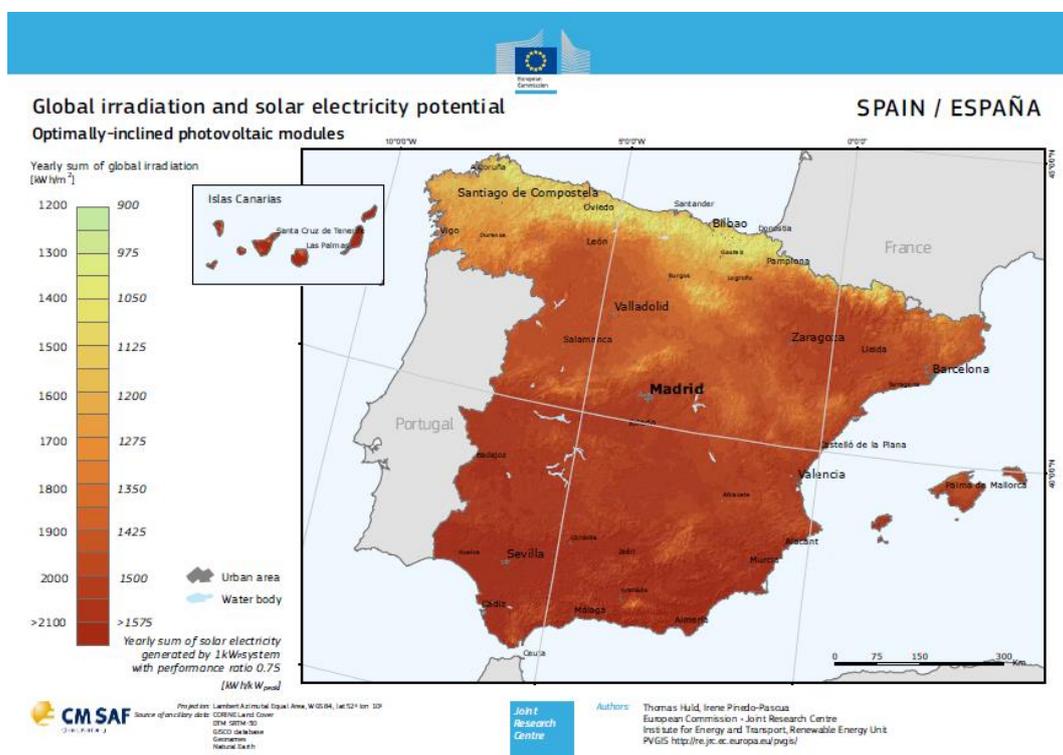


Figura 14: Mapa de irradianción solar y potencial eléctrico en España

En este mapa los colores están asignados a dos parámetros para el caso de módulos inclinados de forma óptima. Los colores definen tanto la irradiación global media anual, como la generación que se obtendría por cada kW pico.

Se aprecia claramente como una misma instalación fotovoltaica tendrá un mayor rendimiento cuanto más sureste sea su situación. Resultando las zonas de un aprovechamiento menor las más situadas al Norte.

A continuación, se muestra un mapa con las mismas medidas, pero en este caso de Europa.

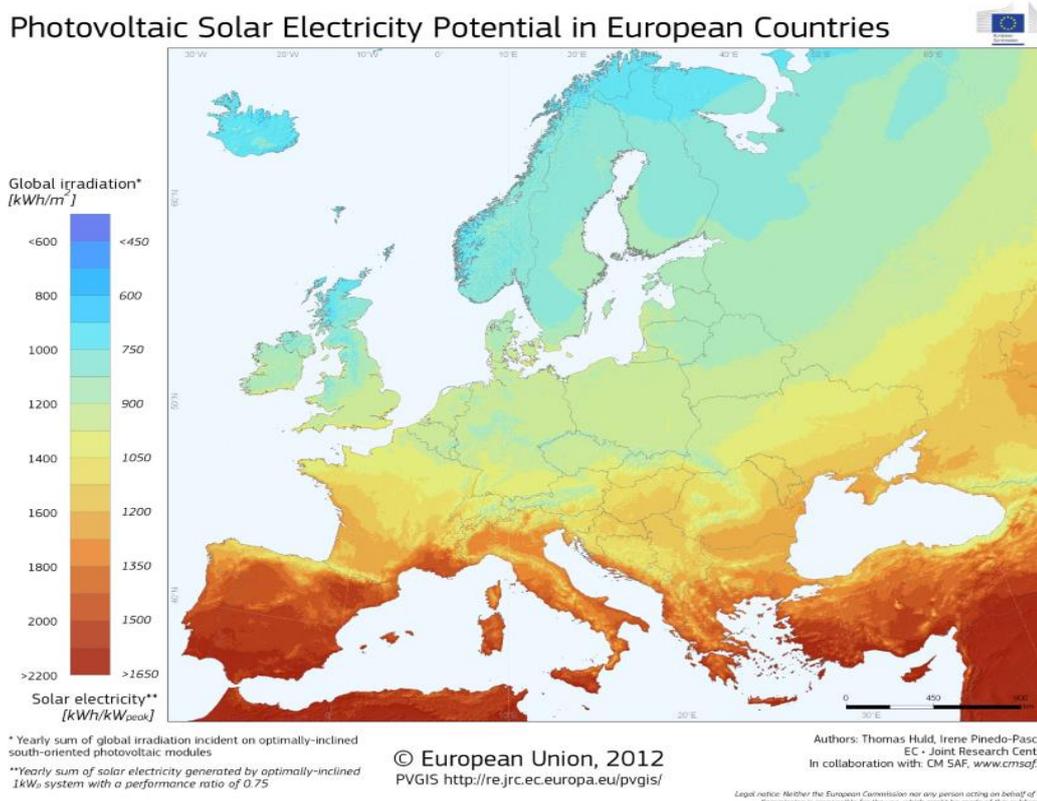


Figura 15: Mapa de irradiación solar y potencial eléctrico en Europa

En este mapa, se puede apreciar la diferencia que existe a nivel de radiación solar entre países como España, Portugal, Italia o Grecia. Incluso si se realizase una comparación entre Galicia, que es una de las comunidades autónomas con menos radiación solar de España, con Alemania, se podría apreciar que el índice de irradiación en la comunidad gallega es superior que el de cualquiera de las regiones del país germano.

5.6.5. Radiación solar en Galicia

En el siguiente gráfico, se aprecia la irradiancia en la provincia de A Coruña. Tanto la global, como la directa y la difusa, separadas.

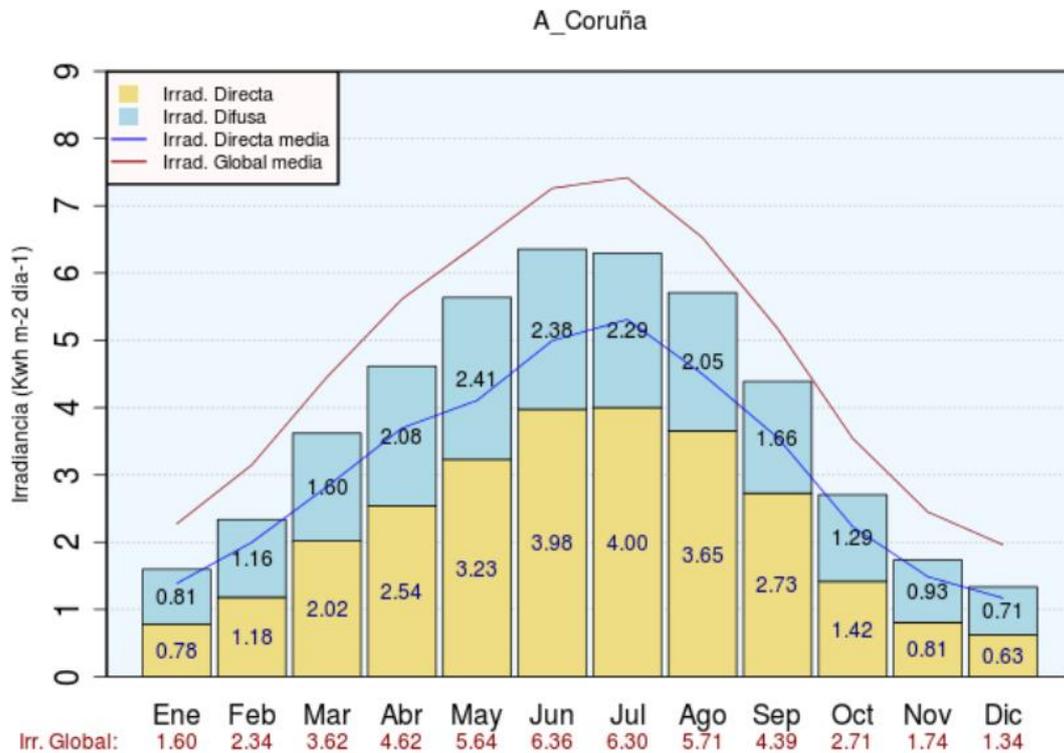


Figura 16: Mapa de irradiación solar en Galicia, medido en kWh/m²

A partir de este gráfico, correspondiente al “Atlas de radiación de AEMET”, se puede obtener el número media anual de HSE en la provincia de A Coruña, resultando de 3,86 h. Lo cual, traducido a horas equivalentes de sol, serían 3,86 horas de sol al día.

Las horas equivalentes de sol proporcionan una idea del potencial solar que tiene una determinada zona. Así, en este caso, se contará con casi 4 horas de sol al día de promedio. Lo cual, a nivel de producción total, es equivalente a decir que se tendrá una radiación en condiciones óptimas ($1000\text{W}/\text{m}^2$) durante casi 4 horas todos los días del año.

Si bien es cierto que en regiones de España se rozan las 6 horas equivalentes de sol. No es menos cierto que el país que más fotovoltaica tiene instalada es Alemania y hace ya 5 años alcanzaron la paridad de red.

Por tanto, lo ideal para mejorar el rendimiento de la instalación fotovoltaica es tener la mayor irradiación posible, pero el hecho de no alcanzar las 4 horas de sol equivalente, no conlleva que una instalación no pueda ser rentable.

6. Energía solar fotovoltaica

6.1. Introducción

La energía solar fotovoltaica se basa en el efecto fotoeléctrico, es decir, en la conversión de la energía lumínica proveniente del sol en energía eléctrica.

La radiación solar se transmite por el espacio en forma de fotones de luz. Estos fotones atraviesan la atmósfera terrestre perdiendo parte de su energía por los impactos con la misma. Esta pérdida de energía será función de la distancia que recorre (latitud y altitud del sol) y del tipo de atmósfera que atraviesen (clara o nublada) hasta alcanzar la superficie de la Tierra.

Cuando fotones de un determinado rango de energía chocan con átomos de ciertos materiales semiconductores (el Silicio es el más representativo) les ceden su energía produciendo un desplazamiento de electrones, que es, en definitiva, una corriente eléctrica.

Estos fotones se caracterizan por su energía y su longitud de onda (que forman lo que se llama espectro solar). Solo una parte de este espectro (que depende del material semiconductor) es aprovechada para el desplazamiento de los electrones.

Los materiales semiconductores, para su utilización en celdas fotovoltaicas, han de ser producidos en purezas muy altas, normalmente con estructura cristalina.

Estos cristales se cortan en rebanadas muy finas (del orden de micras) y se dopan unas con elementos químicos para producir huecos atómicos, lado "p" (en el caso del Si con Boro) y otras con otros elementos para producir electrones móviles, lado "n" (con Fósforo también en el caso del "Si").

La unión de una zona tipo "n", con una tipo "p" (ambas son transparentes y por tanto dejan pasar los fotones), cada una con un conductor eléctrico metálico, forman una célula fotoeléctrica, la cual bajo la incidencia de fotones, crea una corriente de electrones en corriente eléctrica continua a través del circuito eléctrico al que estén conectados los dos conductores de la celda.

6.2. Historia

La palabra fotovoltaico proviene del griego "phos", que significa luz. Voltaico, proviene de la electricidad, en honor al científico italiano Alejandro Volta. El término fotovoltaico comenzó a usarse en Inglaterra en el año 1849.

El efecto fotovoltaico fue reconocido por primera vez en 1839 por el físico francés Becquerel, pero la primera célula solar no se construye hasta 1883. Su autor fue Charles Fritts, quién recubrió una muestra de selenio semiconductor con un pan de oro para formar el empalme.

Este primitivo dispositivo presentaba una eficiencia de solo un 1%. Russel Ohl patentó la célula solar moderna en el año 1946, aunque la era moderna de la tecnología de potencia solar no llegó hasta el año 1954 cuando los laboratorios Bell, descubrieron de manera accidental que los semiconductores de silicio dopado con ciertas impurezas, eran muy sensibles a la luz.

Estos avances contribuyeron a la fabricación de la primera célula solar comercial con una conversión de la energía solar de, aproximadamente el 6%. La URSS lanzó su primer satélite espacial en el Año 1957, y los EEUU un año después. En el diseño de éste se usaron células solares creadas por Peter Lles en un esfuerzo encabezado por la compañía Hoffman Electronics. La primera nave espacial que usó paneles solares fue el satélite norteamericano Vanguard, lanzado en marzo de 1958.

Este hito generó un gran interés en la producción y lanzamiento de satélites geoestacionarios para el desarrollo de las comunicaciones, en los que la energía provendría de un dispositivo de captación de la luz solar. Fue un desarrollo crucial que estimuló la investigación por parte de algunos gobiernos y que impulsó la mejora de los paneles solares.

En 1970, la primera célula solar con estructura de arseniuro de galio (GaAs) y altamente eficiente se desarrolló en la extinguida URSS por Zhore Alferov y su equipo de investigación. La producción de equipos de deposición química de metales por vapores orgánicos o MOCVD (Metal Organic Chemical Vapor Deposition) no se desarrolló hasta los años 80, limitando la capacidad de las compañías en la manufactura de células solares de arseniuro de galio.

La primera compañía que manufacturó paneles solares en cantidades industriales, a partir de uniones simples de Ga-As, con una eficiencia del 17% (para un valor de masa de aire nulo, AM0) fue la norteamericana ASEC (Applied solar Energy Corporation). Una celda de uniones simples de Ga-As llegó al 19% de eficiencia AM0 en 1993. ASEC desarrolló la primera celda de doble unión para las naves espaciales usadas en EEUU, con una eficiencia de un 20% aproximadamente.

Con el paso del tiempo se han ido desarrollando numerosos tipos de células fotovoltaicas, de las cuales, se hablará algo a posterior. El récord de eficiencia hasta el día de hoy es de 44,7% conseguido por el Fraunhofer Institute.

6.3. Tipos de instalaciones según su conexión

Según si estamos hablando de instalaciones fotovoltaicas de autoabastecimiento o no, las podemos clasificar en dos grandes grupos, las aisladas ("off-grid") y las conectadas a la red ("grid-tied").

6.3.1. Sistemas aislados

Este tipo de sistemas se utilizan para independizar el suministro de la red eléctrica. De esta forma, es necesario instalar un equipo de baterías que permita el suministro ininterrumpido de energía a la instalación. Por tanto, se aplican en viviendas aisladas de difícil acceso para la red eléctrica, en viviendas cuyos dueños no quieren tener nada que ver con la red eléctrica y en maquinaria urbana, en la cual compensa hacer la instalación de un sistema fotovoltaico en lugar de llevar a cabo un punto de acceso a la red eléctrica.

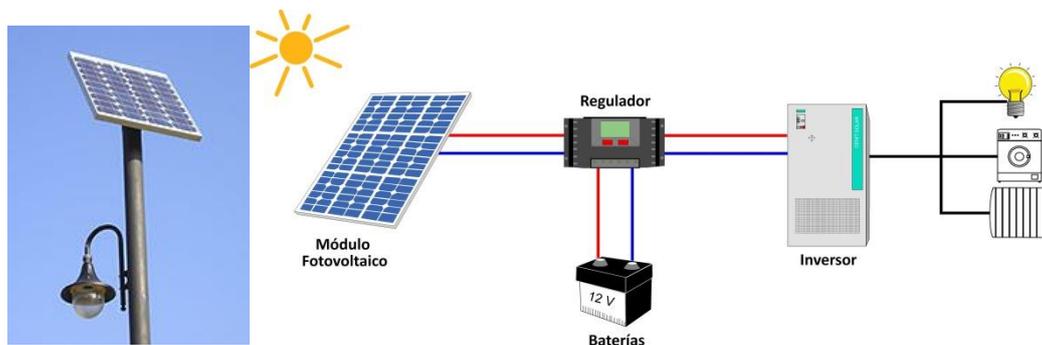


Figura 17: Esquema típico de un sistema fotovoltaico aislado

Este tipo de sistemas pueden ser híbridos en el caso de que sea imprescindible la aportación de energía a la vivienda o a la máquina. Así, los sistemas híbridos cuentan con un sistema de generación de electricidad independiente (generador) del sistema fotovoltaico.

También puede haber sistemas aislados directos. En estos, las cargas que alimentan los paneles son cargas en corriente continua. Este tipo de diseño carece de baterías y únicamente se tienen los paneles conectados a las cargas en corriente continua, por las cuales circulará corriente únicamente durante el día en las horas de sol. Estas son las aplicaciones más sencillas y se usan en fuentes, irrigación o ventilación.

6.3.2. Sistemas conectados a red

Los sistemas conectados a la red son los más comunes. Este tipo de sistemas permiten a los usuarios disfrutar a la vez de los beneficios de la red eléctrica y de los del sistema fotovoltaico.

Dentro de este sistema se incluyen tanto las típicas aplicaciones domésticas, como las centrales de producción de energía eléctrica fotovoltaica, ya que, en ambos casos, los sistemas están conectados a la red.

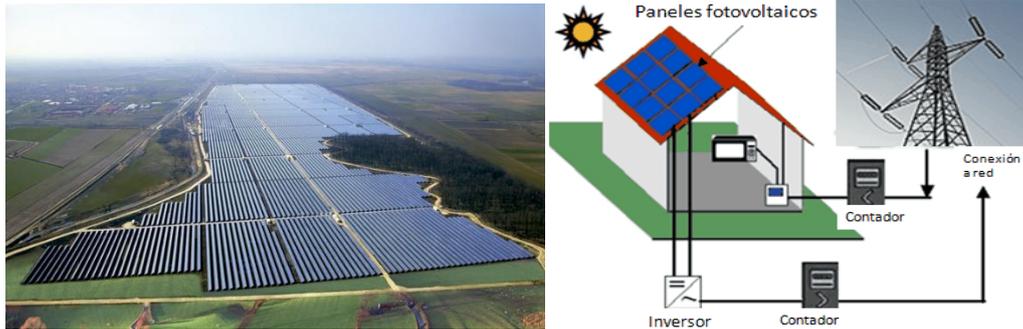


Figura 18: Campo fotovoltaico de vertido a red y aplicación doméstica

Según el grado de dependencia que se quiera tener de la red eléctrica se puede valorar la opción de poner baterías en este tipo de sistemas. Pero lo más común, es que este tipo carezca de almacenamiento de energía.

Por tanto, en el caso más habitual, en los momentos en los que la instalación fotovoltaica no genere electricidad suficiente para cubrir la demanda, la red aportará la parte restante. Pero también se puede dar el caso de que el sistema fotovoltaico genere más electricidad de la consumida y, por tanto, haya que verter la energía sobrante a la red. En este caso el precio que se le pagará al usuario dependerá de la legislación vigente.

6.4. Componentes de una instalación fotovoltaica

En este apartado, se va a hablar de las funcionalidades y de las características de cada uno de los componentes de una instalación fotovoltaica. Así, se va a tratar los paneles fotovoltaicos, la estructura soporte, el inversor, las baterías, el regulador de carga y de los sistemas de protección.

6.4.1. Panel fotovoltaico

Un panel fotovoltaico está formado por un conjunto de **módulos** fotovoltaicos, que a su vez están formados por un conjunto de **células** fotovoltaicas (cada módulo no suele contener más de 96 células). También forma parte del panel solar la **cubierta** exterior de cara al Sol, el **encapsulante**, la **protección posterior**, el **marco metálico**, las **bornas** de conexión y el **cableado** y por último los **diodos de protección**.

6.4.1.1. Célula fotovoltaica

La célula fotovoltaica es un dispositivo que permite transformar la energía de los fotones de la luz en energía eléctrica. Esta circulación de electrones se logra mediante el efecto fotovoltaico.

En la siguiente imagen se presenta una vista simplificada de una célula fotovoltaica común. Se va a realizar una explicación simplificada del funcionamiento de la célula, ya que es un proceso complejo y no es la función de este trabajo extenderse en este tema.

Se compone de dos regiones diferenciadas. La región p y la n. En la n hay un exceso de electrones, ya que, el material semiconductor (normalmente silicio) ha sido dopado

con un material con un electrón libre más en la última capa (normalmente fósforo). La región p en cambio se dopa con un elemento con un electrón libre menos en la última capa (normalmente boro). De esta forma en la región p, tenemos un defecto de electrones, lo cual se conoce como “huecos”.

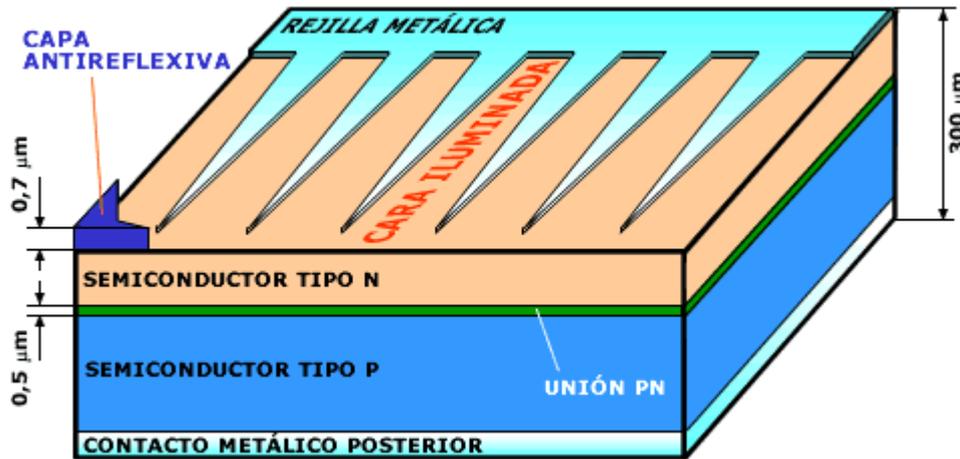


Figura 19: Capas de una célula fotovoltaica tipo PN

Los fotones contenidos en la radiación solar penetran la superficie, siendo absorbidos por materiales semiconductores. Los electrones de estos materiales son golpeados por los fotones, liberándose así del átomo, creando un “hueco”. Normalmente ese electrón encuentra otro “hueco” rápidamente. Pero el principio de la célula fotovoltaica consiste en hacer avanzar a los electrones y por tanto a los huecos hacia el otro lado del material en lugar de recombinarse en él.

Este movimiento se consigue gracias al campo eléctrico de n hacia p permanente que se consigue al hacer la unión p-n.

Cuando un fotón arranca un electrón, creando un electrón libre y un hueco, bajo el efecto de este campo eléctrico cada uno va en dirección opuesta. Así, los electrones se acumulan en la región n (para convertirse en polo negativo), mientras que los huecos se acumulan en la región dopada p (que se convierte en el polo positivo). Esto les permite circular a través del material y producir electricidad.

Cubierta exterior:

Cubierta de vidrio que debe facilitar al máximo la transmisión de la radiación solar. Se caracteriza por su resistencia mecánica, baja reflexión y bajo contenido en hierro.

Encapsulante:

Suele estar hecha a partir de silicona o más frecuentemente EVA (etilen-vinil-acetato). Es especialmente importante que no quede afectado en su transparencia por la continua exposición al sol, buscándose además un índice de refracción similar al del vidrio protector para no alterar las condiciones de la radiación incidente.

Protección posterior:

Igualmente debe aportar rigidez y una gran protección frente a los agentes atmosféricos. Usualmente se emplean láminas formadas por distintas capas de materiales, de diferentes características.

Marco metálico:

Suele ser de aluminio, ya que asegura una suficiente rigidez y estanqueidad al conjunto, incorporando los elementos de sujeción a la estructura exterior del panel. La unión entre el marco metálico y los elementos que forman el módulo está realizada mediante distintos tipos de sistemas resistentes a las condiciones de trabajo del panel.

Cableado y bornas de conexión:

Habituales en las instalaciones eléctricas, protegidos de la intemperie por medio de cajas estancas.

Diodo de protección:

Su misión es proteger contra sobre-cargas u otras alteraciones de las condiciones de funcionamiento de panel. Como, por ejemplo, el problema que puede ocasionar una iluminación no uniforme, las sombras. Habrá dos tipos de diodos de protección, los de paso y los de bloqueo.

Los diodos de paso o bypass se colocan en paralelo para asociaciones de células en serie, para impedir que todos los elementos de una célula se descarguen sobre una célula que resulta sombreada.

Los diodos de bloqueo se emplean para controlar los flujos de corriente con el fin de impedir las corrientes inversas.

6.4.1.2. Clasificación de los módulos fotovoltaicos

Existen diversas formas de clasificar los paneles solares, aquí se enumeran los tipos de módulos según el material. También se van a explicar los tipos de conexiones que se pueden llevar a cabo con los mismos.

A pesar de que, aproximadamente, el 90% de los paneles fotovoltaicos son de silicio, existen otras tecnologías, tanto emergentes, como maduras. Así, a grandes rasgos, podemos distinguir entre la tecnología basada en las obleas de **silicio** (primera generación), fotovoltaica de **lámina delgada** (segunda generación) y la fotovoltaica de **tercera generación**.

Fotovoltaica basada en el silicio:

- Monocristalino:

Estos paneles suelen tener un rendimiento de entre el 15 y el 21%.

Se fabrica con bloques de silicio, de forma cilíndrica. Para optimizar el rendimiento y reducir los costes de cada celda solar monocristalina, se recortan los cuatro lados de los bloques cilíndricos para hacer láminas de silicio.

Una de las formas más sencillas para saber si tenemos delante un panel solar monocristalino o policristalino, consiste en saber que en el policristalino, las celdas son perfectamente rectangulares y no tienen esquinas redondeadas.



- Policristalino:

El rendimiento en este tipo suele variar entre el 13 y el 16%, debido a que el silicio no es tan puro como en el caso del monocristalino.

El silicio en bruto se funde y se vierte en un molde cuadrado. A continuación, se enfría y se corta en láminas perfectamente cuadradas.

El proceso de fabricación es más simple, lo que implica menor precio. Se pierde mucho menos silicio en el proceso que con el monocristalino.

Los paneles policristalinos suelen tener menor resistencia al calor que los monocristalinos.



- Amorfo:

En el caso de paneles amorfos, el rendimiento se encuentra entre el 7 y el 13%. Por tanto, son menos eficientes, pero también más baratos que los anteriores.

Entre sus ventajas se conoce que soportan mejor las altas temperaturas que los anteriores, que, ante radiación difusa, su rendimiento es mayor y su flexibilidad.

Però como desventajas, además del rendimiento, se aprecia que su deterioro es más rápido (sobre todo durante los primeros meses) que con las otras dos tecnologías.



Fotovoltaica de lámina delgada:

A este conjunto de tecnologías de lámina delgada se le conoce también como la segunda generación de tecnología fotovoltaica. En este apartado se pueden considerar varias tecnologías, tales como la tecnología de concentración fotovoltaica, CIGS (cobre, indio, galio y selenio), CdTe (cadmio y telurio) y fotovoltaica orgánica. También podríamos haber incluido en este apartado al silicio amorfo, ya que es tecnología de capa fina.

- Tecnología de concentración (CPV):

Este tipo de sistemas también son conocidos como tecnología III-V fotovoltaica, debido a que emplea semiconductores de estos grupos de la tabla periódica.

Actualmente, este tipo de células fotovoltaicas ostentan el récord de eficiencia en laboratorio con un 44,7%. Es una tecnología basada en la multiunión de varias capas. Las primeras aplicaciones de este tipo de materiales fueron utilizadas en misiones espaciales, debido a su gran conversión energética.

Emplea sistemas ópticos (lentes y espejos) que permiten concentrar la luz solar en una pequeña pero eficiente célula.

- CIGS (cobre, indio, galio, selenio):

Una de las células solares de película delgada más prometedoras. Tiene la ventaja de su bajo peso y la posibilidad de ser depositado en materiales flexibles.

Pero debido a la toxicidad de sus compuestos y a las limitadas reservas del indio, se está trabajando en la mejora de las células fotovoltaicas a base de CZTS (cobre, zinc, estaño y sulfuro), cuyos elementos son más abundantes y no tóxicos.

- CdTe (Telurio de cadmio):

Este material ha demostrado ser el más barato en cuanto a precio por vatio pico de todas las tecnologías fotovoltaicas hasta la fecha.

Una de las principales desventajas de esta tecnología es el uso de cadmio, altamente contaminante. Tampoco son buenas las perspectivas de futuro de las reservas de telurio.

- Fotovoltaica orgánica (OPV):

La fotovoltaica orgánica, OPV, debido a sus siglas en inglés (organic photovoltaic) utiliza la electrónica orgánica, una rama de la electrónica que se ocupa de polímeros orgánicos conductores.

Las moléculas utilizadas en las células solares orgánicas son la solución procesable en un alto rendimiento y son baratos, dando como resultado bajos costes de producción para la fabricación de un gran volumen.

Las desventajas todavía son claras, entre las que destacan la baja eficiencia, la inestabilidad y la baja resistencia.

Fotovoltaica de tercera generación

En este apartado se incluyen las tecnologías que son capaces de superar el límite de Shockley-Queisser. Límite teórico basado en procesos termodinámicos para determinar la máxima eficiencia de una unión simple de una célula solar.

Por tanto, este último grupo incluye una gran variedad de materiales y técnicas.

6.4.1.3. Parámetros fundamentales de un módulo fotovoltaico

- **Corriente de cortocircuito (I_{sc}):**

Es la corriente máxima que produce el panel en una situación de anomalía de funcionamiento del panel cuando exista un cortocircuito. Este valor se suele utilizar para determinar el tamaño de cable de la instalación, así como para dimensionar a medida las protecciones y los fusibles de esta parte de la instalación solar.

- **Tensión de circuito abierto (V_{oc}):**

Será la tensión de salida cuando no haya ninguna carga conectada entre los bornes del módulo fotovoltaico.

- **Máxima potencia (P_{mpp}):**

También llamada potencia pico, es la potencia máxima que puede entregar el módulo fotovoltaico en un momento dado. Por tanto, se definen otros dos parámetros fundamentales asociados a este que serán, la corriente máxima (I_{mpp}) y la tensión máxima (V_{mpp}). Por tanto, el producto de I_{mpp} y V_{mpp} dará la potencia máxima (P_{mpp}).

En la siguiente imagen se puede ver gráficamente el significado de estas magnitudes.

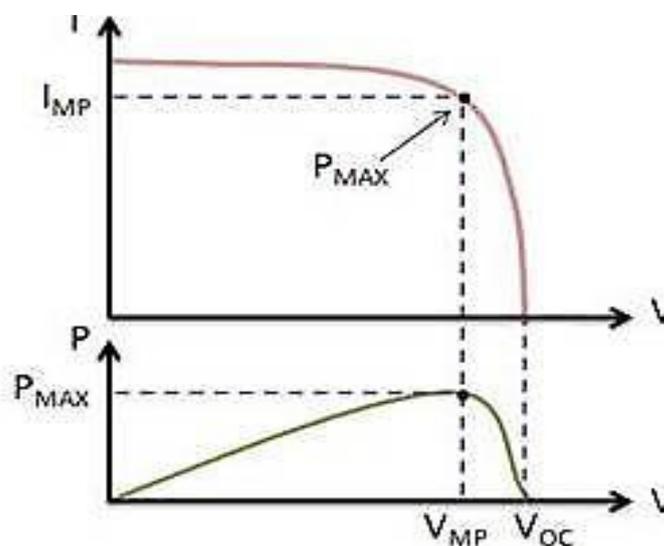


Figura 20: Gráfica del punto de máxima potencia

- **Factor de forma (FF):**

El factor de forma, factor de llenado o “fill factor” en inglés, es el cociente entre la potencia máxima que el panel puede entregar y el producto de la intensidad de cortocircuito y la tensión de circuito abierto ($FF = \frac{P_{\text{máx}}}{V_{\text{oc}} \cdot I_{\text{sc}}}$). Así, gráficamente será el resultado de dividir el área del rectángulo azul entre la del rectángulo verde.

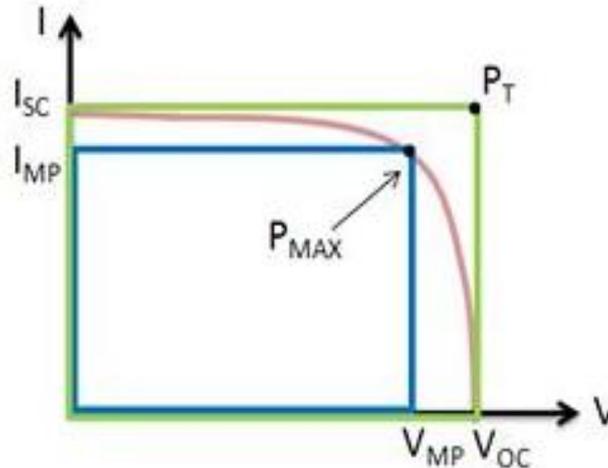


Figura 21: Gráfica del factor de forma

- **Rendimiento del módulo:**

Es el coeficiente entre la potencia entregada por el módulo y la potencia de radiación solar incidente. En los módulos más usados, un valor frecuente ronda el 16%.

Debe tenerse en cuenta que estos parámetros no son constantes, ya que los fabricantes toman como referencia unas condiciones de funcionamiento estándar conocidas como Condiciones Estándar de Medida (CEM), que son unas condiciones de irradiancia y temperatura determinadas en la célula solar, estas condiciones son:

- Irradiancia: 1000 W/m²
- Nivel del mar
- Temperatura de la célula: 25°C

6.4.1.4. Conexión de los módulos fotovoltaicos

Si la conexión de los paneles se realiza en serie, se mantiene la intensidad y aumenta la tensión. En cambio, si la conexión se lleva a cabo en paralelo, aumentaremos la intensidad y mantendremos la tensión.

Conexión en serie:

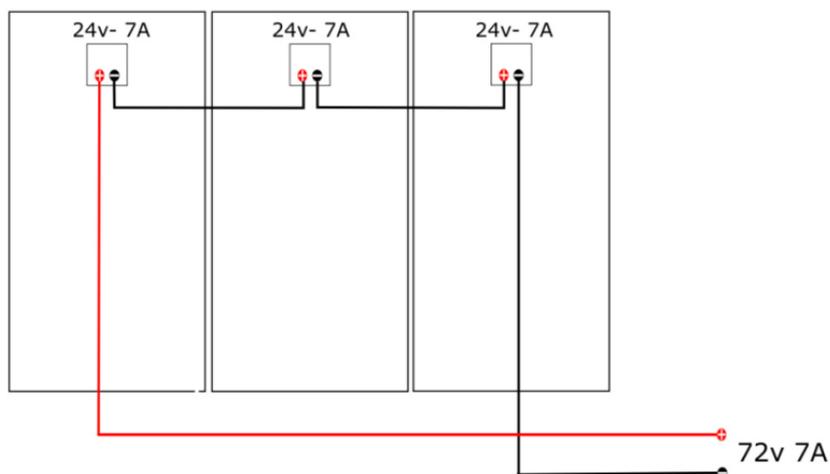


Figura 22: Conexión de módulos fotovoltaicos en serie.

Conexión en paralelo:

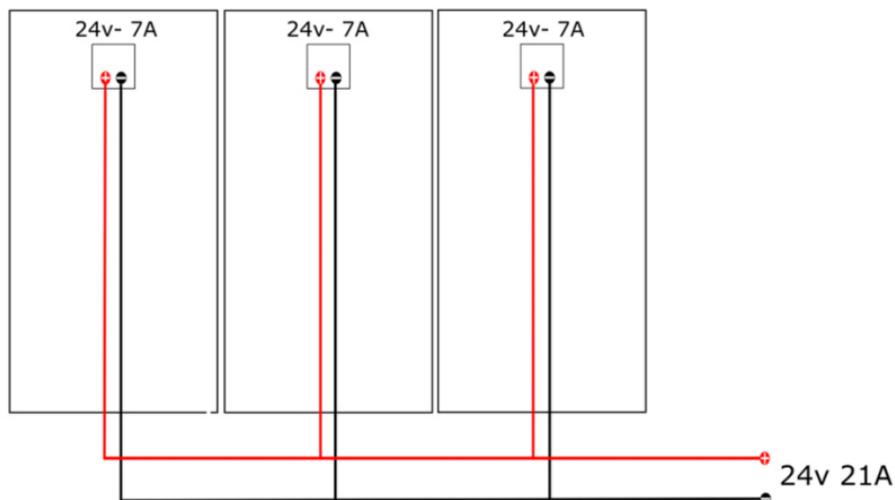


Figura 23: Conexión de módulos fotovoltaicos en paralelo.

6.4.2. Estructura soporte

Los módulos fotovoltaicos se colocan sobre una estructura soporte que deberá cumplir las especificaciones de diseño de la instalación (orientación y ángulo de inclinación) y las pautas descritas en el Pliego de Condiciones Técnicas del Instituto para la diversificación y Ahorro de energía (IDAE).

Esta estructura soporte debe resistir el peso de los módulos fotovoltaicos y las sobrecargas del viento o inclemencias del tiempo, así como las posibles dilataciones térmicas provocadas por aumentos de temperatura en diferentes estaciones del año.

La sujeción de los módulos solares debe estar homologada para los paneles utilizados en la instalación según las especificaciones del fabricante, además, las partes de sujeción de los paneles solares no deben generar sombras indeseadas sobre los módulos. La tornillería utilizada, tanto para la sujeción de los módulos fotovoltaicos, como para la sujeción de la propia estructura al suelo, debe ser de acero inoxidable con excepción de estructuras de acero galvanizado en cuyo caso pueden ser tornillos galvanizados.

Se tienen distintos tipos de estructuras según se quiera disponer de un espacio con cubierta de teja, un espacio con cubierta metálica, un espacio sobre el suelo o sobre una pared.



Figura 24: Estructura soporte tipo Tracking con seguidor solar

A estas estructuras, a veces va acoplado un sistema de seguimiento, que puede ser de uno o de dos ejes. Si es de un único eje, normalmente se varía el acimut. En cambio, cuando tenemos un sistema de seguimiento de doble eje, el sistema fotovoltaico seguirá al Sol tanto en acimut, como en altura solar.

6.4.3. Inversor

Como ya se ha comentado, los sistemas fotovoltaicos entregan corriente continua. Sin embargo, en la mayoría de las aplicaciones, es necesario disponer de corriente alterna. Por ello, en la gran parte de las instalaciones fotovoltaicas, se cuenta con un inversor que transforma de corriente continua en alterna.

Por tanto, un inversor es el aparato que cambia una tensión de entrada en corriente continua a una tensión en corriente alterna con la magnitud y la frecuencia deseada. Es necesario tratar la electricidad para que cumpla las características establecidas para inyectarla a la red. La señal debe ser senoidal, con una frecuencia de 50Hz y unos valores de tensión determinados para no crear perturbaciones en la red de suministro.

El rendimiento de los inversores varía normalmente entre el 90% y el 98%, dicho rendimiento depende de la oscilación de la potencia de la instalación, por lo que se intentará que el inversor trabaje con potencias cercanas o iguales a la nominal, puesto que si la potencia de entrada al inversor, procedente de los paneles fotovoltaicos varía, el rendimiento disminuye.

Para conseguir que el rendimiento no disminuya con la variación de la potencia de entrada procedente de los paneles solares, los inversores deben estar equipados con dispositivos electrónicos que permitan realizar un seguimiento del punto de máxima potencia de los paneles, permitiendo obtener el máximo rendimiento posible del generador fotovoltaico en cualquier circunstancia de funcionamiento.

Para definir un inversor, es importante conocer el rango de tensiones al cual puede funcionar con mayor rendimiento. Esto es importante, ya que la tensión que suministran los paneles del generador fotovoltaico para entregar la máxima potencia no siempre es la misma, sino que varía con la temperatura y si esta tensión aumenta o disminuye conforme disminuye o aumenta la temperatura, se puede llegar a tener tensiones a la entrada del inversor superiores o inferiores a la tensión normal de funcionamiento del inversor.

Las partes fundamentales en un inversor son:

- Control principal. Incluye todos los elementos de control general, los sistemas de generación de onda basados en sistemas de modulación de anchura de pulsos (PWM) y parte del sistema de protecciones.

- Etapa de potencia. Esta etapa puede ser única o modular en función de la potencia deseada. Se opta por la tecnología en baja frecuencia ya que ofrece buenos resultados con una alta fiabilidad y bajo coste. Además, debe incorporar un filtro de salida (LC), para filtrar la onda y evitar el rizado en la tensión procedente de los módulos.

- Control de red. Es la interfase entre la red y el control principal. Proporciona el correcto funcionamiento del sistema al sincronizar la forma de onda generada a la de la red eléctrica, ajustando tensión, fase, sincronismo, etc.

- Seguidor del punto de máxima potencia (MPPT). Es uno de los factores más importantes en un inversor. Su función es acoplar la entrada del inversor a los valores de potencia variables que produce el generador, obteniendo en todo momento la mayor cantidad de energía disponible, la máxima potencia.

- Protecciones. De manera general, los inversores deben estar protegidos ante tensión de red fuera de márgenes, frecuencia de red fuera de márgenes, temperatura de trabajo elevada, tensión baja del generador, intensidad del generador fotovoltaico insuficiente, fallo de la red eléctrica y transformador de aislamiento, además de las protecciones pertinentes contra daños a personas y compatibilidad electromagnética.

- Monitorización de datos. Los inversores disponen de microprocesadores que les facilitan una gran cantidad de datos, tanto de los parámetros habituales (tensión, corriente, frecuencia, etc.), como de parámetros externos (radiación, temperatura ambiente, etc.) e internos (p.e. temperaturas de trabajo).

Los principales parámetros habituales a tener en cuenta en un inversor son:

- Tensión nominal (V). Tensión que debe aplicarse en bornes de entrada del inversor.

- Potencia nominal (VA). Potencia que suministra el inversor de forma continuada.

- Potencia activa (W). Potencia real que suministra el inversor teniendo en cuenta el desfase entre tensión y corriente.

- Capacidad de sobrecarga. Capacidad del inversor para suministrar una potencia superior a la nominal y tiempo que puede mantener esa situación.

- Factor de potencia. Cociente entre potencia activa y potencia aparente a la salida del inversor. En el caso ideal, donde no se producen pérdidas por corriente reactiva, su valor máximo es 1, es decir, estas condiciones son inmejorables para el suministro de corriente del inversor.

- Eficiencia o rendimiento. Relación entre las potencias de salida y entrada del inversor.

- Autoconsumo. Es la potencia, en tanto por ciento, consumida por el inversor comparada con la potencia nominal de salida.

- Armónicos. Un armónico ideal es una frecuencia de onda múltiplo de la frecuencia fundamental. Tener en cuenta que, sólo a frecuencia fundamental, se produce potencia activa.

- Distorsión armónica. La distorsión armónica total o THD (Total Harmonic Distortion) es el parámetro que indica el porcentaje de contenido armónico de la onda de tensión de salida del inversor.

- Rizado de corriente. Pequeña variación que se produce sobre el valor de la onda de corriente alterna al rectificarse o invertir una señal de CC a CA.

6.4.3.1. Protecciones

Debido a que el inversor debe aportar un alto grado de fiabilidad, debe estar equipado con protecciones que aseguren, tanto el buen funcionamiento de la

instalación, como su seguridad. Algunas de las protecciones que incorporan los inversores son:

- Protección contra sobrecargas y cortocircuitos. Sirve para detectar posibles fallos producidos en los terminales de entrada o salida del inversor.
- Protección contra calentamiento excesivo. Si la temperatura del inversor sobrepasa un determinado valor umbral, el equipo deberá pararse y mantenerse desconectado hasta alcanzar una temperatura inferior.
- Protección de funcionamiento en modo isla. Sirve para desconectar el inversor en caso de que los valores de tensión y frecuencia de red estén por fuera de unos valores umbral para un funcionamiento adecuado al estar funcionando sin apoyo de la red.
- Protección de aislamiento. Sirve para detectar posibles fallos de aislamiento en el inversor.
- Protección contra inversión de polaridad. Sirve para proteger el inversor contra posibles cambios en la polaridad desde los paneles fotovoltaicos.

La implantación de protecciones debe ser llevada a cabo atendiendo a la reglamentación vigente para éste tipo de instalaciones, artículo 11 del Real Decreto 1663/2000 y al Reglamento Electrotécnico de Baja tensión. Este cumplimiento deberá ser acreditado adecuadamente en la documentación relativa a las características de la instalación, incluyendo lo siguiente:

- Interruptor general manual, que será un interruptor magnetotérmico con intensidad de cortocircuito superior a la indicada por Iberdrola en el punto de conexión. Este interruptor será accesible a Iberdrola con objeto de poder realizar la desconexión manual.

- Interruptor automático diferencial, con el fin de proteger a las personas en el caso de derivación de algún elemento de la parte de continua de la instalación.

- Interruptor automático de la interconexión, para la desconexión-conexión automática de la instalación fotovoltaica en caso de pérdida de tensión o frecuencia de la red, junto con un relé de enclavamiento.

- Relés de máxima y mínima frecuencia (51 y 49 Hz respectivamente) y de máxima y mínima tensión (1,1 y 0,85 Um, respectivamente).

- Podrán integrarse en el equipo inversor las funciones de protección de máxima y mínima tensión y de máxima y mínima frecuencia y en tal caso las maniobras automáticas de desconexión – conexión serán realizadas por este. En este caso solo se precisará disponer adicionalmente de las protecciones de interruptor general manual y de interruptor automático diferencial, si se cumplen las condiciones en el punto 7 del artículo 11 del Real decreto 1663/2000.

- Relé anti-isla para el caso de que la línea de distribución se quede desconectada de la red, bien sea por trabajos de mantenimiento requeridos por la empresa distribuidora o por haber actuado alguna protección de la línea. En este caso el relé debe actuar para que la instalación fotovoltaica no mantenga tensión en la línea de distribución.

Al tener tanto potencia continua, como potencia alterna, además de equipar la instalación con las protecciones anteriores, serán necesarios dos grupos diferenciados de protecciones para cada caso, que se deberán ser definidos en el apartado de cálculos del proyecto correspondiente:

a) Protecciones de continua:

Esta protección se instalará en la fase de potencia continua de la instalación fotovoltaica, es decir, desde los paneles solares hasta la entrada del inversor.

b) Protecciones de alterna:

Esta protección se instalará en la parte de la instalación donde existe potencia alterna, es decir, desde el inversor hasta el punto de conexión de la red de suministro.

6.4.3.2. Tipos de inversores

Los tipos de inversores y su conexión dependen, fundamentalmente, de su potencia nominal.

Según el RD 1699/2011, para aquellos inversores o suma de inversores cuya potencia nominal sea menor o igual a 5kW, la conexión a red debe ser monofásica, mientras que si exceden los 5kW de potencia nominal, la conexión deberá ser trifásica con un desequilibrio entre fases inferior a dicho valor. La conexión trifásica puede realizarse con un único inversor o con la conexión en paralelo de tres inversores monofásicos.

Hay múltiples formas de realizar la clasificación de los inversores, aquí vamos a ver las más importantes.

Se pueden clasificar según su principio de funcionamiento, característica puede dividirse en dos grupos:

- Inversores conmutados por la red. Tienen como principio básico un puente de tiristores. Se utilizan principalmente en automatización y son los más utilizados en grandes plantas fotovoltaicas.

- Inversores autoconmutados: se basan en un puente de materiales semiconductores que se pueden conectar y desconectar.

También se puede clasificar estos inversores en función de su funcionamiento ideal, algo que nunca sucede realmente:

- Inversores como fuente de corriente. Este tipo de inversores tiene una fuerte dependencia de la carga para funcionar correctamente. Para funcionar dentro de los márgenes de seguridad, precisan de una carga mínima conectada permanentemente. Sin embargo, ofrecen la ventaja de soportar cortocircuitos a la salida o unas demandas puntuales muy altas para el arranque del motor, sin que el mismo sufra daños en sus componentes.

- Inversores como fuente de tensión. Este tipo de inversores no depende de una carga para su funcionamiento. Precisa de protección ante cortocircuitos mediante un sistema de limitación de corriente.

Según las configuraciones del sistema, los inversores de conexión a red pueden clasificarse como:

- Inversores centrales: la instalación fotovoltaica dispone de un único inversor, generalmente trifásico y de alta potencia.

- Inversores modulares: también denominados “String inverters”, tienen potencias que oscilan entre 1 y 5kW, y, generalmente, son monofásicos.

- Inversores integrados en módulos fotovoltaicos o módulos AC: el inversor está integrado en la caja de conexiones o puede adherirse a un módulo FV.

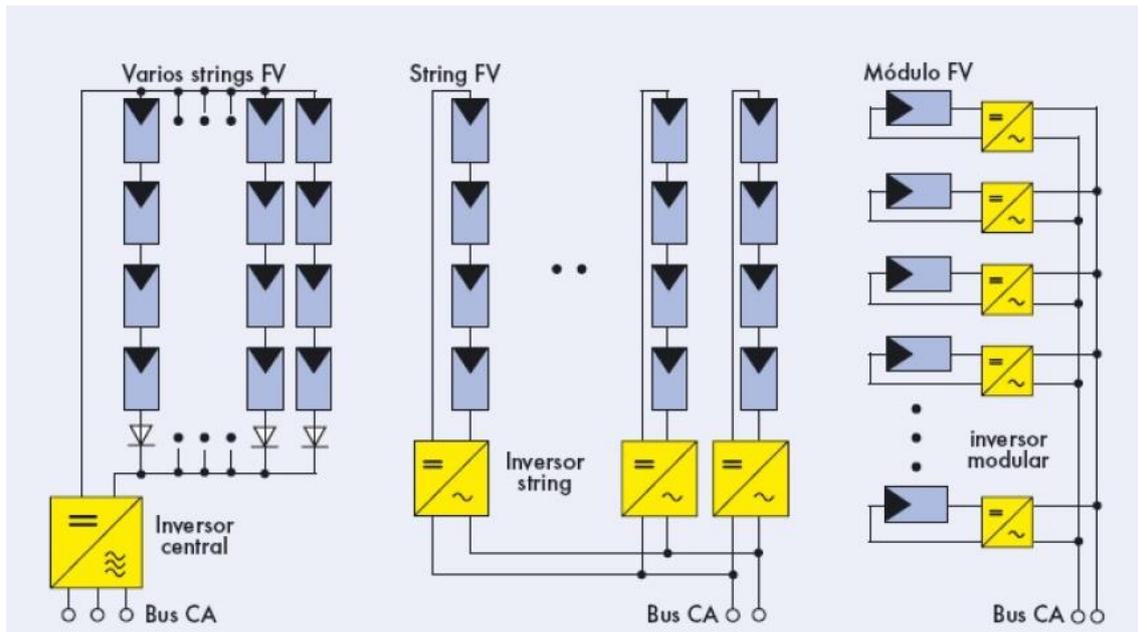


Figura 25: Tipos de conexiones de los inversores

Por último, según el tipo de onda, se pueden clasificar de la siguiente manera:

Inversores de onda cuadrada, inversores de onda senoidal modificada e inversores de onda senoidal.

6.4.4. Baterías

A pesar de que la instalación de este estudio, no cuenta con baterías, vamos a ver los conceptos más importantes a tener en cuenta en las baterías de sistemas fotovoltaicos.

Gran parte de las baterías del mercado son de plomo - ácido (Pb-a), las cuales se adaptan bien a los sistemas fotovoltaicos, pero requieren de mantenimiento. También se puede uno encontrar con baterías de plomo - calcio (Pb-Ca) y plomo - antimonio (Pb-Sb). Las primeras necesitan menos mantenimiento y tienen una menor autodescarga. Pero, en cambio, las segundas se deterioran menos en el ciclo diario y presentan mejores prestaciones para bajos niveles de carga.

7. Estudio instalación fotovoltaica

7.1. Ubicación y características del emplazamiento

La instalación de energía solar fotovoltaica objeto de este trabajo se situaría sobre la cubierta de la EPS de Ferrol, en la provincia de A Coruña.



Figura 26: Ubicación de la EPS de Ferrol

Se ocuparía con las placas la zona marcada en la imagen inferior. La cubierta cuenta con una orientación favorable al sur. Las placas se orientarían de forma paralela a la fachada y mediante una estructura auxiliar, se les dotaría de una inclinación que buscaría conseguir la maximización de la potencia de la instalación.

Las coordenadas del emplazamiento serían:

LATITUD: 43 ° 28' 53" N

LONGITUD: 8 ° 13' 21" O

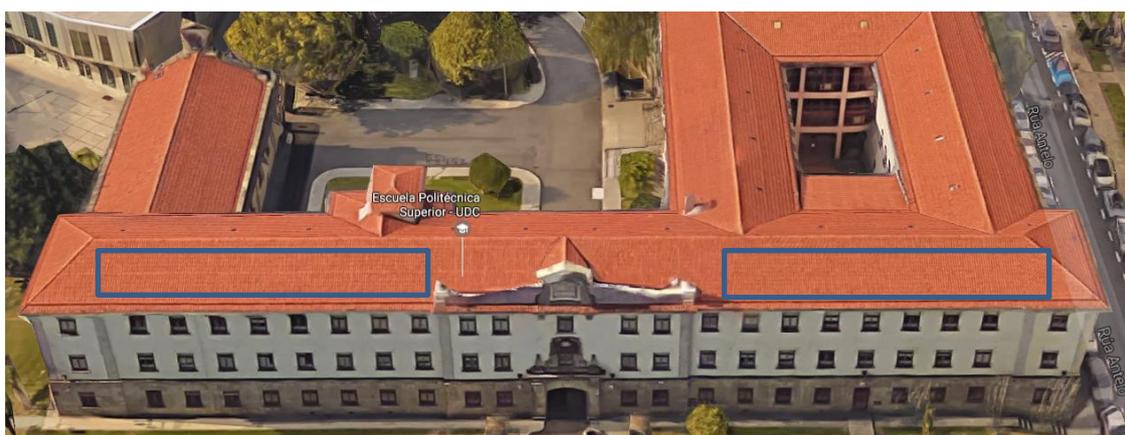


Figura 27: Emplazamiento de los paneles solares

7.2. Características de la instalación

En primer lugar, comentar que la instalación objeto de este estudio sería de autoconsumo con conexión a red para poder verter a la red los excesos de los días en los que la escuela permaneciese cerrada.

A continuación, se comentan varias de las características que tendría esta instalación:

- **Frecuencia:**

La frecuencia nominal de la red a la que se conectaría la instalación es de 50Hz.

- **Potencia pico de la instalación:**

La potencia pico de la instalación, considerada como la suma de las potencias pico de los paneles que constituyen el generador fotovoltaico, que sería de 10,14 kWp.

- **Energía anual prevista:**

La energía estimada que podría ser aprovechada es de 11.157,558 kWh anuales netos.

- **Características del inversor:**

Se emplearía un único inversor al que irían conectados los diferentes ramales de continua. Además de transformar la corriente continua en alterna, el inversor contaría con las siguientes funciones automáticas:

Seguimiento del punto de máxima potencia, (MPPT, Maximum Power Point Tracker) del subcampo fotovoltaico. El conjunto de módulos conectado a la entrada del inversor tiene una curva de trabajo V-I que variaría en función de la radiación solar incidente (W/m^2) y de la temperatura de las células. El equipo adaptaría en cada instante el punto de trabajo V-I del subcampo con el fin de extraer siempre la máxima potencia de los módulos.

En periodos nocturnos, el inversor estaría en situación de stand-by o espera de las condiciones de radiación que hagan que la potencia de entrada de los módulos supere el umbral de mínima potencia a partir del cual se conectaría automáticamente.

Cada inversor dispondría en su entrada de un cuadro de protección en CC que cumpliría las funciones de conexión - desconexión del subcampo fotovoltaico, detección de derivación en el circuito de CC y posibilidad de cortocircuitar y conectar a tierra el subcampo frente a fallos de aislamiento en CC.

Además, incorporaría protecciones contra sobre tensiones en CC, contra sobre tensiones en CA y contra sobretemperatura.

El inversor también incorporaría detector contra fallo de aislamiento.

El inversor que se ha elegido es de la marca KOSTAL-SOLAR ELECTRIC, cuyas características principales se resumen a continuación:

- Modelo: KOSTAL PIKO 10
- Potencia nominal: 10,8 kW en cc y 10 kW en ca
- Rango de temperatura: -20 a 60°C
- Rango de tensión admisible MPP: 527-800 Vdc
- Frecuencia de trabajo (Hz): 50
- Rendimiento máximo: 97,7 %
- Distorsión armónica: < 3 % (THD)
- $\text{Cos}\phi = 1$
- Dimensiones (altura x anchura x profundidad): 445 x 580 x 248 mm
- Peso: 37,5kg

• **Características de los paneles:**

La instalación estaría compuesta por 39 módulos fotovoltaicos AS-6P-30-260W- (1640x992x40mm) AmeriSolar, obteniéndose una potencia total de 10,14 kWp.

A continuación, se resumen las principales características de los paneles mencionados:

- Tipo de célula: Silicio policristalino
- Potencia nominal (P_{mpp}): 260 W
- Corriente de cortocircuito I_{sc} : 8,9 A
- Tensión circuito abierto V_{oc} : 38,2 V
- Tensión punto máxima potencia (V_{mpp}): 30,7 V
- Intensidad punto máxima potencia (I_{mpp}): 8,47 A
- Coeficiente de temperatura (%): -0,43 %/°C
- Dimensiones (altura x anchura): 1640 x 992 mm
- Peso: 18,5 kg

7.3. Diseño del sistema de captación:

7.3.1. Campo fotovoltaico

La instalación de los 39 paneles que configurarían el generador fotovoltaico se realizaría agrupándolos en 3 series de 10 módulos y una de 9 módulos. Los ramales se conectarían en paralelo.

En este sentido, en la cubierta, tenemos una superficie de unos 200 m². Por tanto, lo primero que tenemos que saber es cuantos paneles cabrían en esa superficie o si nos cabrían los 39 que hemos supuesto.

En la siguiente imagen se calculó la superficie útil aprovechable de la cubierta de la escuela.

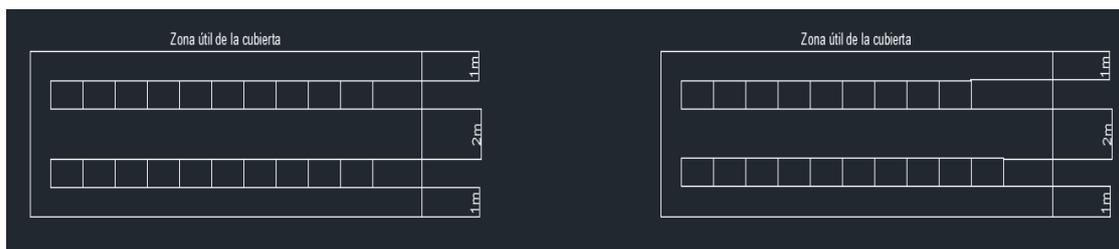


Figura 28: Justificación distribución paneles solares en la cubierta

De modo que, cumpliendo con los 2 m entre fila y fila (distancia calculada en el apartado 7.3.3.), obtendríamos una distribución con un área equivalente de 117 m². Por tanto, el área de la cubierta señalada sería suficiente para nuestra instalación.

7.3.2. Agrupación de los módulos

En este apartado se van a distribuir estos paneles en grupos serie y paralelo en función de sus características y de las de los inversores.

Las características que hay que tener en cuenta son:

- Rango de tensiones de continua de entrada del inversor: 527 Vdc a 800 Vdc
- Tensión a circuito abierto de los paneles: 38,2 V (a 25°C)
- Tensión máxima admisible en vacío 900Vdc.

El valor máximo de la tensión de entrada al inversor corresponde a la tensión a circuito abierto del generador fotovoltaico cuando la temperatura del módulo es mínima.

En cuanto al número mínimo de módulos por ramal viene limitado por la tensión de entrada mínima del inversor, que viene dada a la máxima temperatura de célula con la tensión de MPP.

Con todo esto, el número de módulos que se pueden asociar en serie en cada ramal es de:

Máximo:

$900/38,2 = 23,56$ módulos como máximo para no superar la tensión de entrada a la tensión máxima de circuito abierto con la mínima temperatura.

Mínimo:

$527/30,7 = 17,16$ módulos como mínimo para alcanzar la tensión mínima de entrada para el seguimiento a la temperatura máxima.

Por tanto, para que se obtuviese lo más balanceado posible, cumpliendo estos dos requisitos, tendríamos dos ramas en serie de 19 y 20 módulos respectivamente.

7.3.3. Distancia entre módulos

Los módulos se situarían sobre la cubierta inclinada de la escuela. Dado que se prevé que irían apoyados sobre una estructura auxiliar que les aportaría la inclinación, deberían guardar una distancia entre sí tal que no se proyectasen sombras entre una fila y la siguiente.

Esta distancia es calculada para que, en el momento más bajo de la trayectoria solar anual del sol (solsticio de invierno), no se proyectase sombra de unos paneles sobre otros paneles más cercanos.

Con este criterio, y siguiendo las indicaciones del Pliego de condiciones técnicas de instalaciones fotovoltaicas conectadas a red, del Idae, se calcula la distancia que habrían de guardar las filas entre sí:

$$\text{Distancia mínima entre filas} = h * k$$

Latitud	29°	37°	39°	41°	43°	45°
k	1,600	2,246	2,475	2,747	3,078	3,487

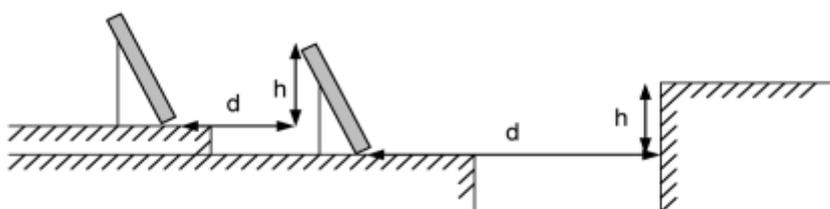


Figura 29: Esquema del Idea, distancia mínima entre filas de paneles orientados al sur

Siendo h, la altura del objeto (en este caso serían otros paneles) y K, la constante solar, que en Ferrol es de 3,078.

Como vemos en la imagen inferior, se ha elaborado el siguiente dibujo para comprobar que, con una separación entre filas de dos metros sería más que suficiente. La inclinación de los módulos es de 33,37° (calculado en el apartado 7.6.).

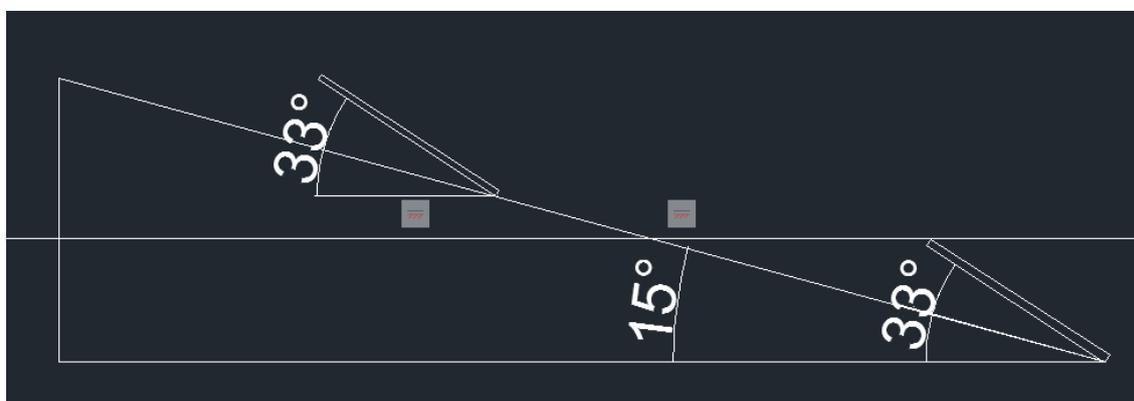


Figura 30: Justificación distancia de dos metros entre filas de paneles

De todas formas, se realiza el cálculo de distancia mínima suponiendo que se pudiese llegar a tener una altura h de 0,5 m.

$$\text{Distancia entre filas} = h * K = 0,5\text{m} * 3,078 = 1,539 \text{ m}$$

Esta distancia sería en dirección paralela al tejado, es decir que en la dirección paralela al suelo (suponiendo una inclinación del tejado de 15°) la distancia sería de:

$$D = 1,593\text{m} / \cos 15^\circ = 1,6 \text{ m}$$

$$\text{Distancia mínima entre filas} = 1,6 \text{ m.}$$

Por tanto, como hay espacio para dejar dos metros, se dejarían 2 metros entre filas.

7.4. Descripción general de la instalación eléctrica

En este apartado se realiza una descripción general de la que tendría que ser la instalación eléctrica tipo para un sistema de estas características.

El sistema de protección se diseñaría para que la instalación estuviese protegida en ambos lados contra sobrecorrientes, cortocircuitos, sobretensiones y contactos directos e indirectos.

El cableado sería de cobre, flexible, libre de halógenos y con una tensión asignada de 0,6kV y 1kV de aislamiento. En la elección del cable se tendrían en cuenta los datos dados por el fabricante referidos a intensidad máxima en condiciones normales, entendiéndose por tales según ITC-BT-19, instalado al aire y a 40°C .

El cableado de continua sería de doble aislamiento y adecuado para su uso en intemperie, al aire o enterrado, según norma UNE 21123. Además, los positivos y negativos de cada grupo o ramal se conducirían separados y protegidos de acuerdo a la normativa vigente.

Habría dos secciones, el conductor que viene suministrado por el fabricante de los módulos, y el conductor que uniría los polos de cada subcampo con la caja de conexión correspondiente.

Cableado de continua:

Tendríamos el cable que uniría desde la caja de conexión de cada ramal a la caja de empalmes y el cable que uniría desde la caja de empalmes a la entrada del inversor.

Cableado de alterna:

Tendríamos el que uniría desde la salida del inversor, la caja de protecciones de alterna, hasta el cuadro de contadores.

En cuanto a las protecciones, serían las siguientes:

Lado de continua:

- Fusibles (positivo y negativo) en cada ramal.
- Varistores unipolares (positivo-tierra, negativo-tierra), que irían integrados en el inversor.
- Protección contra fallo de aislamiento. Aislamiento galvánico integrado en el inversor.

Lado de alterna:

- Protecciones magnetotérmica y diferencial.
- Protección ante variaciones de frecuencia y de tensión de red.
- Varistores unipolares (R-t, S-t, T-t).

A continuación, se ha introducido el esquema unifilar que tendría la instalación objeto de este estudio:

Esquema unifilar de la instalación:

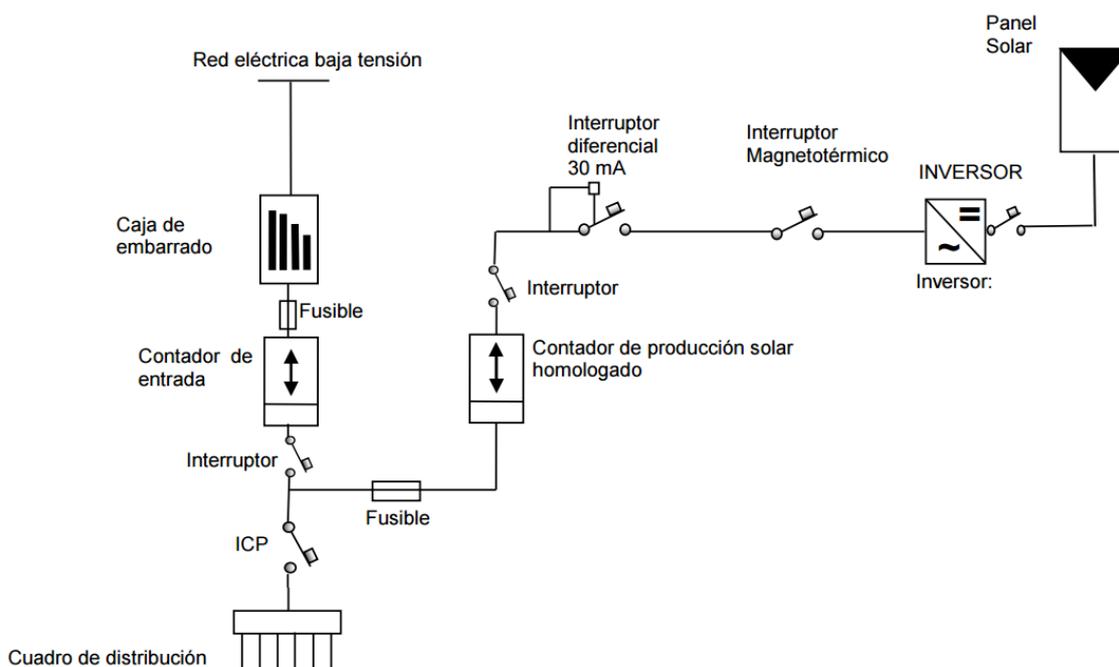


Figura 31: Esquema unifilar tipo de esta instalación fotovoltaica

7.5. Monitorización del sistema

El inversor propuesto llevaría una tarjeta de recogida de datos y mostraría dichos datos en la pantalla que incorpora.

Los principales parámetros recogidos por el sistema serían los siguientes:

- Tensión e intensidad en CC a la entrada.
- Potencia en CC a la entrada.
- Tensión e intensidad AC a la salida del inversor.
- Potencia entregada a la red.
- Coseno de phi (cosφ) y signo del seno de phi (senφ).
- Energía acumulada (en kWh) inyectada a la red.
- Frecuencia de la red.
- Tiempo total en estado operativo.
- Estado de las alarmas.
- Estado de funcionamiento interno.

7.6. Estructura soporte de los módulos fotovoltaicos

Se prevé la sujeción de los módulos fotovoltaicos sobre una perfilaría auxiliar de modo que cuenten con la siguiente inclinación:

$$\text{Inclinación} = 3,7 + 0,69 \times \text{Latitud} = 33,37^\circ$$

Por tanto, la perfilaría auxiliar conseguiría fijar los paneles a una inclinación de 33° con respecto a la horizontal, es decir, habría que medir esos 33° con el suelo, no con el tejado.

El sistema elegido para la soportación de los paneles en la citada posición, sería el PV-Light de la marca comercial “Schuco”, que lo tiene homologado y certificado.



Figura 32: Estructura PV-Light de la marca comercial “Schuco”

El sobrepeso que soportará la cubierta por efecto de la instalación fotovoltaica se estima en unos 70 Kg/m^2 , teniendo en cuenta el peso de los módulos, estructura de soporte, cargas muertas para contrarrestar la fuerza del viento, cableado y cajas de conexión.

Concluyendo que no comprometerían la estabilidad ni la seguridad de la edificación, dado que estas cubiertas se calculan para soportar cargas superiores.

7.7. Funcionamiento de la instalación

El funcionamiento de la instalación sería totalmente automático sin necesidad de personal a cargo de la misma. El inversor empezaría a generar corriente en AC cuando la potencia de entrada en sus secciones de AC fuese aproximadamente superior a un 10% de su potencia nominal, y se desconectaría cuando dicha potencia bajase de dicho umbral.

Durante su funcionamiento las protecciones en AC medirían constantemente los parámetros de tensión y frecuencia de generación, desconectándose el equipo de forma automática cuando alguno de los parámetros saliese de los rangos preestablecidos.

El funcionamiento de la planta no provocaría pues, en la red averías, disminuciones de las condiciones de seguridad ni alteraciones superiores a las admitidas en la normativa aplicable.

7.8. Mantenimiento de la instalación

En lo referente al mantenimiento, el sistema se caracterizaría por precisar muy poco, debido principalmente a la ausencia de partes móviles y de consumibles.

Una instalación fotovoltaica conectada a la red eléctrica está formada básicamente por un conjunto de módulos, unos inversores de corriente, una red de cableado con dispositivos de corte y protección y una conexión a la red eléctrica general. Consiguientemente, el mantenimiento de la instalación global consistiría en el mantenimiento de cada uno de sus elementos, así como la comprobación periódica del buen acoplamiento del conjunto.

Entre las tareas propias de mantenimiento podemos distinguir entre las de vigilancia o inspección visual, las de mantenimiento preventivo y las de mantenimiento correctivo.

7.8.1. Tareas de inspección visual

Tareas de inspección visual son aquellas que, realizadas con una periodicidad de dos veces al año, permiten detectar fallos o anomalías en la instalación que pudiesen repercutir en un decremento de la producción.

Entre dichas acciones se pueden mencionar las siguientes:

Limpieza de la superficie de los módulos solares. Y que el estado de la cubierta protectora de los paneles afectaría directamente a la corriente eléctrica generada por el campo fotovoltaico. De forma instantánea, la suciedad de la cubierta supondría un sombreado que provoca un menor aprovechamiento de la energía solar disponible.

Así pues, la frecuencia de las operaciones de limpieza estaría supeditada al tipo de suciedad. Y dado que en Ferrol el clima húmedo propicia la limpieza natural de los módulos, no habría ningún problema en este punto.

Lo más importante sería eliminar cuanto antes los depósitos de opacos, como los excrementos de aves, ya que la suciedad debida a la polución, a la vegetación y al polvo del ambiente, salvo situaciones particulares, no precisa atención inmediata, pudiendo incluso dejar que la lluvia y el viento fuesen los encargados de reestablecer las condiciones de pulcritud, como hemos comentado.

Para la limpieza de los paneles se podría utilizar cualquier método que no suponga un daño o degradación para los mismos.

Cualquier anomalía sería detectada por el sistema de monitorización mediante alarma. Los contadores de energía situados en la salida AC del inversor y los mismos de compañía en sala de medición indicarían el ritmo de inyección de energía a la red.

Sería necesario comprobar que están detectando un flujo correcto de energía mediante una comprobación periódica mensual de facturación.

7.8.2. Tareas de mantenimiento preventivo

Las tareas de mantenimiento preventivo serían llevadas a cabo por personal especializado dentro del periodo de mantenimiento acordado, siendo las operaciones que, llevadas a cabo de manera programada y sistemática permitirían un aseguramiento del rendimiento, funcionamiento y duración de la instalación.

Dentro de estas tareas se incluirían:

Asegurar que las conexiones y contactos eléctricos entre paneles estuviesen completamente secos y estancos.

Las comprobaciones rutinarias del estado del generador fotovoltaico consistirían en realizar las mediciones de tensión de circuito abierto y corriente de carga de cada uno de los arrays independientemente. Esta medida se llevaría a cabo en días soleados en horas cercanas al mediodía y previamente se debería realizar una limpieza de la superficie de los módulos y una inspección visual comprobando que éstas estén totalmente limpias y libres de sombras.

Además, se revisarían y apretarían, si fuera necesario, las conexiones eléctricas.

Todas las tareas preventivas mencionadas más todas aquellas a las que hubiere lugar por funcionamiento particular de la planta serían llevadas a cabo cada seis meses. Además de estos dos mantenimientos preventivos anuales, se realizaría una inspección visual con el fin de detectar y subsanar posibles deficiencias, así como limpieza del generador.

Se propondría realizar una prueba de producción de la planta fotovoltaica durante el primer año de funcionamiento, con el fin de confirmar el correcto funcionamiento de la misma.

7.8.3. Tareas de mantenimiento correctivo

Las tareas de mantenimiento correctivo serían llevadas a cabo por personal especializado cuando se detectase algún fallo del sistema, siendo aquellas operaciones que se realizan cuando se produce este fallo, que impidiese el funcionamiento de la instalación o una merma considerable en su rendimiento o duración.

El suministrador atendería aquellas incidencias que afecten al correcto funcionamiento de la planta en un plazo de 24h.

7.9. Pérdidas de la instalación

Todos los sistemas fotovoltaicos tienen pérdidas energéticas originadas por distintos factores. A continuación, se exponen los principales:

- Pérdidas por desviación de la potencia nominal. Se debe sobre todo a la diferencia entre módulos por un problema de fabricación. De ahí la estimación dada por el fabricante de módulos en la que expresa que la potencia de pico dada por un módulo oscila entre $\pm 3\%$.

- Pérdidas de conexionado. Son las pérdidas energéticas originadas por la conexión de módulos FV de potencias ligeramente diferentes para formar el generador FV. Sucederá que, con la conexión de paneles en serie, se producirá una limitación de la corriente a aquel panel que disponga de menor potencia de entre todos los conectados. Del mismo modo ocurrirá con la conexión en paralelo, ya que aquel módulo que posea una potencia menor, limitará la tensión del conjunto.

- Pérdidas por polvo y suciedad. Dada por la deposición de polvo y suciedad en la superficie de los paneles.

- Pérdidas angulares y espectrales. Dadas las condiciones estándar de un módulo, se sabe que el espectro AM 1.5 G no es constante a lo largo de todo el tiempo de operación del sistema.

- Pérdidas por caídas óhmicas en el cableado. Pérdidas originadas por las caídas de tensión en el cableado.

- Pérdidas por temperatura. La temperatura de operación de los módulos depende de la irradiancia, temperatura ambiente y de la velocidad del viento. En el panel fotovoltaico se producen unas pérdidas de potencia del orden de un 4 a 5% por cada 10°C de aumento de su temperatura de operación óptima. Pero dado que en Ferrol el clima es oceánico, con temperaturas suaves medias todo el año, vamos a considerar unas pérdidas del 3%.

- Pérdidas por rendimiento del inversor. Incluidas las pérdidas por rendimiento de seguimiento del punto de máxima potencia.

- Pérdidas por sombreado del Generador FV. Es inevitable que se produzcan sombras sobre los paneles en algún momento.

Así, a partir de las tablas dadas en el Pliego de Condiciones Técnicas para Instalaciones Fotovoltaicas conectadas a Red y de las propias fichas técnicas de los equipos se ha elaborado la siguiente tabla para calcular las pérdidas globales aproximadas que tendría la instalación:

Tabla 2: Pérdidas energéticas de la instalación

Tipo de pérdidas	Porcentaje de pérdidas
Suciedad y polvo	3,0%
Angulares y espectrales	3,0%
Desviación de la potencia nominal del módulo y desviación del PMP	2,0%
Ohmicas y de temperatura	5,0%
Orientación	5,0%
Pérdidas del Inversor	2,9%
Globales	20,9%

De esta manera podemos asegurar que la instalación contaría con un rendimiento global del 79,1%.

7.10. Presupuesto instalación fotovoltaica

La elaboración del presupuesto se ha realizado apoyándose en los precios de una instalación fotovoltaica de 12,9kWp que la UDC tiene desde 2009 en el campus de Elviña.

Calculamos los precios de los distintos componentes de la instalación a partir de un suministrador independiente.

Es decir, dado que, dentro de la fotovoltaica la mayor bajada de precios la han sufrido los equipos eléctricos y electrónicos, mantendremos los precios de mano de obra, ingeniería y documentación de la instalación del 2009, pero actualizaremos los precios de los módulos, inversor, cableado y demás equipos auxiliares.

El catálogo que vamos a seguir es el de “TECHNO SUN”, empresa de referencia en el sector fotovoltaico.

El desglose de precios sería el siguiente (IVA incluido):

Cantidad	Descripción	Precio/unidad
39	Módulo 260 W policristalino-AS-6P-30-260W-(1640x992x40mm) AmeriSolar	194,11 €
1	Inversor de red 10 kW PIKO 10 trifásico FUTURE -KOSTAL	2.338,39 €
1	Estructura soporte: suministro de estructuras, soporte para los paneles solares, construidas en acero galvanizado y perfilaría de aluminio	1.942,01 €
1	Material eléctrico: cuadro protección continua, fusibles en cada polo, más descargador sobretensiones, cableado en continua con cable unipolar de cobre, cuadro de protección de alterna (interruptor magnetotérmico con relé rearmable, cableado alterna, pica toma tierra...	2.268,04 €
1	Montaje e ingeniería: montaje completo componentes, ingeniería, dirección de obra, seguros, puesta en marcha. Incluidos trámites administrativos hasta completa legalización de la instalación	7.375,53 €
1	Sistema monitorización: suministro de sistema monitorización, célula calibrada de radiación y sondas de temperatura, conexión de la planta fotovoltaica a central de seguimiento y acceso a web	2.161,63 €
1	Gastos generales	1.464,58 €
		25.120,43 €

Se obtendría, así, un precio de $(25.120,43\text{€}/10,14 \text{ Wp}) = 2,543\text{€}/\text{Wp}$

7.11. Estudio de viabilidad instalación fotovoltaica

Una vez obtenido el ahorro en los 5 primeros años mediante el cambio del sistema de iluminación, que, tras recuperar la inversión inicial es de 5.701,834 € +17.818,23 € + 17.818,23 € = 41.338,294 €, se propone que parte de este ahorro se invierta en una instalación fotovoltaica.

De esta forma, se puede estudiar la producción que tendría esta instalación fotovoltaica:

A partir del dato de las horas solares pico (HSP), y conociendo el valor de eficiencia global de la instalación, se puede calcular la energía generada por los paneles.

HSP para A Coruña son 3,86. Ello quiere decir, que el sol de media en A Coruña brilla 3,86 horas al día con una potencia equivalente a 1.000W/m².

La siguiente tabla se ha realizado atendiendo, tanto a los precios de la instalación fotovoltaica situada en la cafetería del campus de Esteiro, como a los del distribuidor independiente, es decir, se ha usado el mismo criterio que en la elaboración del presupuesto.

Tabla 3: Amortización sistema fotovoltaico

kWh/ día por panel	1,004
kWh/año de cada panel	366,314
kWh/año del total de paneles	14.286,246
kWh/año tras pérdidas de la instalación	11.300,421
Precio instalación (€)	25.120,431 €
Ahorro anual	1.867,960 €
Tiempo de amortización (años)	13,448

En la anterior tabla, se supone que el precio de venta de la electricidad sobrante de los paneles solares a la red los días en los que la escuela permanezca cerrada, es el mismo que el precio de compra, una suposición de carácter comedido, ya que la actual instalación fotovoltaica de la cafetería del campus de Esteiro vierte energía a la red a ritmo de 32 céntimos de euro por kWh.

7.12. Conclusiones

Se ha comprobado que la instalación fotovoltaica tiene un plazo de amortización rentable en términos económicos, y ello, a pesar de que no se ha tenido en cuenta la más que probable subida del precio del kWh.

A continuación, pasamos a enumerar todos los puntos positivos que traería la instalación fotovoltaica:

- Empleo de una energía renovable e inagotable.
- Colaboración en el desarrollo energético sostenible.
- Se proporcionaría una generación distribuida en los momentos en los que la escuela permanezca cerrada, aportándose los excesos a la red y consumiéndose estos en los alrededores de la instalación.
- Ahorro económico importante a medio plazo.
- Fortaleza de la imagen de la UDC como centro cultural de referencia que apuesta por un desarrollo sostenible.
- Reducción importante de las emisiones de CO₂.

A continuación, se va a calcular en detalle el número aproximado de toneladas de CO₂ que se podrían llegar a ahorrar gracias a la instalación:

Es conocido que, a nivel nacional, la energía eléctrica generada produce unas emisiones equivalentes de CO₂ de 0,649kg/kWh. También se conoce que las emisiones asociadas a las instalaciones fotovoltaicas (supuesta una vida útil de 30 años) es de unos 0,072kg CO₂/kWh.

Por tanto, con estos datos se pueden obtener las emisiones de CO₂ que se evitarían gracias a esta instalación.

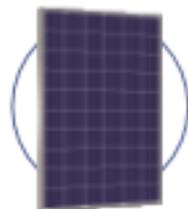
La producción estimada de la instalación fotovoltaica sería de unos 339.012,630 kWh, por tanto:

$$428.587,38 \text{ kWh} * 0,649 \text{ kg/kWh} = 220.019,197 \text{ kg CO}_2$$

$$428.587,38 \text{ kWh} * 0,072 \text{ kg/kWh} = 24.408,909 \text{ kg CO}_2$$

$$\text{Emisiones evitadas} = 220.019,197 - 23.408,909 = \text{kg CO}_2 = \mathbf{195.610,287 \text{ kg CO}_2}$$

7.13. Fichas técnicas módulos e inversor



Módulo fotovoltaico AMS 260W

Amsolar, empresa ubicada en Estados Unidos, tiene una trayectoria y experiencia en la fabricación de módulos de 19 años. Sus módulos, gracias a los más estrictos estándares de calidad y control, ofrecen una alta eficiencia de hasta 18,29% y la mejor garantía frente a cualquier otro módulo del mercado: 12 años de garantía de producto y una garantía de potencia lineal de hasta 30 años.

Los módulos Amsolar disponen de certificaciones UL, TÜV, KTL, MCS, CEC, ISO9001, ISO14001, OHSAS18001.



Alta eficiencia

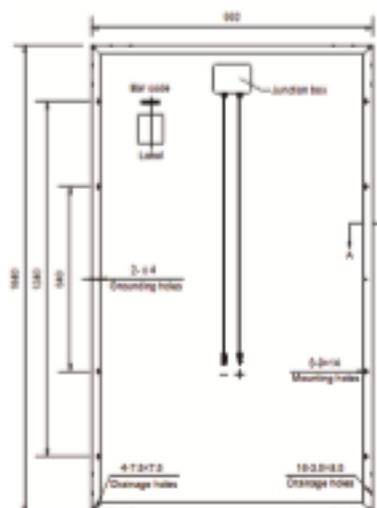
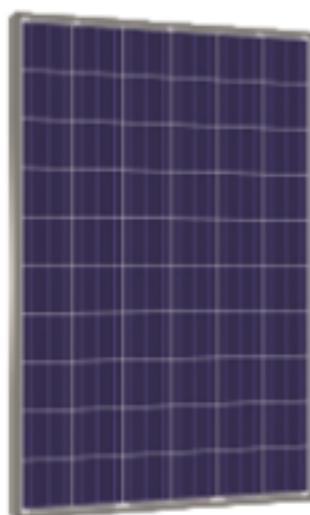


Tolerancia 0+3%



30 años de garantía

Visualización



Características técnicas

Medida	AMS260
Potencia máxima (P _{max}) [w]	260
Voltaje a potencia máxima (V _{mp}) [V]	30.7
Intensidad a potencia máxima (I _{mp}) [A]	8.47
Voltaje en circuito abierto (V _{oc}) [V]	38.2
Intensidad de cortocircuito (I _{sc}) [A]	8.90
Eficiencia del módulo	15.98

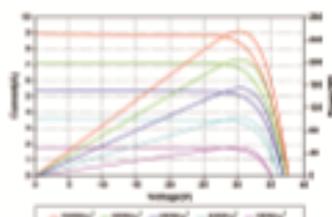
Módulos

Características mecánicas

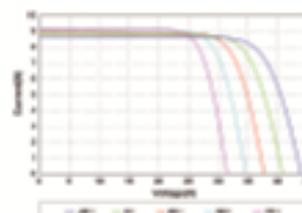
Medida	AMS260
Celulas	$\delta 0=6 \times 10$ policristalinas
Conectores	MC4 Compatible
Cableado	Longitud 900mm
Dimensión	1640 x 992 mm
Peso	18.5 kg

Características de temperatura

Medida	AMS260
NOCT**	47 +/- 2°C
Coefficiente de temperatura P _{Max}	-0.43% / °C
Coefficiente de temperatura V _{oc}	-0.33% / °C
Coefficiente de temperatura I _{sc}	+0.056% / °C
Temperatura de trabajo	-40/+85°C



Curvas De Corriente/Voltaje y Potencia/Voltaje a Diferentes Irradiancias



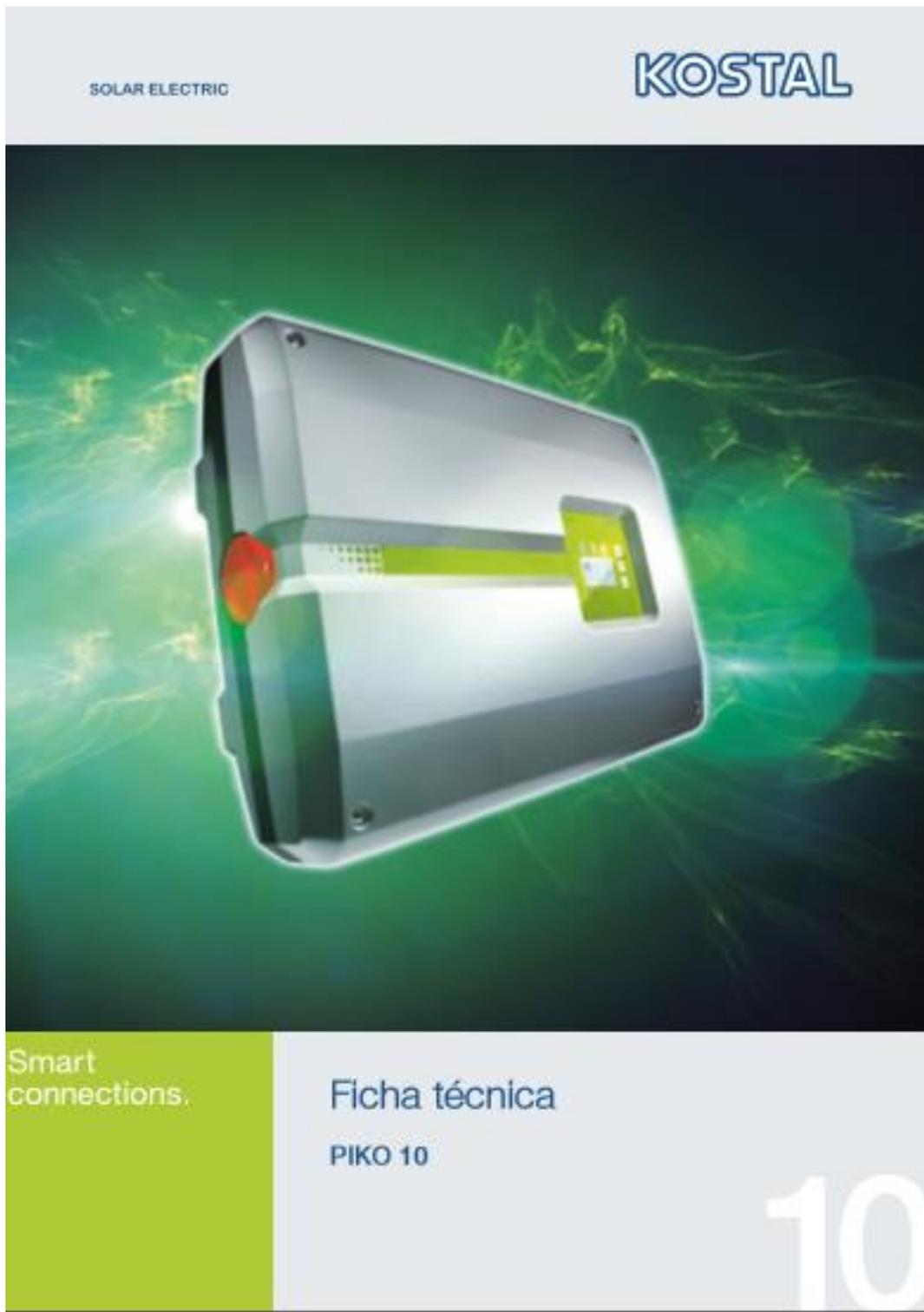
Curvas De Corriente/Voltaje a Diferentes Temperaturas

Embalaje

Tipo	AMS260
Palet	26 uds.
Contenedor	728 uds./ 40ft.

Certificaciones





Datos técnicos PIKO 10



- Inyección trifásica
- Conversión sin transformador
- Dispositivo de desconexión CC electrónico integrado
- Amplio rango de tensión de entrada
- Paquete de comunicación integrado de serie con datalogger, servidor web, portal solar y las siguientes interfaces: 2x Ethernet, RS485, S0, 4x entradas analógicas (p. ej. para receptor de telemando centralizado o PIKO Sensor)
- Posibilidad de conexión del PIKO BA Sensor para la medición del consumo doméstico así como para el control dinámico de la potencia activa
- Contacto de conexión integrado para optimización del autoconsumo
- Smart Home y EEBus compatibles

Lado de entrada (CC)

Potencia fotovoltaica máx. ($\cos \phi = 1$)	MWp	10,8
Tensión de entrada nominal (U_{CCN})	V	680
Tensión de entrada máx. (U_{CCM})	V	1000
Tensión de entrada mín. (U_{CCm})	V	160
Tensión de entrada de inicio (U_{CCin})	V	180
Tensión PMP máx. (U_{MPM})	V	800
Tensión PMP mín. para potencia nominal CC en el modo de un seguidor (U_{MPM1})	V	527
Tensión PMP mín. para potencia nominal CC en el modo de dos seguidores (U_{MPM2})	V	sym: 290/290 unsym: 390/250
Corriente de entrada máx. (I_{CCM})	A	sym: 18/18 unsym: 20/10
Corriente de entrada máx. con conexión en paralelo (entrada CC1+CC2)	A	36
Número de entradas CC		2
Número de seguidores PMP indep.		2

Lado de salida (CA)

Potencia nominal, $\cos \phi = 1$ (P_{CA})	KW	10
Potencia aparente de salida máx., $\cos \phi = 0,9$	KVA	10
Tensión de salida máx. (U_{CAN})	V	264,5
Tensión de salida mín. (U_{CAm})	V	184
Corriente de salida nominal	A	14,6
Corriente de salida máx. (I_{CAN})	A	16,2
Corriente de cortocircuito (Peak/RMS)	A	25/16,6
Conexión de red		3N-, AC, 400V
Frecuencia de referencia (f_r)	Hz	50
Frecuencia de red máx. ($f_{máx}$)	Hz	51,5
Frecuencia de red mín. ($f_{mín}$)	Hz	47,5
Margen de ajuste del factor de potencia $\cos \phi_{CA}$		0,80...1...0,80
Factor de potencia con potencia nominal ($\cos \phi_{CA}$)		1
Coefficiente de distorsión armónica máx.	%	3

Propiedades del aparato

Necesidad propia stand-by	W	1,8
---------------------------	---	-----

Coefficiente de rendimiento

Coefficiente máx. de rendimiento	%	97,7
Coefficiente europeo de rendimiento	%	97,1
Coefficiente de rendimiento de adaptación PMP	%	99,9

Garantía

Garantía (años)		5
Ampliación de la garantía opcional (años)		10/20

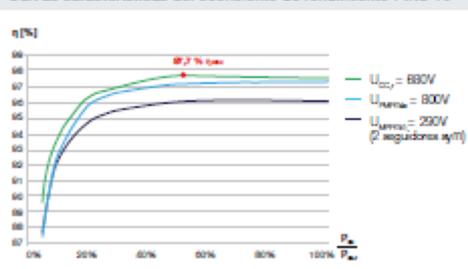
Datos del sistema

Topología: sin aislamiento galvánico –sin transformador–		✓
Grado de protección según IEC 60529 viviendas / ventilador		IP 65 / IP 55
Categoría de protección según IEC 62108		I
Categoría de sobretensión según IEC 60664-1 lado de entrada (generador fotovoltaico)		II
Categoría de sobretensión según IEC 60664-1 lado de salida (conexión de red)		III
Grado de contaminación		4
Categoría medioambiental (montaje a la intemperie)		✓
Categoría medioambiental (montaje en interior)		✓
Resistencia UV		✓
Sección mínima de cable línea de conexión CA	mm ²	4
Sección mínima de cable línea de conexión CC	mm ²	4
Fusible máx. lado de salida		B25, C25
Protección para las personas (EN 62109-2)		RCMU/RCCB Typ B
Dispositivo de desconexión autónomo electrónico integrado		✓
Altura	mm	445 (17.52 in)
Ancho	mm	580 (22.83 in)
Profundidad	mm	248 (9.76 in)
Peso	kg	37,5 (82.67 lb)
Principio de refrigeración –convección–		–
Principio de refrigeración –ventilador regulado–		✓
Volumen de aire máx.	m ³ /h	2x48
Nivel de emisión sonora máx.	dBA	43
Temperatura ambiente	°C	-20...60 (-4...140 °F)
Altura de montaje máx. sobre el nivel del mar	m	2000 (6562 ft)
Humedad relativa del aire	%	4...100
Técnica de conexión lado de entrada –MC 4–		✓
Técnica de conexión lado de salida –regleta de bornes con mecanismo de resorte–		✓

Interfaces

Ethernet RJ45		2
RS485		1
S0		1
Entradas analógicas		4
Interfaz PIKO BA Sensor		1

Curvas características del coeficiente de rendimiento PIKO 10



Smart connections.

Contacto
KOSTAL Solar Electric Iberica S.L.
Edificio abm
Ronda Narciso Monturiol y Estarriol, 3
Torre B, despachos 2 y 3
Parque Tecnológico de Valencia
46980 Valencia, España
Teléfono: +34 961 824 - 934
Fax: +34 961 824 - 931
www.kostal-solar-electric.com

8. Estudio eficiencia lumínica

8.1. Introducción

En los últimos 3 años, el precio de la factura eléctrica de la EPS ha rondado los 31.000€, y se escribe “rondado” debido a que no se sabe con exactitud, ya que la factura de la luz es conjunta en el campus de Esteiro para varias facultades y edificios. De hecho, la EPS comparte factura de luz con los siguientes edificios:

Vicerrectoría, edificio administrativo Lerd / Sape, facultad de humanidades, salón de actos y despachos, escuela universitaria de relaciones laborales, escuela universitaria de diseño industrial, biblioteca "Casa do Patín", escuela universitaria de enfermería y podología, edificio de apoyo al estudio, extensión universitaria de talleres tecnológicos y la cafetería/comedor y centro cívico.

Tabla 4: Superficie equivalente edificios incluidos factura conjunta Campus

CAMPUS ESTEIRO - CIT	SUPERFICIE (m ²)	PORCENTAXE (%)
Vicerreitoria+Edificio Administrativo Lerd / Sape	1534,93	5,57%
Facultade de Humanidades	3909,81	14,20%
Salón de Actos e Despachos	1210,78	4,40%
Escola Politécnica Superior	6528,46	23,71%
Escola Universitaria de Relacións Laborais	3252,52	11,81%
Escola Universitaria de Deseño Industrial	2135,07	7,75%
Biblioteca "Casa do Patín"	1214,69	4,41%
Escola Universitaria de Enfermaría e Podoloxía	2209,42	8,02%
Edificio de Apoio ao Estudo - Extensión Universitaria	2150,44	7,81%
Talleres Tecnolóxicos	1823,34	6,62%
Cafetaría / Comedor	0	0,00%
Centro Cívico	1567,58	5,69%
TOTAL	27537,04	100,00%

Por tanto, lo que se hizo para calcular el consumo eléctrico aproximado de la escuela fue, partiendo de la factura eléctrica conjunta de todos estos edificios, repartir esta factura en función de los metros cuadrados de cada edificio.

Gran parte del consumo eléctrico de la escuela, procede de la iluminación y debido a que las actuales lámparas tienen un consumo muy elevado en comparación a la tecnología LED, resulta muy interesante un cambio.

8.2. Resumen

A continuación, se procede a explicar en qué consiste el estudio lumínico llevado a cabo:

En primer lugar, se ha realizado un inventario completo de todas las lámparas que alberga la escuela (aulas, laboratorios, despachos, pasillos, baños, almacenes...). A cada lámpara inventariada se le han asociado datos como el habitáculo, el tipo de lámpara, el número de luminarias, el consumo, los lúmenes...

Una vez registrados todos estos datos, se ha procedido a la realización de una hoja de cálculo en la cual figuran todos estos datos y en la que se ha procedido a calcular parámetros de iluminación y de eficiencia actuales. Tras comparar los resultados obtenidos, tanto de niveles de iluminación, como de eficiencia energética, se ha concluido que las instalaciones de iluminación de la escuela precisan un cambio, debido, tanto a los malos niveles de iluminación encontrados, como al alto despilfarro energético y, por consiguiente, económico.

Tras lo cual, se ha procedido a buscar sustitutos para las lámparas actuales, de forma que permitan mantener las luminarias existentes, para aprovechar al máximo los recursos actuales. Los nuevos modelos de lámparas que permiten un ahorro en energía eléctrica se basan en la tecnología LED.

Por tanto, tras encontrar el modelo LED que sustituye a cada tipo de lámpara de la escuela, se ha procedido a buscar un modelo concreto de lámpara. En nuestro caso, hemos acudido a Philips para buscar estos modelos. La búsqueda se ha basado en el cumplimiento de los niveles, tanto de iluminación, como de eficiencia energética y de otros parámetros lumínicos, que en muchos casos no se estaba cumpliendo.

De esta forma, se ha elaborado una hoja de cálculo similar a la anterior, en la cual se han calculado los que serían los nuevos valores de iluminación, de eficiencia energética y de consumo.

Una vez realizado esto, se ha procedido a comparar el consumo actual, con el que se obtendría con las nuevas lámparas y mediante el precio medio del kWh se ha calculado el ahorro económico que se obtendría anualmente.

Se ha calculado el coste de la sustitución de las lámparas, incluyendo en el cálculo el precio de la mano de obra y se ha obtenido que sería necesaria una inversión de 47.773€, con un período de amortización de 2,681 años.

Tras lo cual, surgió la idea de que quizás, en lugar de llevar a cabo un cambio simultáneo de toda la iluminación, podría ser más rentable, en términos ecológicos y o económicos, realizar un cambio progresivo a medida que se estropean las actuales lámparas. Pero tras realizar el oportuno cálculo, se ha determinado que la mejor opción, tanto en términos ecológicos, como económicos es un cambio completo.

Así, se ha supuesto un tiempo de amortización de 5 años y dado que, en 2,681 años, la inversión está amortizada, resulta que en los 2,319 restantes se conseguiría un ahorro extra de 39.173 €.

Con parte de este dinero que se ahorra la UDC, se propone llevar a cabo el proyecto de la instalación fotovoltaica que suministraría energía a la escuela, para llevar a cabo un ahorro energético aún mayor.

Por tanto y tras lo expuesto anteriormente, vamos a dividir esta parte del trabajo en las siguientes partes:

Preámbulos, inventariado, cálculos, presupuesto-ahorro-amortización y conclusiones.

8.3. Preámbulos

Como se ha explicado, hemos procedido a hacer un estudio para llevar a cabo el cambio de los principales sistemas de iluminación de la escuela. Pero antes de explicar en qué consiste este estudio, vamos a hacer una introducción de los distintos tipos de sistemas de iluminación, a los parámetros de iluminación y a la normativa de aplicación.

8.3.1. Tipos de lámparas

En función del modo de funcionamiento que tienen, podemos distinguir básicamente 3 tipos de lámparas (hay muchos más tipos, estos son los más usados): lámparas incandescentes, lámparas de descarga y lámparas LED.

8.3.1.1. Lámparas incandescentes

Hay varios tipos de incandescencia:

La primera es por combustión de alguna sustancia, ya sea sólida como una antorcha de madera, líquida como en una lámpara de aceite o gaseosa como en las lámparas de gas.

La segunda es haciendo circular una corriente eléctrica a través de un hilo conductor muy delgado, como ocurre en las bombillas comunes. Tanto de una forma como de otra, se obtiene luz y calor (ya sea calentando las moléculas de aire o por radiaciones infrarrojas). En general, la eficiencia de este tipo de lámparas es muy baja debido a que la mayor parte de la energía consumida se convierte en calor.

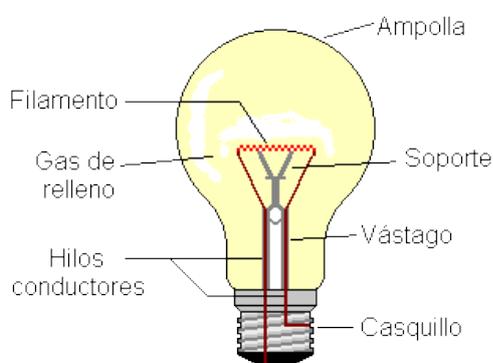
Se denomina lámpara incandescente al dispositivo que produce luz mediante el calentamiento por efecto Joule de un filamento metálico, hasta ponerlo al rojo vivo, mediante el paso de corriente eléctrica. Se conoce como efecto Joule al fenómeno por el cual si en un conductor circula corriente eléctrica, parte de la energía cinética de los electrones se transforma en calor debido a los choques que sufren con los átomos del material conductor por el que circulan, elevando la temperatura del mismo. El nombre es en honor a su descubridor, el físico británico James Prescott Joule.

La lámpara incandescente fue la más popular, por su bajo precio, pero ya se ha dejado de fabricar, debido a la baja eficiencia que posee. No ofrece muy buena reproducción de los colores, ya que no emite en la zona de colores fríos.

El componente principal de una lámpara incandescente es el filamento. Al pasar corriente a través de él, puede ser calentado como resistencia hasta volverse incandescente, manteniéndose en este estado por mucho tiempo.

Este filamento se fabrica normalmente con wolframio, cuyo punto de fusión es alto: 3.655 K. Este filamento debe estar protegido en un medio que evite que se deteriore, lo cual se logra poniéndolo dentro de un bulbo, bombillo o ampolla de vidrio que este al vacío o con un gas inerte.

La duración de una lámpara incandescente viene determinada básicamente por la temperatura de trabajo del filamento. Mientras más alta sea esta, mayor será el flujo luminoso, pero también la velocidad de evaporación del material que forma el filamento. Las partículas evaporadas, cuando entren en contacto con las paredes se depositarán sobre estas, ennegreciendo la ampolla. De esta manera, se verá reducido el flujo luminoso por ensuciamiento de la ampolla. Pero, además, el filamento se habrá vuelto más delgado por la evaporación del tungsteno que lo forma y se reducirá, en consecuencia, la corriente eléctrica que pasa por él, la temperatura de trabajo y el flujo luminoso. Esto seguirá ocurriendo hasta que finalmente se rompa el filamento. A este proceso se le conoce como depreciación luminosa.



Partes de una bombilla

Figura 33: Partes de una bombilla incandescente

Existen dos tipos de lámparas incandescentes; las que contienen un gas halógeno en su interior y las que no lo contienen:

- Lámparas no halógenas

Entre las lámparas incandescentes no halógenas podemos distinguir las que se han rellenado con un gas inerte de aquellas en que se ha hecho el vacío en su interior. La presencia del gas supone un notable incremento de la eficacia luminosa de la lámpara, dificultando la evaporación del material del filamento y permitiendo el aumento de la temperatura de trabajo del filamento.



Figura 34: Bombilla incandescente común

- Lámparas halógenas de alta y baja tensión

En las lámparas incandescentes normales, con el paso del tiempo, se produce una disminución significativa del flujo luminoso. Esto se debe, en parte, al ennegrecimiento de la ampolla por culpa de la evaporación de partículas de wolframio del filamento y su posterior condensación sobre la ampolla. Agregando una pequeña cantidad de un compuesto gaseoso con halógenos (cloro, bromo o yodo), normalmente se usa el CH_2Br_2 , al gas de relleno se consigue establecer un ciclo de regeneración del halógeno que evita el ennegrecimiento.

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 que impide manipularla con los dedos para evitar su deterioro.



Figura 35: Bombillas halógenas

8.3.1.2. Lámparas de descarga

Las lámparas de descarga son fuentes luminosas que producen luz mediante una descarga eléctrica en gases o vapores metálicos presentes en el interior de la ampolla.

Para encender las lámparas de descarga se requiere de un dispositivo llamado reactancia o balasto, que produce el encendido con un alto voltaje inicial y luego disminuye la energía eléctrica al nivel operativo normal. Los balastos electromagnéticos son los tradicionales de filamentos de cobre, que ya están siendo reemplazados por balastos electrónicos.

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). Las propiedades varían mucho de unas a otras y esto las hace adecuadas para unos usos u otros.

Lámparas de descarga de mercurio:

Mercurio a baja presión:

Las “fluorescentes” son lámparas de descarga de baja presión en forma de tubo, rellenas en su interior de vapor de mercurio. La radiación ultravioleta generada por la descarga de mercurio se convierte en luz visible por los fluorescentes que se encuentran en la pared interior del depósito de descarga. Mediante distintos fluorescentes se consiguen una serie de colores de luz y distintas calidades de reproducción cromática.

La lámpara fluorescente posee generalmente electrodos calentados y puede así encenderse con tensiones en comparación bajas. Las lámparas fluorescentes requieren de balastos, reactancias o reactancias electrónicas.

La lámpara fluorescente está compuesta de un tubo de vidrio que está revestido por su parte interior con una sustancia fluorescente. Dentro del tubo hay gases y vapor de mercurio a baja presión. Este tubo tiene, en sus dos extremos, un filamento y un electrodo sensor.



Figura 36: Lámparas de mercurio a baja presión en formato tubo

Existen lámparas fluorescentes en diversos formatos: tubulares, circulares y en forma de "U", así como lámparas fluorescentes compactas.

Las lámparas fluorescentes compactas, por la combinación de varios depósitos de descarga cortos o de un depósito de descarga doblado alcanzan dimensiones especialmente compactas. Las lámparas fluorescentes compactas se sujetan y conectan en el portalámparas de un solo lado.



Figura 37: Lámpara fluorescente (LFC)

Mercurio a alta presión:

A medida que aumentamos la presión del vapor de mercurio (o sodio) en el interior del tubo de descarga, la radiación ultravioleta característica de la lámpara a baja presión pierde importancia respecto a las emisiones en la zona visible.

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 3.500 y 4.500 K con índices de rendimiento en color de 40 a 45 normalmente. La vida útil, teniendo en cuenta la depreciación se establece en unas 8.000 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 modelos más habituales de estas lámparas tienen una tensión de encendido entre 150 y 180 V que permite conectarlas a la red de 230 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.

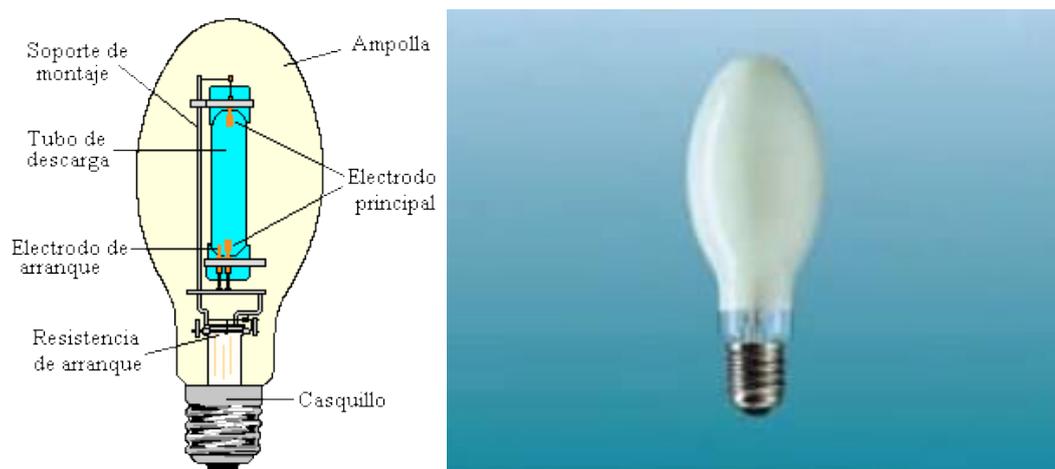


Figura 38: Lámpara de vapor de mercurio

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 y habitualmente, un recubrimiento fosforescente. 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.

Estas lámparas ofrecen una buena reproducción del color con un rendimiento en color de 60 y una temperatura de color de 3.600 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, se tiene 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 media se sitúa en torno a las 6.000 horas.

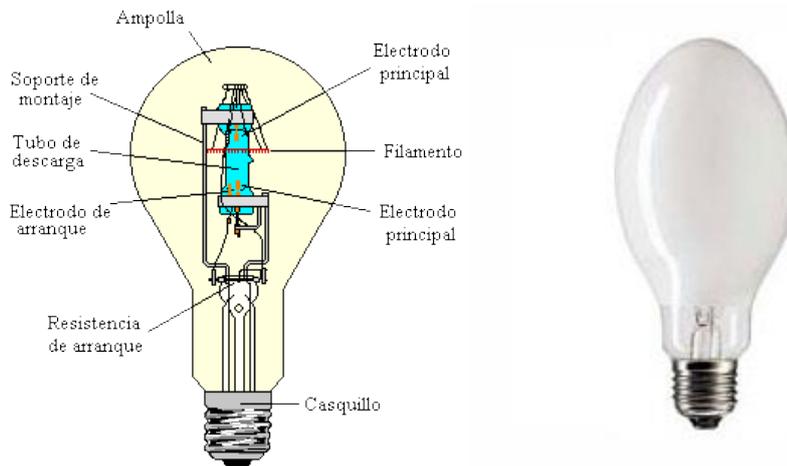


Figura 39: Lámpara de luz de mezcla

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.

Lámparas con halogenuros metálicos:

Si se añaden, 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 (por ejemplo, amarillo, el sodio, verde, el talio y rojo y azul el indio).

Los resultados de estas aportaciones son una temperatura de color de 3.000 a 6.000 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 10.000 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 (1.500-5.000 V).

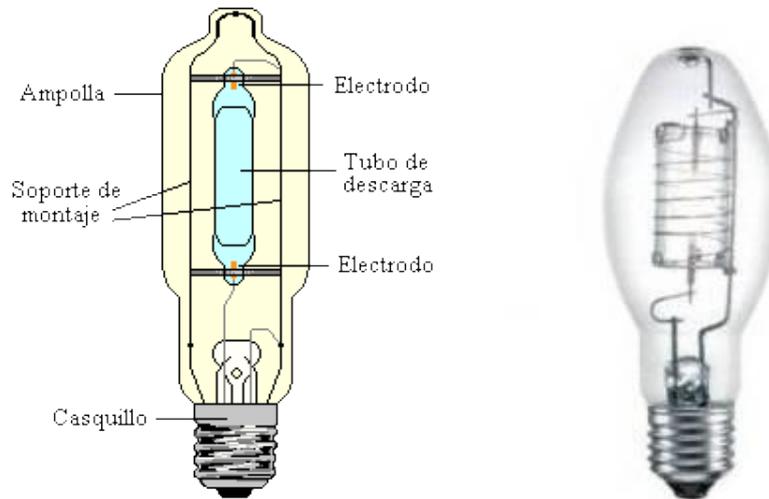


Figura 40: Lámpara de vapor de mercurio con halogenuros metálicos

Las excelentes prestaciones cromáticas la hacen adecuada entre otras para la iluminación de instalaciones deportivas, para retransmisiones de TV, estudios de cine, proyectores, etc.

Lámparas de vapor de sodio:

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 característica formada por dos rayas en el espectro (589 nm y 589.6 nm) muy próximas entre sí. La radiación emitida, de color amarillo, está muy próxima al máximo de sensibilidad del ojo humano (555 nm). Por ello, la eficacia de estas lámparas es muy elevada (entre 160 y 180 lm/W). Otras ventajas que ofrece es que permite 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 15.000 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 6.000 y 8.000 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.

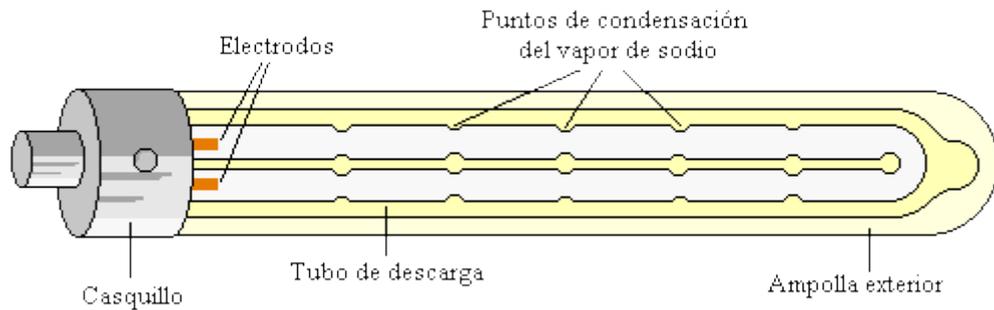


Figura 41: Lámpara de vapor de sodio a baja presión

En estas lámparas, el tubo de descarga tiene forma de U para disminuir las pérdidas por calor y reducir el tamaño de la lámpara. Está elaborado de materiales muy resistentes, pues el sodio es muy corrosivo y se le practican unas pequeñas hendiduras para facilitar la concentración del sodio y que se vaporice a la temperatura menor posible. El tubo está encerrado en una ampolla en la que se ha practicado el vacío con objeto de aumentar el aislamiento térmico. De esta manera se ayuda a mantener la elevada temperatura de funcionamiento necesaria en la pared del tubo (270 °C).

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. Físicamente, esto se corresponde a pasar de una luz roja (propia del neón) a la amarilla característica del sodio. Se procede así para reducir la tensión de encendido.



Figura 42: Lámpara de vapor de sodio en una farola

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 a la vista que la proporcionada por las lámparas de baja presión. Las consecuencias de esto, es que tienen un rendimiento en color ($T_{\text{color}} = 2.100 \text{ K}$) y capacidad para reproducir los colores mucho mejor que la de las lámparas a baja presión ($\text{IRC} = 25$, aunque hay modelos de 65 y 80). No obstante, 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 20.000 horas y su vida útil entre 8.000 y 12.000 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.

Las condiciones de funcionamiento son muy exigentes debido a las altas temperaturas ($1.000 \text{ }^\circ\text{C}$), la presión y las agresiones químicas producidas por el sodio que debe soportar el tubo de descarga. En su interior, hay una mezcla de sodio, vapor de mercurio que actúa como amortiguador de la descarga y xenón que sirve para facilitar el arranque y reducir las pérdidas térmicas. 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.

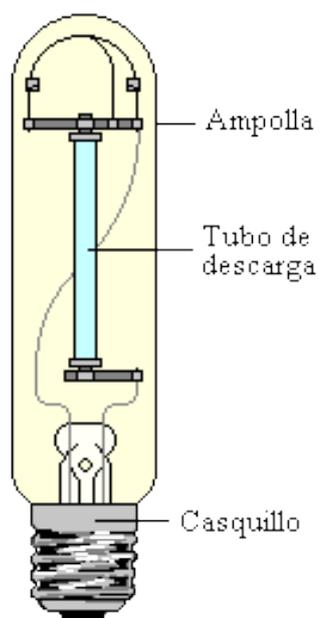


Figura 43: Lámpara de vapor de sodio a alta presión

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.

8.3.1.3. Lámparas LED

El LED es un diodo emisor de luz, es decir, un dispositivo semiconductor que emite luz cuando circula una corriente eléctrica, es decir, emite luz mediante la recombinación de los pares de portadores de carga de un semiconductor.

La luz no se genera a través de un filamento incandescente, sino por electroluminiscencia. Esto significa que se liberan fotones (luz) debido a electrones que cambian de nivel de energía durante su desplazamiento por el material semiconductor (diodo).

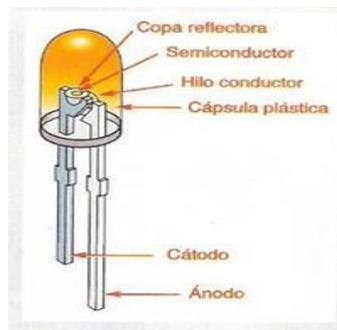


Figura 44: Partes de un LED

Dentro del mundo de los LEDs, hay multitud de formas de lámpara, y todas ellas funcionan bajo el mismo principio, pero a medida que ha ido evolucionando esta tecnología, se han ido alcanzando diferentes diseños con mejores eficiencias.

Básicamente, hay 3 tipos o formas en las que se distribuyen los LEDs en una lámpara de esta tecnología; LEDs DIP, SMD y COB.

LEDs DIP:

Los LEDs DIP como sistema de señalización en distintos aparatos eléctricos han sido utilizados desde comienzos de la revolución LED. Cuando el LED dió el salto a la iluminación doméstica, se empezaron a ver bombillas tipo racimo llenas de LEDs DIP, aunque rápidamente se cambió al LED SMD y esta tecnología quedó obsoleta.



Figura 45: LED tipo SMD

A día de hoy, aún es fácil encontrar este tipo de LEDs para iluminación, pero no son recomendables, ya que su potencia lumínica es muy pobre con respecto a los SMD. Lo que se encuentra hoy en día con esta tecnología son restos de stock y linternas.

LEDs SMD:

Por definición un LED SMD es un diodo emisor de luz de montaje en superficie, este tipo de LED está encapsulado (solo o junto a más LEDs) en una resina semirígida y dispuesto sobre un circuito impreso.



Figura 46: LED tipo SMD

El LED SMD tiene una eficiencia lumínica relativamente alta, en torno a los 60 Lm/W, en comparación con una bombilla incandescente 13 Lm/W.

Otra ventaja de este tipo de LEDs es que, al ser pequeños, se pueden repartir por toda la bombilla llegando a ofrecer una apertura de 360º.

Los LED SMD incorporados en bombillas y focos más comunes que se pueden encontrar son los siguientes:

3528:

Pequeños y de poca potencia. Pueden ser encontrados en tiras de LEDs o en dicroicas agrupados en gran cantidad.

5050:

Encapsulan tres LEDs equivalentes al 3528. Es el más comúnmente usado y se encuentra en muchas bombillas LED. Aunque hay LEDs más modernos, el 5050 está bastante probado con resultados satisfactorios.

5630:

Este tipo de LED SMD es algo más actual y más potente que el 5050, además tiene un tamaño inferior.



Figura 47: Formatos de LED tipo SMD

LEDs COB:

Las siglas COB corresponden a “Chip on board” (“chip en placa”), y no es más que un conjunto de LEDs agrupados en serie y/o paralelo dentro del mismo encapsulado.

El LED COB proporciona mayor rendimiento lumínico que el SMD, alrededor de 110lm/W. Por este motivo, se está imponiendo poco a poco. Ya que, con el mismo tamaño aporta más potencia lumínica que el SMD. A día de hoy, ya podemos encontrarlo en bastantes focos LED.



Figura 48: LED tipo COB

Este tipo de LEDs cuentan, además, con la ventaja de que, por su propia construcción, disipan mejor el calor que los SMD.

8.3.2. Parámetros de iluminación

En este apartado, se van a ver los parámetros esenciales a tener en cuenta a la hora de obtener una iluminación adecuada. Entre estos parámetros están la iluminancia, la uniformidad, el índice de deslumbramiento, el índice de color...

8.3.2.1. Iluminancia y uniformidad

La iluminancia, también conocida como nivel de iluminación, es la cantidad de luz, en lúmenes, dividido por el área de la superficie a la que llega dicha luz. Su unidad es el lux y por tanto, un lux equivale a lm/m^2 .

El símbolo de la iluminancia es “E” y ésta, determina la visibilidad de la tarea a realizar, pues afecta a la agudeza visual, a la sensibilidad de contraste o a la capacidad de discriminar diferencias de color.

Cuanto mayor sea la cantidad de luz y hasta un cierto valor máximo (límite de deslumbramiento), mejor será el rendimiento visual.

En principio, la cantidad de luz en el sentido de adaptación del ojo a la tarea debería especificarse en términos de luminancia. Ya que la luminancia indica la cantidad de luz procedente de la superficie iluminada que el ojo humano es capaz de percibir.

La iluminancia es una consecuencia directa del alumbrado y la reflectancia constituye una propiedad intrínseca de la tarea. En una oficina determinada, pueden estar presentes muchas tareas diferentes con diversas reflectancias, lo que hace muy complicado tanto su estudio previo a la instalación, como sus medidas posteriores. Pero la iluminancia permanece dependiendo sólo del sistema de alumbrado y afecta a la visibilidad. En consecuencia, para el alumbrado de oficinas, la cantidad de luz se especifica en términos de iluminancias y normalmente de la iluminancia media (Emed) a la altura del plano de trabajo.

Para establecer los valores de la iluminancia media en un plano, (en el caso de aulas, despachos, oficinas...), uno de los planos sobre los que se estudia este nivel medio es el plano de trabajo de las mesas, por lo tanto, un plano horizontal paralelo al suelo y a una altura de 0,8m.

Además de cumplir con los requisitos de iluminancia media que especifica la norma, también se deben cumplir unos valores de uniformidad del 70% en las zonas a iluminar y del 50% en las zonas circundantes. La uniformidad es la relación entre la iluminancia mínima y la media.

8.3.2.2. Índice de deslumbramiento

El deslumbramiento se puede producir de forma directa por lámparas, luminarias y ventanas o por reflexión producida por superficies de alta reflectancia (brillante), que pueden estar en el campo de visión del observador. El grado de deslumbramiento directo admisible en el campo visual del observador está en función del tipo de actividad que se realiza en el local.

El deslumbramiento directo de lámparas, se elimina con la utilización de luminarias que redistribuyan el flujo de las mismas de forma idónea para la actividad a realizar.

Para validar la idoneidad de las luminarias para la actividad a desarrollar, se clasifican las tareas o actividades en cinco grupos que definen otras tantas clases de calidad. Cada grado de calidad tiene asignado un índice de deslumbramiento surgido de la evaluación subjetiva del deslumbramiento, llevado a cabo en el laboratorio por un grupo de observadores.

Uno de los parámetros a comprobar en una instalación lumínica es UGR, “Unified Glare Rating” o Índice de Deslumbramiento Unificado, que es un valor, comprendido entre 10 y 30, que expresa el deslumbramiento que provoca una fuente de luz, siendo nulo cuando es 10 y mayor cuanto mayor es el valor.

La magnitud de la sensación del deslumbramiento molesto depende, en principio, del número, posición, luminancia, y tamaño de las fuentes deslumbradoras y de la luminancia a la cual los ojos están adaptados. El efecto sobre el deslumbramiento, tanto del número de luminarias como de la luminancia de adaptación, está relacionado con la luminancia media sobre el plano de trabajo. Para luminarias cuyas lámparas o parte de ellas sean directamente visibles bajo la gama crítica de ángulos de visión, no sólo deberá limitarse la luminancia media de la luminaria, sino que además las lámparas deberán apantallarse adecuadamente.

8.3.2.3. Color

El color de un espacio o local iluminado artificialmente, dependerá de la lámpara seleccionada y concretamente de dos parámetros de la misma:

El índice de reproducción cromática (Ra) o Grupo de rendimiento de color según CIE (1A, 2A,1B,2B).

El índice de reproducción cromática (IRC) mide la variación de color que experimentan los objetos al ser iluminados con una fuente de luz en comparación con el color que esos mismos objetos muestran cuando son iluminados por una fuente de luz de referencia (considerada ideal y de la misma temperatura de color que la luz estudiada).

Así, las lámparas contienen tres dígitos en este sentido.



Figura 49: Códigos lámparas fluorescentes

El primero indica si el Ra es >80 o >90 según aparezca un 8 o un 9 e indica la temperatura de color según aparezcan los siguientes números:

27 = 2.700 K, 30 = 3.000 K, 35 = 3.500 K, 40 = 4.000 K, 54 = 5.400 K, 65 = 6.500 K y 80 = 8.000 K.

1.500K	2.700K	3.000K	4.000K	5.700K	8.500K
Amber	Very Warm	Warm	Neutral	Frio	Very Cold
<i>Ámbar</i>	<i>Muy Cálido</i>	<i>Cálido</i>	<i>Neutro</i>	<i>Cold</i>	<i>Muy Frio</i>

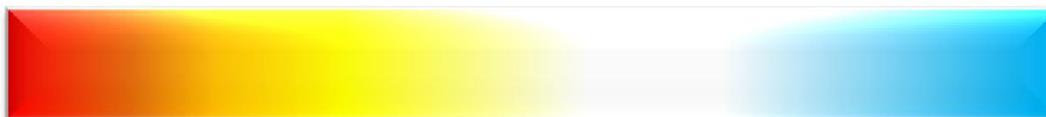


Figura 50: Escala de temperaturas de color

Para seleccionar una lámpara según los criterios de color recomendados para un espacio o local, se utilizará una tabla como la siguiente:

Tabla 5: Criterios de color para escoger una lámpara. Fuente: Idae

Índice de reproducción cromática (Ra)	Grupo de Rendimiento de color	Cálido < 3300 K	Neutro 3300-5000 K	Frio > 5000 K
Excelente 90-100	1A	Halógenas. Fluorescencia lineal y compacta	Fluorescencia lineal y compacta	Fluorescencia lineal y compacta
Bueno 80-90	2A	Fluorescencia lineal y compacta. Sodio Blanco	Fluorescencia lineal y compacta. Halogenuros e Inducción	
Razonable 70-80	1B	Halogenuros metálicos	Halogenuros metálicos	Halogenuros metálicos
Mala < 70	2B	Mercurio. Sodio	Mercurio	

Los centros docentes, en general, no precisan una iluminación artificial de elevada reproducción cromática, a excepción de aulas dedicadas a la enseñanza de pintura, algún laboratorio, etc, donde la calidad cromática es importante.

Con carácter general las lámparas tendrán un índice de reproducción cromática (Ra) de los valores comprendidos entre 70 y 85. Para las dependencias que precisan una mayor calidad el valor será > 90.

Para la temperatura de color de las lámparas a utilizar, teniendo en consideración el rango de niveles de iluminación que pueden precisar las distintas dependencias, se considera adecuado utilizar una temperatura de color 3.500 K.

En cuanto a los acabados superficiales de parámetros y mobiliario es importante tener en consideración el efecto psicológico de los colores sobre las personas (profesor, alumnos) que desarrollan su actividad en el aula.

En general, se recomiendan colores suaves como el verde pálido, azul celeste, gris perla o amarillo en paredes y blanco en el techo. El empleo de colores suaves no excluye la presencia puntual de elementos con colores vivos que eviten la monotonía.

Tabla 6: Criterios de tonos de color según la finalidad del habitáculo. Fuente: Idae

Tono de luz. Temperatura de color	Tipo de actividad o de iluminación
Tonos cálidos. < 3000 K.	Entornos decorados con tonos claros Áreas de descanso. Salas de espera. Zonas con usuarios de avanzada edad Áreas de esparcimiento. Bajos niveles de iluminación
Tonos neutros. 3300 - 5000 K.	Lugares con importante aportación de luz natural Tareas visuales de requisitos medios.
Tonos fríos. > 5000 K.	Entornos decorados con tonos fríos Altos niveles de iluminación Para enfatizar la impresión técnica. Tareas visuales de alta concentración

8.3.3. Parámetros de eficiencia energética

El código técnico de la edificación, en su DB HE3, define unas exigencias básicas, en materia de eficiencia energética en las instalaciones de alumbrado.

El documento limita dos valores, que son:

El **valor de eficiencia energética de la instalación (VEEI) y la potencia total instalada** en el local o habitáculo por metro cuadrado.

El VEEI se calcula por cada 100 luxes mediante la siguiente expresión:

$$VEEI = (P \times 100) / (S \times E_m)$$

Donde:

P: potencia de la o las lámparas, incluidos sus equipos auxiliares, en caso de que los tuviesen (W).

S: superficie del local o habitáculo (m²).

E_m: iluminancia media mantenida (lux).

La potencia total instalada por metro cuadrado te limita el número de W/m² que se puede tener en un local o habitáculo.

En la siguiente sección se verá, tanto la normativa relativa al VEEI y los W/m², como del resto de parámetros aquí nombrados.

8.3.4. Normativa de aplicación

A partir de la normativa vigente (UNE 12464.1 Y CTE HE3) se han elaborado las siguientes tablas para el caso que nos sitúa, con los parámetros básicos de iluminación.

8.3.4.1. Iluminancia media

Así, a partir de la normativa vigente se ha elaborado la siguiente tabla:

Tabla 7: Niveles mínimos de iluminancia media. Elaboración propia

Zona	Em
Aulas, despachos	300
Clases nocturnas	500
Biblioteca	500
Aulas de dibujo	750
Laboratorios	500
Aulas de informática	300
Halls de entrada	200
Pasillos	100
Escaleras	150
Aulas de reunión	200
Salas de profesores	300
Almacenes	100
Baños	200

Tras lo cual, y para el caso que ocupa, se han dividido los habitáculos de la escuela en los siguientes tipos:

Aulas, despachos y laboratorios, biblioteca, halls de entrada, pasillos y escaleras, almacenes y baños.

De esta forma, se ha elaborado una nueva tabla con los valores mínimos de iluminancia media mínima horizontal:

Tabla 8: Niveles mínimos de iluminancia media simplificados. Elaboración propia

Zona	Abreviatura	Em
Aulas, despachos y laboratorios	Aul	300-500
Biblioteca	Bib	500
Halls de entrada, pasillos y escaleras	Pas	100-200
Almacenes	Alm	50-100
Baños	Bañ	200-300

8.3.4.2. Índice de deslumbramiento

En este caso, de la normativa (UNE 12464), se extrae la siguiente tabla:

Tabla 9: Datos de niveles mínimos de E_m , UGR y R_a . Fuente: Idae

2. EDIFICIOS EDUCATIVOS				
Nº REF	TIPO DE INTERIOR, TAREA ACTIVIDAD	$E_{m,lux}$	UGR _L	R_a
2.1	AULAS, AULAS DE TUTORÍA	300	19	80
2.2	AULAS PARA CLASES NOCTURNAS Y EDUCACIÓN DE ADULTOS	500	19	80
2.3	SALA DE LECTURA	500	19	80
2.4	PIZARRA	500	19	80
2.5	MESA DE DEMOSTRACIONES	500	19	80
2.6	AULAS DE ARTE	500	19	80
2.7	AULAS DE ARTE EN ESCUELAS DE ARTE	750	19	90
2.8	AULAS DE DIBUJO TÉCNICO	750	16	80
2.9	AULAS DE PRÁCTICAS Y LABORATORIOS	500	19	80
2.10	AULAS DE MANUALIDADES	500	19	80
2.11	TALLERES DE ENSEÑANZA	500	19	80
2.12	AULAS DE PRÁCTICAS DE MÚSICA	300	19	80
2.13	AULAS DE PRÁCTICAS DE INFORMÁTICA	300	19	80
2.14	LABORATORIOS DE LENGUAS	300	19	80
2.15	AULAS DE PREPARACIÓN Y TALLERES	500	22	80
2.16	HALLS DE ENTRADA	200	22	80
2.17	ÁREAS DE CIRCULACIÓN, PASILLOS	100	25	80
2.18	ESCALERAS	150	25	80
2.19	AULAS COMUNES DE ESTUDIO Y AULAS DE REUNIÓN	200	22	80
2.20	SALAS DE PROFESORES	300	19	80
2.21	BIBLIOTECA: ESTANTERÍAS	200	19	80
2.22	BIBLIOTECA: SALAS DE LECTURA	500	19	80
2.23	ALMACENES DE MATERIAL DE PROFESORES	100	25	80
2.24	SALAS DE DEPORTE, GIMNASIOS, PISCINAS (USO GENERAL)	300	22	80
2.25	CANTINAS ESCOLARES	200	22	80
2.26	COCINA	500	22	80

A partir de ella, se elabora la siguiente tabla, teniendo en cuenta la naturaleza de los habitáculos que tenemos que iluminar en nuestro caso:

Tabla 10: Niveles mínimos de UGR simplificados. Elaboración propia

Zona	Abreviatura	UGR
Aulas, despachos y laboratorios	Aul	19
Biblioteca	Bib	19
Halls de entrada, pasillos y escaleras	Pas	22
Almacenes	Alm	25
Baños	Bañ	22

8.3.4.3. Color

La única norma que se establece en este caso es que el R_a sea como mínimo 80.

En cuanto a la temperatura de color de las lámparas, lo que se aconseja es instalar en las aulas lámparas con una temperatura de color intermedia, un blanco neutro, entre 4.000 y 5.000 K. Ya que, según estudios lumínicos, se demuestra que estos tonos son los que mejores resultados dan en aulas.

Para zonas de tránsito como pueden ser pasillos o halls, se recomienda usar tonos más cálidos, tonos blancos cálidos de entre 3.000 y 4.000 K.

En cambio, para aseos, es más recomendado usar temperaturas de color más frías, por encima de los 5.000 K.

8.3.4.4. Parámetros de eficiencia energética

Para el VEEI tenemos marcado en la siguiente tabla las exigencias que hay que tener en cuenta:

Tabla 11: Datos de niveles máximos de VEEI. Fuente: Idae

Grupo	Zonas de actividad diferenciada	VEEI límite
I Zonas de no representación	Administrativo en general	3,5
	Andenes de estaciones de transporte	3,5
	Salas de diagnóstico (4)	3,5
	Pabellones de exposición o ferias	3,5
	Aulas y laboratorios (2)	4,0
	Habitaciones de hospital (3)	4,5
	Zonas comunes (1)	4,5
	Almacenes, archivos, salas técnicas y cocinas	5
	Aparcamientos	5
	Espacios deportivos (5)	5
	Recintos interiores asimilables a grupo I no descritos en la lista anterior	4,5
2 Zonas de representación	Administrativo en general	6
	Estaciones de transporte (6)	6
	Supermercados, hipermercados y grandes almacenes	6
	Bibliotecas, museos y galerías de arte	6
	Zonas comunes en edificios residenciales	7,5
	Centros Comerciales (excluidas tiendas) (9)	8
	Hostelería y restauración (8)	10
	Religioso en general	10
	Salones de actos, auditorios y salas de usos múltiples y convenciones, salas de ocio o espectáculo, salas de reuniones y salas de conferencias (7)	10
	Tiendas y pequeño comercio	10
	Zonas comunes (1)	10
	Habitaciones de hoteles, hostales, etc.	12
	Recintos interiores asimilables a grupo 2 no descritos en la lista anterior	10

A partir de esta tabla, se ha elaborado la siguiente:

Tabla 12: Niveles máximos de VEEI. Elaboración propia

Zona	VEEI máx
Aulas, despachos	4
Clases nocturnas	4
Biblioteca	6
Aulas de dibujo	4
Laboratorios	4
Aulas de informática	4
Halls de entrada	4,5
Pasillos	4,5
Escaleras	4,5
Aulas de reunión	4
Salas de profesores	4
Almacenes	5
Baños	4,5

A partir de ella, elaboramos la siguiente tabla teniendo en cuenta la naturaleza de los habitáculos que tenemos que iluminar en nuestro caso:

Tabla 13: Niveles máximos de VEEI simplificados. Elaboración propia

Zona	VEEI máx
Aulas, despachos y laboratorios	4
Biblioteca	6
Halls de entrada, pasillos y escaleras	4,5
Almacenes	5
Baños	4,5

Por último, en cuanto al número de W/m², la única referencia que hay es la de que no se debe superar la barrera de los 15W/m² en edificios docentes. Y este es un valor que, con iluminación LED y con un número coherente de luminarias, nunca se debería sobrepasar.

8.4. Estimaciones y cálculos previos al estudio lumínico

Una vez vistos todos estos datos, es momento de comprobar el ahorro energético que supone el cambio a LED. Para poder llevar a cabo esto, ha sido necesario hacer varios cálculos previos y varias hipótesis.

A continuación, se presentan ordenadas de la siguiente forma, las estimaciones y los cálculos que ha sido necesario llevar a cabo para completar esta fase del trabajo:

- Estimación del horario de apertura de la escuela
- Estimación del tiempo de funcionamiento de las lámparas
- Cálculo del precio de las lámparas
- Cálculo cambio gradual o simultáneo de todas las lámparas
- Cálculo precio kWh

8.4.1. Estimación del horario de apertura de la escuela

Partiendo de un calendario escolar, facilitado muy amablemente por conserjería, se ha elaborado un horario, del cual se ha obtenido el número de días equivalentes que la escuela está abierta, de media, con un número de horas normal (14 horas):

Tabla 14: Horario de la E.P.S. de Ferrol

Horario general (HG)	Horario de verano (HV)
E,F,M,A,M,Jn,S,O,N y D	Jl y A
07:45-22:00	08:45-20:45

Tabla 15: Cálculo horas totales apertura

Número de días de un año	365,00
Número de festividades	17,00
Número de sábados y domingos	104,00
Cálculo número de días de apertura	244,00
Número de días que abre en HG	203,33
Número de días que abre en HV	40,67
Número de horas de apertura en HG	2846,67
Número de horas de apertura en HV	488,00
Número de horas totales de apertura	3334,67

Se va a tomar como día de apertura corriente, uno de horario general, en el cual, la facultad, está abierta 14 horas. Así, se obtiene el número de días equivalentes a una apertura de 14 horas.

Días equivalentes de apertura en HG	239,1905
-------------------------------------	----------

Por tanto, a efectos de cálculo, se puede dar por buena la suposición de que la EPS abre sus puertas 239 días al año durante 14 horas seguidas.

8.4.2. Estimación del tiempo de funcionamiento de las lámparas

Tabla 16: Estimación horas de funcionamiento de la iluminación

Tipo espacio	Horas de funcionamiento
Conserjería	14
Almacenes y zonas de poco tránsito	0,5
Aseos principales planta baja	13
Resto de aseos	8
Aulas	8
Despachos	6
Copistería y secretaría	6
Laboratorios	8
Zonas de paso	13
Biblioteca	14

8.4.3. Cálculo del precio de las lámparas

Tabla 17: Precios de los distintos tipos de lámparas de sustitución

Modelo	Precio catálogo	Precio con descuento	Precio con IVA (Total)
MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	29,28	20,496	24,80016
MASTER LEDtube 1500mm UO 25W 840 T8 ROT	38,28	26,796	32,42316
MASTER LEDtube VLE 600mm 10W/840 T8 ROT	19,28	13,496	16,33016
CorePro LEDspotMV 5-50W GU10 840 50D	5,99	4,193	5,07353
CorePro LED PLC 8.5W G24d-3/840 2P	13,99	9,793	11,84953
Core Pro led bulb 13.5-100W 827 E27	11,99	8,393	10,15553

*El "precio con descuento" viene del descuento que se le hace a la UDC a partir del PVP.

8.4.4. Cálculo cambio gradual o simultáneo de todas las lámparas

En este caso, se ha valorado la posibilidad de, en lugar de llevar a cabo un cambio simultáneo de todas las lámparas de la escuela, se realice gradualmente, a medida que se funden las mismas.

Para comprobar si resulta ecológicamente rentable esta posibilidad, se ha realizado este cálculo.

En el cálculo se han tenido en cuenta, tanto las emisiones equivalentes de CO₂ que implica la fabricación de los tubos fluorescentes ya existentes, como las emisiones equivalentes de la fabricación de los tubos LED.

Explicación de las fórmulas:

Se ha calculado el número de lámparas total de la escuela, que son 1.787. Se ha hecho una media ponderada para calcular el número de horas que, por promedio permanece una lámpara encendida al día, resultando 9,39 horas al día. También se ha calculado la media ponderada para conocer la potencia de esa lámpara tipo, que resulta ser de 39,239 W.

Además, gracias a un estudio publicado por OSRAM, sabemos que una lámpara fluorescente lleva asociada en su fabricación el consumo aproximado de 10,2 kWh.

También se usa el factor de conversión de kWh a kg CO₂ equivalentes, es decir, por cada kWh se emiten aproximadamente 0,6015 Kg CO₂ a la atmósfera.

Se ha calculado también, a partir de las fichas técnicas y de las horas de funcionamiento, la vida útil media de una lámpara promedio, resultando 6,77 años. Y puesto que las lámparas actuales llevan ya muchos años instaladas, se ha supuesto que les resta la mitad de la vida útil, por ello, se divide entre dos.

Por último 239 son los días que abre la EPS al año sus puertas durante 14 horas.

Opción 1: Ningún cambio

$$EEQ = \frac{1.787 * 0,6015(10,2 + \left(\frac{6,77}{2}\right) * \left(\frac{39,239}{1.000}\right) * 9,39 * 239)}{\frac{6,77}{2}} = 97.894 \text{ kg } CO_2/\text{año}$$

1787: número total de lámparas

0,6015: factor de conversión kWh a Kg CO₂ equivalentes

10,2: número de kWh que hacen falta para fabricar una lámpara fluorescente

6,77: vida útil de la lámpara fluorescente promedio en años

39,239: potencia de la lámpara fluorescente promedio en W

9,39: horas que está encendida la lámpara promedio al día

239: días al año que abre la escuela durante 14 horas seguidas

Opción 2: Cambio gradual

$$EEQ = \frac{1.787 * 0,6015 * \left(10,2 + \left(\frac{6,77}{2}\right) * \left(\frac{39,239}{1.000}\right) * 9,39 * 239 + 9,9 + 22,97 * \left(\frac{19,857}{1.000}\right) * 9,39 * 239\right)}{\left(\frac{6,77}{2} + 22,97\right)}$$

= 54.725 kg CO₂/año

1787: número total de lámparas

0,6015: factor de conversión kWh a Kg CO₂ equivalentes

10,2: número de kWh que hacen falta para fabricar una lámpara fluorescente

6,77: vida útil de la lámpara fluorescente promedio en años

39,239: potencia de la lámpara promedio fluorescente en W

9,39: horas que está encendida la lámpara promedio al día

239: días al año que abre la escuela durante 14 horas seguidas

9,9: número de kWh que hacen falta para fabricar una lámpara LED

22,97: vida útil de la lámpara LED promedio en años

19,857: potencia de la lámpara promedio LED en W

Opción 3: Cambio simultáneo

$$EEQ = \frac{(1.787 * 0,6015) * (10,2 + 9,9 + (22,97) * (19,857/1.000) * 9,39 * 239)}{(22,97)}$$

$$= 48.840 \text{ kg } CO_2/\text{año}$$

1787: número total de lámparas

0,6015: factor de conversión kWh a Kg CO2 equivalentes

10,2: número de kWh que hacen falta para fabricar una lámpara fluorescente

9,9: número de kWh que hacen falta para fabricar una lámpara LED

22,97: vida útil de la lámpara LED promedio en años

19,857: potencia de la lámpara promedio LED en W

9,39: horas que está encendida la lámpara promedio al día

6,77: vida útil de la lámpara fluorescente promedio en años

239: días al año que abre la escuela durante 14 horas seguidas

* *EEQ: emisiones equivalentes*

Por tanto, se comprueba de esta manera, que, además de económicamente, es rentable en cuanto a emisiones de CO₂, realizar un cambio simultáneo total de las lámparas (a excepción de las lámparas de los almacenes).

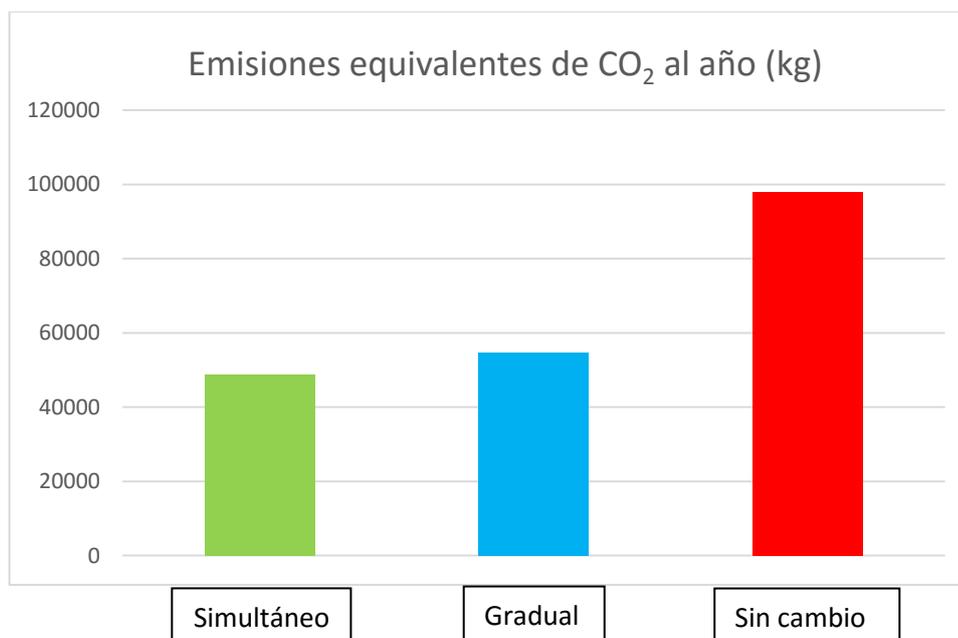


Figura 51: Comparativo emisiones asociadas de CO₂ según los tipos de cambios

8.4.5. Cálculo del precio del kWh

Se ha tenido acceso a las siguientes facturas, además de facturas anteriores, pero se ha optado por estimar el precio del kWh a partir de las facturas disponibles del 2015 y 2016:

Tabla 18: Precio antes de impuestos del kWh en el campus de Esteiro

	Período de facturación	Consumo (kWh)	Precio	€/kWh
2015	10/01/2015-06/02/2015	87172,00	12.040,21 €	0,1381 €
	07/02/2015-06/03/2015	87577,00	12.289,63 €	0,1403 €
	07/03/2015-10/04/2015	106269,00	13.824,10 €	0,1301 €
	11/04/2015-07/05/2015	50421,00	7.347,05 €	0,1457 €
	08/01/2015-05/06/2015	70802,00	9.502,72 €	0,1342 €
	06/06/2015-06/07/2015	66068,00	8.767,42 €	0,1327 €
	07/07/2015-12/08/2015	66552,00	8.751,76 €	0,1315 €
	13/08/2015-04/09/2015	43728,00	6.145,06 €	0,1405 €
	05/09/2015-05/10/2015	84352,00	10.884,71 €	0,1290 €
	06/10/2015-09/11/2015	86854,00	11.455,82 €	0,1319 €
	10/11/2015-03/12/2015	78270,00	10.848,44 €	0,1386 €
	04/12/2015-08/01/2016	89075,00	12.258,28 €	0,1376 €
2016	09/01/2016-04/02/2016	73451,00	9.998,22 €	0,1361 €
	05/02/2016-29/02/2016	78014,00	10.790,05 €	0,1383 €
	01/03/2016-31/03/2016	88495,00	12.755,82 €	0,1441 €

Precio kWh (sin IVA)	0,1366 €
----------------------	----------

Precio kWh (con IVA)	0,1653 €
----------------------	----------

8.5. Inventariado

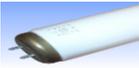
8.5.1. Introducción

El inventariado se llevó a cabo durante varios días, en los cuales se obtuvo el permiso, tanto de la dirección de la escuela, como de conserjería, que muy amablemente facilitó las llaves de los distintos habitáculos de la escuela.

8.5.2. Tipos de lámparas inventariadas

Una vez realizado el inventario, se confeccionó la siguiente tabla, en la que se muestran la mayoría de los distintos modelos de lámparas presentes en la escuela:

Tabla 19: Resumen tipos de lámparas encontradas durante el inventariado

Luminaria	Referencia	Ubicación	Foto
Tubo fluorescente	General electric-Polylux FT8/36W/840/GE 3250 lm	Pasillos y aulas	
Tubo fluorescente	MAZDA TFP INC 58W/830 G13 5240 lm	Aulas grandes	
Tubo fluorescente	Philips TL-D 36W/830 1SL/25 3250 lm	Pasillos y aulas	
Tubo compacto	Philips GENIE 23W/E27 220-240V 1PF/6 1450 lm	Escaleras	
Tubo compacto	Faro 23W/E27 220-240V 1PF/6 1450 lm	Escaleras	
Tubo fluorescente	Osram LUMILUX Cool/L 36 W/840-1 3100 lm	Pasillos y aulas	
Halógena dicroica	OSRAM Decostar 51s/2 pin/necesario trafo 680 lm	Despachos, distribuidores, baños y conserjería	
Tubo compacto	OSRAM DULUX D/E 26 W/840/2 pin 1450 lm	Distribuidores	
Halógena dicroica	OSRAM HALOPAR 16/50 W - 230 V/GU10/GZ10 300lm	Despachos y baños	

8.5.3. Tabla de inventario y cálculos

Así, habitáculo a habitáculo, se ha ido elaborando una tabla de inventario como la que se presenta a continuación, la cual, ya tiene añadidos los cálculos, tanto de luxes, como VEEI y W/m². En esas 3 columnas se ha añadido un cálculo que permite revisar visualmente la normativa en cada habitáculo.

Así, el rojo indica incumplimiento, el celeste cumplimiento y el morado sobrecumplimiento.

Parte	Planta	Abreviatura	Uso	Zona	Área (m ²)	Tipo de equipo	Nº luminarias	Nº lámparas/lum	Potencia lámpara (W)	Potencia luminaria (W)	Total (W)	Total (W) incluyendo equipos	Ratio (W/m ²)	VEEI	Lumen por lámpara	Lumen por tipología de luminaria	Lumen por habitáculo teórico	Lumen por habitáculo real estimado	Luxes	Lúmenes/W
	Escaleras	Pas	Tránsito	Todas	278,154	Fluorescente compacto	16	1	23	23	368	368	1,32	4,53	1450	1450	23200	8120	29,19	22,07
	Planta -1	Pas	Pasillo	A -1.51	107,09	Fluorescente lineal	3	2	36	72	216	280,8	2,62	4,31	3100	6200	18600	6510	60,79	23,18
		Alm	Sala	A -1.48	8,42	Fluorescente lineal	1	1	36	36	36	46,8	5,56	4,31	3100	3100	3100	1085	128,86	23,18
		Pas	Pasillo	A -1.27	41,394	Fluorescente lineal	1	4	36	144	144	187,2	6,78	4,31	3100	12400	12400	4340	157,27	23,18
			Pasillo			Fluorescente lineal	1	2	36	72	72	93,6			3100	6200	6200	2170		
			Total pasillo			Total	2	-	-	-	216	280,8			-	-	18600	6510		
		Pas	Pasillo	A -1.50	83,14	Fluorescente lineal	1	4	36	144	144	187,2	10,13	4,31	3100	12400	12400	4340	234,90	23,18
			Pasillo			Fluorescente lineal	7	2	36	72	504	655,2			3100	6200	43400	15190		
			Total pasillo			Total	8	-	-	-	648	842,4			-	-	55800	19530		
		Pas	Pasillo	P3	59,846	Fluorescente lineal	6	2	36	72	432	561,6	9,38	4,31	3100	6200	37200	13020	217,56	23,18
		Aul	Laboratorio	A -1.44	49,02	Fluorescente lineal	6	2	36	72	432	561,6	11,46	4,31	3100	6200	37200	13020	265,61	23,18
		Aul	Laboratorio	A -1.41	29,58	Fluorescente lineal	2	4	36	144	288	374,4	12,66	4,31	3100	12400	24800	8680	293,44	23,18
		Aul	Laboratorio	A -1.43	30,78	Fluorescente lineal	2	4	36	144	288	374,4	18,25	4,31	3100	12400	24800	8680	423,00	23,18
			Laboratorio			Fluorescente lineal	2	2	36	72	144	187,2			3100	6200	12400	4340		
			Total laboratorio			Total	4	-	-	-	561,6	-			-	37200	13020			
		Aul	Laboratorio	A -1.45	38	Fluorescente lineal	4	4	36	144	576	748,8	19,71	4,31	3100	12400	49600	17360	456,84	23,18
		Aul	Despacho	A -1.39	17,85	Fluorescente lineal	2	2	36	72	144	187,2	10,49	4,31	3100	6200	12400	4340	243,14	23,18
		Aul	Despacho	A -1.40	17,85	Fluorescente lineal	2	2	36	72	144	187,2	10,49	4,31	3100	6200	12400	4340	243,14	23,18
		Bañ	Baño	A -1.31	5,8	Halógena	2	1	50	50	100	100	17,24	29,76	300	300	600	336	57,93	3,36
		Bañ	Baño	A -1.32	3,63	Halógena	2	1	50	50	100	100	27,55	29,76	300	300	600	336	92,56	3,36
		Aul	Despacho	A -1.28	19	Fluorescente lineal	1	1	36	36	36	46,8	7,39	4,31	3100	3100	3100	1085	171,32	23,18
			Despacho			Fluorescente lineal	1	2	36	72	72	93,6			3100	6200	6200	2170		
			Total despacho			Total	2	-	-	-	140,4	-			-	9300	3255			
		Aul	Despacho	A -1.30	34,72	Fluorescente lineal	2	4	36	144	288	374,4	10,78	4,31	3100	12400	24800	8680	250,00	23,18
		Aul	Despacho	A -1.34	43,4	Fluorescente lineal	3	4	36	144	432	561,6	12,94	4,31	3100	12400	37200	13020	300,00	23,18
		Aul	Despacho	A -1.37	11,52	Fluorescente lineal	1	4	36	144	144	187,2	16,25	4,31	3100	12400	12400	4340	376,74	23,18
		Aul	Despacho	A -1.38	10,44	Fluorescente lineal	1	4	36	144	144	187,2	17,93	4,31	3100	12400	12400	4340	415,71	23,18
		Aul	Laboratorio	A -1.47	40,5	Fluorescente lineal	2	4	36	144	288	374,4	9,24	4,31	3100	12400	24800	8680	214,32	23,18
		Aul	Laboratorio	A -1.42	26,04	Fluorescente lineal	2	4	36	144	288	374,4	14,38	4,31	3100	12400	24800	8680	333,33	23,18
		Aul	Laboratorio	A -1.35	39,37	Fluorescente lineal	2	4	36	144	288	374,4	9,51	4,31	3100	12400	24800	8680	220,47	23,18
		Aul	Laboratorio	A -1.36	99,81	Fluorescente lineal	10	2	36	72	720	936	9,38	4,31	3100	6200	62000	21700	217,41	23,18
		Aul	Laboratorio	A -1.29	60,69	Fluorescente lineal	5	2	36	72	360	468	7,71	4,31	3100	6200	31000	10850	178,78	23,18
		Pas	Pasillo	A -1.22	32,75	Fluorescente lineal	3	2	58	116	348	452,4	13,81	4,11	5240	10480	31440	11004	336,00	24,32
		Alm	Almacén	A -1.21	9,91	Fluorescente lineal	1	1	36	36	36	46,8	4,72	4,31	3100	3100	3100	1085	109,49	23,18
	Alm	Almacén	A -1.19	6,35	Fluorescente lineal	1	1	58	58	58	75,4	11,87	4,11	5240	5240	5240	1834	288,82	24,32	
	Aul	Laboratorio	A -1.17	32,06	Fluorescente lineal	3	2	58	116	348	452,4	14,11	4,11	5240	10480	31440	11004	343,23	24,32	
	Alm	Almacén	A -1.16	9,87	Fluorescente lineal	1	1	58	58	58	75,4	7,64	4,11	5240	5240	5240	1834	185,82	24,32	
	Alm	Almacén	A -1.18	20,08	Fluorescente lineal	3	2	58	116	348	452,4	22,53	4,11	5240	10480	31440	11004	548,01	24,32	
	Alm	Almacén	A -1.08	6,1	Fluorescente lineal	1	1	36	36	36	46,8	7,67	4,31	3100	3100	3100	1085	177,87	23,18	
	Pas	Pasillo	A -1.04	25,47	Fluorescente lineal	3	1	36	36	108	140,4	5,51	4,31	3100	3100	9300	3255	127,80	23,18	
	Pas	Pasillo	A -1.05	29,16	Fluorescente lineal	2	1	36	36	72	93,6	3,21	4,31	3100	3100	6200	2170	74,42	23,18	
	Alm	Almacén	A -1.09	9,33	Fluorescente lineal	1	1	36	36	36	46,8	5,02	4,31	3100	3100	3100	1085	116,29	23,18	
	Alm	Almacén	A -1.10	9,33	Fluorescente lineal	1	1	36	36	36	46,8	5,02	4,31	3100	3100	3100	1085	116,29	23,18	
	Alm	Almacén	A -1.11	9,12	Fluorescente lineal	1	1	36	36	36	46,8	5,13	4,31	3100	3100	3100	1085	118,97	23,18	
	Aul	Despacho	A -1.01	10,84	Fluorescente lineal	1	2	36	72	72	93,6	8,63	4,31	3100	6200	6200	2170	200,18	23,18	
	Aul	Despacho	A -1.02	11,2	Fluorescente lineal	1	2	36	72	72	93,6	8,36	4,31	3100	6200	6200	2170	193,75	23,18	
	Aul	Laboratorio	A -1.12	73,87	Fluorescente lineal	4	4	36	144	576	748,8	10,14	4,31	3100	12400	49600	17360	235,01	23,18	
	Aul	Laboratorio	A -1.20	82,43	Fluorescente lineal	6	4	36	144	864	1123,2	13,63	4,31	3100	12400	74400	26040	315,90	23,18	
	Alm	Almacén	A -1.23	25,23	Fluorescente lineal	1	1	36	36	36	46,8	1,85	4,31	3100	3100	3100	1085	43,00	23,18	
	Pas	Zona de paso seguridad	A -1.24	12,04	Fluorescente lineal	1	2	36	72	72	93,6	7,77	4,31	3100	6200	6200	2170	180,23	23,18	
	Bañ	Baño	A -1.25	3,13	Halógena	1	1	50	50	50	50	15,97	29,76	300	300	300	168	53,67	3,36	
	Bañ	Baño	A -1.26	3,13	Halógena	1	1	50	50	50	50	15,97	29,76	300	300	300	168	53,67	3,36	

Parte	Planta	Abreviatura	Uso	Zona	Área (m2)	Tipo de equipo	Nº luminarias	Nº lámparas/lum	Potencia lámpara (W)	Potencia luminaria (W)	Total (W)	Total (W) incluyendo equipos	Ratio (W/m2)	VEEI	Lumen por lámpara	Lumen por tipología de luminaria	Lumen por habitáculo teórico	Lumen por habitáculo real estimado	Luxes	Lúmenes/W
1	Planta 0	Bañ	Aseo hombres	A 0.40	6,46	Fluorescente lineal	1	2	36	72	72	93,6	14,49	4,31	3100	6200	6200	2170	335,91	23,18
		Bañ	Aseo mujeres	A 0.43	6,46	Fluorescente lineal	1	2	36	72	72	93,6	14,49	4,31	3100	6200	6200	2170	335,91	23,18
		Pas	Pasillo	A 0.39	54,809	Fluorescente lineal	2	4	36	144	288	374,4	6,83	4,31	3100	12400	24800	8680	158,37	23,18
		Pas	Pasillo	P3	144,093	Fluorescente lineal	14	2	36	72	1008	1310,4	9,09	4,31	3100	6200	86800	30380	210,84	23,18
		Aul	Aula	A 0.36	57,23	Fluorescente lineal	5	4	36	144	720	936	16,36	4,31	3100	12400	62000	21700	379,17	23,18
		Aul	Delegación	A 0.33	28,18	Fluorescente lineal	2	2	36	72	144	187,2	10,19	6,31	3100	6200	12400	4340	161,46	15,84
			Delegación			Halógena	2	1	50	50	100	100			300	300	600	210		
			Total delegación			Total	4	-	-	-	244	287,2			-	-	13000	4550		
		Pas	Pasillo	P1	46,864	Fluorescente lineal	1	6	36	216	216	280,8	8,99	4,31	3100	18600	18600	6510	208,37	23,18
			Pasillo			Fluorescente lineal	3	1	36	36	108	140,4			3100	3100	9300	3255		
			Total Pasillo			Total	4	-	-	-	324	421,2			-	-	27900	9765		
		Pas	Pasillo	P2	29,686	Fluorescente lineal	3	2	36	72	216	280,8	9,46	4,31	3100	6200	18600	6510	219,30	23,18
		Aul	Lab química	A 0.24	104,88	Fluorescente lineal	9	4	36	144	1296	1684,8	16,06	4,31	3100	12400	111600	39060	372,43	23,18
		Aul	Despacho lab química	A 0.26	14,33	Fluorescente lineal	1	4	36	144	144	187,2	13,06	4,31	3100	12400	12400	4340	302,86	23,18
		Pas	Pasillo	A 0.13	85,022	Fluorescente lineal	3	6	36	216	648	842,4	9,91	4,31	3100	18600	55800	19530	229,71	23,18
		Bañ	Baño grande hombres	A 0.29	31,51	Fluorescente lineal	3	2	36	72	216	280,8	8,91	4,31	3100	6200	18600	6510	206,60	23,18
		Bañ	Baño grande mujeres	A 0.27.2	36,43	Fluorescente lineal	3	2	36	72	216	280,8	7,71	4,31	3100	6200	18600	6510	178,70	23,18
		Aul	Sala	A 0.04	32,38	Fluorescente lineal	3	2	36	72	216	280,8	8,67	4,31	3100	6200	18600	6510	201,05	23,18
		Aul	Copistería	A 0.05	26,74	Fluorescente lineal	2	2	36	72	144	187,2	7,00	4,31	3100	6200	12400	4340	162,30	23,18
		Aul	Conserjería	A 0.07	25,47	Fluorescente lineal	2	2	36	72	144	187,2	13,32	6,31	3100	6200	12400	4340	263,84	19,81
			Conserjería			Halógena	2	1	50	50	100	100			300	300	600	336		
			Conserjería			Fluorescente compacto	1	2	26	52	52	52			3100	6200	6200	2170		
			Total conserjería			Total	5	-	-	-	296	339,2			-	-	19200	6720		
		Bib	Biblioteca	A 0.01	187,73	Fluorescente lineal	6	6	36	216	1296	1684,8	25,47	6,31	3100	18600	111600	39060	643,43	25,26
			Biblioteca			Fluorescente lineal	7	4	36	144	1008	1310,4			3100	12400	86800	30380		
			Biblioteca			Fluorescente lineal	14	2	58	116	1624	1786,4			5240	10480	146720	51352		
			Total biblioteca			Fluorescente lineal	27	-	-	-	3928	4781,6			-	-	345120	120792		
		Aul	Despacho biblioteca	A 0.02	11,32	Fluorescente lineal	1	6	36	216	216	280,8	24,81	4,31	3100	18600	18600	6510	575,09	23,18
		Aul	Depósito biblioteca	A 0.03	31,37	Fluorescente lineal	3	2	36	72	216	280,8	8,95	4,31	3100	6200	18600	6510	207,52	23,18
		Aul	Aula	A 0.22	101,76	Fluorescente lineal	6	6	36	216	1296	1684,8	17,33	4,28	3100	18600	111600	39060	405,17	23,37
			Aula			Fluorescente lineal	2	1	36	36	72	79,2			3100	3100	6200	2170		
			Total aula			Total	8	-	-	-	1368	1764			-	-	117800	41230		
		Aul	Aula	A 0.35	117,65	Fluorescente lineal	6	6	36	216	1296	1684,8	14,99	4,28	3100	18600	111600	39060	350,45	23,37
			Aula			Fluorescente lineal	2	1	36	36	72	79,2			3100	3100	6200	2170		
			Total aula			Total	8	-	-	-	1368	1764			-	-	117800	41230		
		Aul	Aula de grados	A 0.38	66,85	Fluorescente lineal	5	4	36	144	720	936	14,00	4,31	3100	12400	62000	21700	324,61	23,18
		Aul	Despacho	A 0.41	13,14	Fluorescente lineal	1	2	36	72	72	93,6	14,73	8,13	3100	6200	6200	2170	181,13	12,29
			Despacho			Halógena dicroica	2	1	50	50	100	100			300	300	600	336		
			Total despacho			Total	3	-	-	-	172	193,6			-	-	6800	2380		
		Aul	Despacho	A 0.42	12,48	Fluorescente lineal	1	2	36	72	72	93,6	15,51	8,13	3100	6200	6200	2170	190,71	12,29
Despacho	Halógena dicroica		2			1	50	50	100	100	300	300			600	336				
Total despacho	Total		3			-	-	-	172	193,6	-	-			6800	2380				
Alm	Almacén	A 0.34	2,59	Fluorescente lineal	1	1	36	36	36	46,8	18,07	4,31	3100	3100	3100	1085	418,92	23,18		
Alm	Almacén	A 0.30	9,6	Fluorescente lineal	1	2	36	72	72	93,6	9,75	4,31	3100	6200	6200	2170	226,04	23,18		
1		Bañ	Aseo hombres	A 1.44	13,65	Fluorescente lineal	1	2	36	72	72	93,6	6,86	4,31	3100	6200	6200	2170	158,97	23,18
		Bañ	Aseo mujeres	A 1.46	14,08	Fluorescente lineal	1	2	36	72	72	93,6	6,65	4,31	3100	6200	6200	2170	154,12	23,18
		Pas	Pasillo	A 1.43	55,282	Fluorescente lineal	2	4	36	144	288	374,4	6,77	4,31	3100	12400	24800	8680	157,01	23,18
		Pas	Pasillo	P1	143,851	Fluorescente lineal	14	2	36	72	1008	1310,4	9,11	4,31	3100	6200	86800	30380	211,19	23,18
		Aul	Aula	A 1.42	45,17	Fluorescente lineal	4	4	36	144	576	748,8	16,58	4,31	3100	12400	49600	17360	384,33	23,18
		Aul	Aula	A 1.41	43,94	Fluorescente lineal	4	4	36	144	576	748,8	17,04	4,31	3100	12400	49600	17360	395,08	23,18
		Aul	Aula	A 1.39	43,53	Fluorescente lineal	4	4	36	144	576	748,8	17,20	4,31	3100	12400	49600	17360	398,81	23,18
		Aul	Laboratorio	A 1.15	54,9	Fluorescente lineal	3	4	36	144	432	561,6	10,23	4,31	3100	12400	37200	13020	237,16	23,18

Parte	Planta	Abreviatura	Uso	Zona	Área (m ²)	Tipo de equipo	Nº luminarias	Nº lámparas/lum	Potencia lámpara (W)	Potencia luminaria (W)	Total (W)	Total (W) incluyendo equipos	Ratio (W/m ²)	VEEI	Lumen por lámpara	Lumen por tipología de luminaria	Lumen por habitáculo teórico	Lumen por habitáculo real estimado	Luxes	Lúmenes/W
	Planta 1	Aul	Laboratorio	A 1.28	82,46	Fluorescente lineal	5	4	36	144	720	936	11,35	4,31	3100	12400	62000	21700	263,16	23,18
		Pas	Pasillo	A 1.14	51,366	Fluorescente lineal	2	4	36	144	288	374,4	7,29	4,31	3100	12400	24800	8680	168,98	23,18
		Aul	Aula	A 1.27	98,88	Fluorescente lineal	6	6	36	216	1296	1684,8	17,84	4,28	3100	18600	111600	39060	416,97	23,37
			Aula			Fluorescente lineal	2	1	36	36	72	79,2			3100	3100	6200	2170		
			Total Aula			Total	8	-	-	-	1368	1764			-	-	117800	41230		
		Pas	Pasillo	P2	59,769	Fluorescente lineal	1	6	36	216	216	280,8	4,70	4,31	3100	18600	18600	6510	108,92	23,18
		Aul	Aula	A 1.29	101,82	Fluorescente lineal	5	8	36	288	1440	1872	21,14	4,31	3100	24800	124000	43400	490,18	23,18
			Aula			Fluorescente lineal	1	6	36	216	216	280,8			3100	18600	18600	6510		
			Total Aula			Total	6	-	-	-	1656	2152,8			-	-	142600	49910		
		Aul	Aula	A 1.30	125,14	Fluorescente lineal	7	6	58	348	2436	3166,8	25,31	4,11	5240	31440	220080	77028	615,53	24,32
		Aul	Aula	A 1.40	163,84	Fluorescente lineal	10	6	58	348	3480	4524	28,10	4,10	5240	31440	314400	110040	684,88	24,38
			Aula			Fluorescente lineal	2	1	36	36	72	79,2			3100	3100	6200	2170		
			Total Aula			Total	2	-	-	-	3552	4603,2			-	-	320600	112210		
		Aul	Despacho	A 1.45	19,82	Fluorescente lineal	1	4	36	144	144	187,2	14,49	6,31	3100	12400	12400	4340	229,57	15,84
			Despacho			Halógena dicroica	2	1	50	50	100	100			300	300	600	336		
			Total despacho			Total	3	-	-	-	244	287,2			-	-	13000	4550		
		Alm	Almacén	A 1.38	2,5	Fluorescente lineal	1	1	36	36	36	46,8	18,72	4,31	3100	3100	3100	1085	434,00	23,18
		Aul	Despacho	A 1.37	15,09	Fluorescente lineal	1	2	36	72	72	93,6	6,20	4,31	3100	6200	6200	2170	143,80	23,18
		Aul	Despacho	A 1.36	14,08	Fluorescente lineal	1	2	36	72	72	93,6	13,75	8,13	3100	6200	6200	2170	169,03	12,29
			Despacho			Halógena dicroica	2	1	50	50	100	100			300	300	600	336		
			Total despacho			Total	3	-	-	-	172	193,6			-	-	6800	2380		
		Aul	Despacho	A 1.35	12,8	Fluorescente lineal	2	2	36	72	144	187,2	14,63	4,31	3100	6200	12400	4340	339,06	23,18
		Aul	Despacho	A 1.34	12,8	Fluorescente lineal	1	2	36	72	72	93,6	15,13	8,13	3100	6200	6200	2170	185,94	12,29
			Despacho			Halógena dicroica	2	1	50	50	100	100			300	300	600	336		
			Total despacho			Total	3	-	-	-	172	193,6			-	-	6800	2380		
		Aul	Despacho	A 1.33	12,8	Fluorescente lineal	1	2	36	72	72	93,6	15,13	8,13	3100	6200	6200	2170	185,94	12,29
			Despacho			Halógena dicroica	2	1	50	50	100	100			300	300	600	336		
			Total despacho			Total	3	-	-	-	172	193,6			-	-	6800	2380		
		Aul	Seminario	A 1.03	41,49	Fluorescente lineal	4	4	36	144	576	748,8	18,05	4,31	3100	12400	49600	17360	418,41	
		Aul	Seminario	A 1.02	40,23	Fluorescente lineal	4	4	36	144	576	748,8	22,36	4,28	3100	12400	49600	17360	522,69	23,37
	Seminario		Fluorescente lineal			2	1	58	58	116	150,8	5240			5240	10480	3668			
	Total seminario		Total			6	-	-	-	692	899,6	-			-	60080	21028			
	Aul	Aula	A 1.01	83,79	Fluorescente lineal	9	4	36	144	1296	1684,8	23,09	4,61	3100	12400	111600	39060	501,25	21,71	
		Aula			Halógena encendido	1	1	250	250	250	250			8400	8400	8400	2940			
		Total aula			Total	-	-	-	-	1546	1934,8			-	-	120000	42000			
	Aul	Despacho	A 1.32	16,61	Fluorescente lineal	1	2	36	72	72	93,6	17,68	11,34	3100	6200	6200	2170	155,93	8,82	
		Despacho			Halógena dicroica	4	1	50	50	200	200			300	300	1200	672			
		Total despacho			Total	5	-	-	-	272	293,6			-	-	7400	2590			
	Alm	Almacén	A 1.31	9,6	Fluorescente lineal	1	1	36	36	36	46,8	4,88	4,31	3100	3100	3100	1085	113,02	23,18	
	Bañ	Aseo hombres	A 2.56	11,09	Fluorescente lineal	1	2	36	72	72	93,6	8,44	4,31	3100	6200	6200	2170	195,67	23,18	
	Bañ	Aseo mujeres	A 2.59	10,94	Fluorescente lineal	1	2	36	72	72	93,6	8,56	4,31	3100	6200	6200	2170	198,35	23,18	
	Pas	Pasillo	A 2.55	63,038	Fluorescente lineal	2	4	36	144	288	374,4	5,94	4,31	3100	12400	24800	8680	137,69	23,18	
	Aul	Aula	A 2.53	63,12	Fluorescente lineal	3	6	58	348	1044	1357,2	25,10	6,31	5240	31440	94320	33012	608,95	24,27	
		Aula			Fluorescente lineal	2	2	36	72	144	187,2			3100	6200	12400	4340			
		Aula			Fluorescente lineal	1	1	36	36	36	39,6			3100	3100	3100	1085			
		Total aula			Total	6	-	-	-	1224	1584			-	-	109820	38437			
	Pas	Pasillo	P1	12,805	Tubo compacto	2	1	26	26	52	52	4,06	4,64	1600	1600	3200	1120	87,47	21,54	
	Pas	Pasillo	P2	157,531	Fluorescente lineal	14	2	36	72	1008	1310,4	8,32	4,31	3100	6200	86800	30380	192,85	23,18	
	Pas	Pasillo	P3	36,63	Fluorescente lineal	1	6	36	216	216	280,8	15,33	4,31	3100	18600	18600	6510	355,45	23,18	
		Pasillo			Fluorescente lineal	3	2	36	72	216	280,8			3100	6200	18600	6510			
		Total pasillo			Total	6	-	-	-	432	561,6			-	-	37200	13020			
	Pas	Pasillo	A 2.40	18,45	Tubo compacto	2	1	26	26	52	52	2,82	4,64	1600	1600	3200	1120	60,70	21,54	

Parte	Planta	Abreviatura	Uso	Zona	Área (m²)	Tipo de equipo	Nº luminarias	Nº lámparas/lum	Potencia lámpara (W)	Potencia luminaria (W)	Total (W)	Total (W) incluyendo equipos	Ratio (W/m2)	VEEI	Lumen por lámpara	Lumen por tipología de luminaria	Lumen por habitáculo teórico	Lumen por habitáculo real estimado	Luxes	Lúmenes/W
Planta 2	Aul	Aula	Aula	A 2.36	56,77	Fluorescente lineal	4	6	36	216	864	1123,2	21,18	4,26	3100	18600	74400	26040	496,92	23,46
						Fluorescente lineal	2	1	36	36	72	79,2			3100	3100	6200	2170		
						Total aula	4	-	-	-	144	1202,4			-	-	80600	28210		
	Pas	Pasillo	A 2.22	50,342	Fluorescente lineal	2	4	36	144	288	374,4	7,44	4,31	3100	12400	24800	8680	172,42	23,18	
	Aul	Aula	A 2.23	51,21	Fluorescente lineal	4	4	36	144	576	748,8	14,62	4,31	3100	12400	49600	17360	339,00	23,18	
	Aul	Aula	A 2.42	59,92	Fluorescente lineal	6	4	36	144	864	1123,2	18,74	4,31	3100	12400	74400	26040	434,58	23,18	
	Aul	Aula	A 2.37	63,62	Fluorescente lineal	5	4	36	144	720	936	14,71	4,31	3100	12400	62000	21700	341,09	23,18	
	Aul	Aula	A 2.01	70,87	Fluorescente lineal	4	6	36	216	864	1123,2	15,85	4,31	3100	18600	74400	26040	367,43	23,18	
	Aul	Aula	A 2.21	56,75	Fluorescente lineal	5	6	36	216	1080	1404	24,74	4,31	3100	18600	93000	32550	573,57	23,18	
	Aul	Despacho	A 2.57	12,48	Fluorescente lineal	1	2	36	72	72	93,6	13,78	7,23	3100	6200	6200	2170	190,71	13,84	
					Halógena dicroica	2	1	50	50	100	300			300	600	336				
					Total despacho	3	-	-	-	172	172			-	-	6800	2380			
	Aul	Despacho	A 2.58	12,48	Fluorescente lineal	1	2	36	72	72	93,6	15,51	8,13	3100	6200	6200	2170	190,71	12,29	
					Halógena dicroica	2	1	50	50	100	300			300	600	336				
					Total despacho	3	-	-	-	172	193,6			-	-	6800	2380			
	Aul	Aula	A 2.54	48,32	Fluorescente lineal	3	4	36	144	432	561,6	11,62	4,31	3100	12400	37200	13020	269,45	23,18	
	Aul	Aula	A 2.52	20,87	Fluorescente lineal	2	4	36	144	288	374,4	17,94	4,31	3100	12400	24800	8680	415,91	23,18	
	Aul	Aula	A 2.51	31,02	Fluorescente lineal	2	4	36	144	288	374,4	12,07	4,31	3100	12400	24800	8680	279,82	23,18	
	Aul	Aula	A 2.49	21,05	Fluorescente lineal	1	2	36	72	72	93,6	18,09	6,31	3100	6200	6200	2170	319,24	17,65	
					Fluorescente lineal	1	4	36	144	144	187,2			3100	12400	12400	4340			
					Halógena dicroica	2	1	50	50	100	300			300	600	336				
					Total aula	4	-	-	-	316	380,8			-	-	19200	6720			
	Alm	Almacén	A 2.48	2,7	Fluorescente lineal	1	1	36	36	36	46,8	17,33	4,31	3100	3100	3100	1085	401,85	23,18	
	Aul	Aula	A 2.47	58,87	Fluorescente lineal	3	4	36	144	432	561,6	9,54	4,31	3100	12400	37200	13020	221,17	23,18	
	Aul	Aula	A 2.02+2.03	84,18	Fluorescente lineal	8	4	36	144	1152	1497,6	17,79	3,98	3100	12400	99200	34720	447,37	25,15	
					Halógena encerado	1	1	240	240	240	8400			8400	8400	2940				
					Total aula	9	-	-	-	1392	1497,6			-	-	107600	37660			
	Aul	Aula	A 2.38	22,16	Fluorescente lineal	2	6	36	216	432	561,6	25,34	4,31	3100	18600	37200	13020	587,55	23,18	
Aul	Aula	A 2.39	25,32	Fluorescente lineal	2	6	36	216	432	561,6	22,18	4,31	3100	18600	37200	13020	514,22	23,18		
Aul	Aula	A 2.41	34,67	Fluorescente lineal	1	1	36	36	36	46,8	1,35	4,31	3100	3100	3100	1085	31,30	23,18		
Aul	Aula	A 2.44	125,19	Fluorescente lineal	7	6	58	348	2436	3166,8	25,30	4,11	5240	31440	220080	77028	615,29	24,32		
Aul	Aula	A 2.50	77,4	Fluorescente lineal	5	6	58	348	1740	2262	31,17	4,11	5240	31440	157200	55020	758,24	24,32		
				Fluorescente lineal	2	1	58	58	116	150,8			5240	5240	10480	3668				
				Total aula	7	-	-	-	1856	2412,8			-	-	167680	58688				
Alm	Almacén	A 2.45	9,6	Fluorescente lineal	1	1	36	36	36	46,8	4,88	4,31	3100	3100	3100	1085	113,02	23,18		
Aul	Despacho	A 2.46	16,61	Fluorescente lineal	1	2	36	72	72	93,6	17,68	11,34	3100	6200	6200	2170	155,93	8,82		
				Halógena dicroica	4	1	50	50	200	200			300	300	1200	672				
				Total despacho	5	-	-	-	272	293,6			-	-	7400	2590				
Escaleras	Planta -1	Pas	Tránsito	Todas	43,155	Fluorescente compacto	6	1	23	23	138	138	3,20	4,53	1450	1450	8700	3045	70,56	22,07
		Pas	Distribuidor	A -1.15	20,177	Fluorescente lineal	3	1	36	36	108	140,4	6,96	4,31	3100	3100	9300	3255	161,32	23,18
		Alm	Almacen	A -1.07	10,595	Fluorescente lineal	1	1	36	36	36	46,8	4,42	4,31	3100	3100	3100	1085	102,41	23,18
		Alm	Almacén secretaria	A -1.03	16,12	Fluorescente lineal	2	1	18	18	36	46,8	8,71	4,51	1350	1350	2700	945	193,24	22,19
						Fluorescente lineal	2	1	36	36	72	93,6			3100	3100	6200	2170		
						Total	4	-	-	-	108	140,4			-	-	8900	3115		
		Pas	Pasillo	A -1.06	75,12	Fluorescente lineal	6	1	36	36	216	280,8	3,74	4,31	3100	3100	18600	6510	86,66	23,18
		Alm	Almacén	A -1.14	8,04	Fluorescente lineal	1	1	36	36	36	46,8	5,82	4,31	3100	3100	3100	1085	134,95	23,18
Alm	Almacén	A -1.13	11,59	Fluorescente lineal	1	1	36	36	36	46,8	4,04	4,31	3100	3100	3100	1085	93,62	23,18		
Planta 2	Planta -1	Pas	Distribuidor	A 0.15	56,51	Fluorescente compacta	6	2	26	52	312	312	5,52	4,64	1600	3200	19200	6720	118,92	21,54
		Pas	Distribuidor	A 0.16 y A 0.17	64,83	Fluorescente lineal	3	4	36	144	432	561,6	10,98	5,34	3100	12400	37200	13020	205,69	18,74
						Halógena dicroica	3	1	50	50	150	150			300	300	900	504		
						Total distribuidor	6	-	-	-	582	711,6			-	-	38100	13335		
Aul	Secretaría	A 0.08	46,46	Fluorescente lineal	6	2	36	72	432	561,6	12,09	4,31	3100	6200	37200	13020	280,24	23,18		

Parte	Planta	Abreviatura	Uso	Zona	Área (m ²)	Tipo de equipo	Nº luminarias	Nº lámparas/lum	Potencia lámpara (W)	Potencia luminaria (W)	Total (W)	Total (W) incluyendo equipos	Ratio (W/m ²)	VEEI	Lumen por lámpara	Lumen por tipología de luminaria	Lumen por habitáculo teórico	Lumen por habitáculo real estimado	Luxes	Lúmenes/W
2	Planta 0	Aul	Despacho	A 0.09	12,95	Fluorescente lineal	2	2	36	72	144	187,2	14,46	4,31	3100	6200	12400	4340	335,14	23,18
		Aul	Despacho	A 0.10	12,95	Fluorescente lineal	1	2	36	72	72	93,6	11,09	6,31	3100	6200	6200	2170	175,68	15,84
			Despacho			Halógena dicroica	1	1	50	50	50	50								
			Total despacho			Total	2	-	-	-	122	143,6			-	-	6500	2275		
		Pas	Pasillo	A 0.11	10,25	Fluorescente lineal	1	2	36	72	72	93,6	9,13	4,31	3100	6200	6200	2170	211,71	23,18
		Alm	Almacén	A 0.12	1,92	Fluorescente lineal	1	1	36	36	36	46,8	24,38	4,31	3100	3100	3100	1085	565,10	23,18
		Aul	Despacho	A 0.19	9,65	Fluorescente lineal	1	2	36	72	72	93,6	14,88	6,31	3100	6200	6200	2170	235,75	15,84
			Despacho			Halógena dicroica	1	1	50	50	50	50								
			Total despacho			Total	2	-	-	-	122	143,6			-	-	6500	2275		
		Alm	Almacén	A 0.18	3,86	Fluorescente lineal	1	1	36	36	36	46,8	12,12	4,31	3100	3100	3100	1085	281,09	23,18
	Bañ	Baño mujeres	A 0.22	5,78	Halógena dicroica	2	1	50	50	100	100	17,30	29,76	300	300	600	336	58,13	3,36	
	Bañ	Baño hombres	A 0.21	6,73	Halógena dicroica	2	1	50	50	100	100	14,86	29,76	300	300	600	336	49,93	3,36	
	Planta 1	Aul	Despacho	A 1.04	17,8	Fluorescente lineal	4	2	36	72	288	374,4	21,03	4,31	3100	6200	24800	8680	487,64	23,18
		Aul	Despacho	A 1.05	18,19	Fluorescente lineal	2	2	36	72	144	187,2	10,29	4,31	3100	6200	12400	4340	238,59	23,18
		Aul	Despacho	A 1.17	7,89	Fluorescente lineal	1	2	36	72	72	93,6	11,86	4,31	3100	6200	6200	2170	275,03	23,18
		Aul	Despacho	A 1.18	7,55	Fluorescente lineal	1	2	36	72	72	93,6	12,40	4,31	3100	6200	6200	2170	287,42	23,18
		Aul	Despacho	A 1.06	19,49	Fluorescente lineal	1	2	36	72	72	93,6	9,93	8,13	3100	6200	6200	2170	122,11	12,29
			Despacho			Halógena dicroica	2	1	50	50	100	100								
			Total despacho			Total	3	-	-	-	172	193,6			-	-	6800	2380		
		Aul	Despacho	A 1.19	11,99	Fluorescente lineal	2	2	36	72	144	187,2	15,61	4,31	3100	6200	12400	4340	361,97	23,18
		Aul	Despacho	A 1.07	18,19	Fluorescente lineal	2	2	36	72	144	187,2	13,04	5,34	3100	6200	12400	4340	244,37	18,74
			Despacho			Halógena dicroica	1	1	50	50	50	50								
			Total despacho			Total	3	-	-	-	194	237,2			-	-	12700	4445		
		Aul	Despacho	A 1.08	19,02	Fluorescente lineal	2	2	36	72	144	187,2	9,84	4,31	3100	6200	12400	4340	228,18	23,18
		Pas	Distribuidor	A 1.20	10,9	Fluorescente lineal	1	2	36	72	72	93,6	8,59	4,31	3100	6200	6200	2170	199,08	23,18
		Aul	Despacho	A 1.25	7,11	Halógena dicroica	2	1	50	50	100	100	14,06	29,76	300	300	600	336	47,26	3,36
		Aul	Despacho	A 1.26	5,8	Halógena dicroica	2	1	50	50	100	100	17,24	29,76	300	300	600	336	57,93	3,36
		Aul	Despacho	A 1.09	27,93	Fluorescente lineal	1	2	36	72	72	93,6	6,93	8,13	3100	6200	6200	2170	85,21	12,29
			Despacho			Halógena dicroica	2	1	50	50	100	100								
			Total despacho			Total	3	-	-	-	172	193,6			-	-	6800	2380		
		Pas	Pasillo	A 1.16	23,43	Fluorescente lineal	4	2	36	72	288	374,4	15,98	4,31	3100	6200	24800	8680	370,47	23,18
		Pas	Distribuidor	A 1.21	18,555	Fluorescente lineal	1	4	36	144	144	187,2	10,09	4,31	3100	12400	12400	4340	233,90	23,18
Pas		Pasillo	A 1.22	30,59	Total	5	2	36	72	360	468	15,30	4,31	3100	6200	31000	10850	354,69	23,18	
Aul		Despacho	A 1.11	11,69	Fluorescente lineal	2	2	36	72	144	187,2	20,29	5,34	3100	6200	12400	4340	380,24	18,74	
		Despacho			Halógena dicroica	1	1	50	50	50	50									
		Total despacho			Total	3	-	-	-	194	237,2			-	-	12700	4445			
Aul	Despacho	A 1.10	15,39	Fluorescente lineal	1	2	36	72	72	93,6	9,33	6,31	3100	6200	6200	2170	147,82	15,84		
	Despacho			Halógena dicroica	1	1	50	50	50	50										
	Total despacho			Total	2	-	-	-	122	143,6			-	-	6500	2275				
Aul	Despacho	A 1.12	25,98	Fluorescente lineal	2	2	36	72	144	187,2	9,13	5,34	3100	6200	12400	4340	171,09	18,74		
	Despacho			Halógena dicroica	1	1	50	50	50	50										
	Total despacho			Total	3	-	-	-	194	237,2			-	-	12700	4445				
Aul	Despacho	A 1.23	7,34	Fluorescente lineal	1	2	36	72	72	93,6	19,56	6,31	3100	6200	6200	2170	309,95	15,84		
	Despacho			Halógena dicroica	1	1	50	50	50	50										
	Total despacho			Total	2	-	-	-	122	143,6			-	-	6500	2275				
Aul	Despacho	A 1.24	9,56	Fluorescente lineal	1	2	36	72	72	93,6	15,02	6,31	3100	6200	6200	2170	237,97	15,84		
	Despacho			Halógena dicroica	1	1	50	50	50	50										
	Total despacho			Total	2	-	-	-	122	143,6			-	-	6500	2275				
Aul	Sala juntas	A 1.13	33,36	Fluorescente lineal	1	10	36	360	360	468	14,03	4,31	3100	31000	31000	10850	325,24	23,18		
Alm	Trastero	A 1.25	9,05	Fluorescente lineal	1	1	36	36	36	46,8	5,17	4,31	3100	3100	3100	1085	119,89	23,18		
Aul	Despacho	A 2.33	9,41	Fluorescente lineal	2	2	36	72	144	187,2	19,89	4,31	3100	6200	12400	4340	461,21	23,18		
Aul	Despacho	A 2.16	16,68	Fluorescente lineal	2	2	36	72	144	187,2	11,22	4,31	3100	6200	12400	4340	260,19	23,18		

Parte	Planta	Abreviatura	Uso	Zona	Área (m ²)	Tipo de equipo	Nº luminarias	Nº lámparas/lum	Potencia lámpara (W)	Potencia luminaria (W)	Total (W)	Total (W) incluyendo equipos	Ratio (W/m ²)	VEEI	Lumen por lámpara	Lumen por tipología de luminaria	Lumen por habitáculo teórico	Lumen por habitáculo real estimado	Luxes	Lúmenes/W
	Planta 2	Aul	Despacho	A 2.15	10,04	Fluorescente lineal	2	2	36	72	144	187,2	18,65	4,31	3100	6200	12400	4340	432,27	23,18
		Aul	Despacho	A 2.14	13,61	Fluorescente lineal	2	2	36	72	144	187,2	13,75	4,31	3100	6200	12400	4340	318,88	23,18
		Aul	Despacho	A 2.32	12,35	Fluorescente lineal	2	2	36	72	144	187,2	15,16	4,31	3100	6200	12400	4340	351,42	23,18
		Aul	Despacho	A 2.31	6,52	Fluorescente lineal	1	2	36	72	72	93,6	14,36	4,31	3100	6200	6200	2170	332,82	23,18
		Aul	Despacho	A 2.30	7,37	Fluorescente lineal	1	2	36	72	72	93,6	12,70	4,31	3100	6200	6200	2170	294,44	23,18
		Aul	Despacho	A 2.13	14,25	Fluorescente lineal	1	2	36	72	72	93,6	10,08	6,31	3100	6200	6200	2170	159,65	15,84
			Despacho			Halógena dicroica	1	1	50	50	300	300			300	168				
			Total despacho			Total	2	-	-	-	122	143,6			-	-	6500	2275		
		Pas	Pasillo	A 2.17	24,06	Fluorescente lineal	4	2	36	72	288	374,4	15,56	4,31	3100	6200	24800	8680	360,76	23,18
		Aul	Despacho	A 2.18	18,634	Fluorescente lineal	1	2	36	72	72	93,6	5,02	4,31	3100	6200	6200	2170	116,45	23,18
		Aul	Despacho	A 2.19	23,29	Fluorescente lineal	4	2	36	72	288	374,4	16,08	4,31	3100	6200	24800	8680	372,69	23,18
		Aul	Despacho	A 2.11	12,31	Fluorescente lineal	2	2	36	72	144	187,2	15,21	4,31	3100	6200	12400	4340	352,56	23,18
		Aul	Despacho	A 2.12	12,31	Fluorescente lineal	1	2	36	72	72	93,6	11,67	6,31	3100	6200	6200	2170	184,81	15,84
			Despacho			Halógena dicroica	1	1	50	50	300	300			300	168				
			Total despacho			Total	2	-	-	-	122	143,6			-	-	6500	2275		
		Aul	Despacho	A 2.09	20,89	Fluorescente lineal	1	4	36	144	144	187,2	13,75	6,31	3100	12400	12400	4340	217,81	15,84
			Despacho			Halógena dicroica	2	1	50	50	300	300			600	336				
			Total despacho			Total	3	-	-	-	244	287,2			-	-	13000	4550		
		Aul	Despacho	A 2.29	8,75	Fluorescente lineal	2	2	36	72	144	187,2	21,39	4,31	3100	6200	12400	4340	496,00	23,18
		Aul	Despacho	A 2.10	12,96	Fluorescente lineal	1	4	36	144	144	187,2	18,30	5,34	3100	12400	12400	4340	342,98	18,74
			Despacho			Halógena dicroica	1	1	50	50	300	300			300	168				
			Total despacho			Total	2	-	-	-	194	237,2			-	-	12700	4445		
		Bañ	Baño	A 3.34	7,1	Halógena dicroica	2	1	50	50	100	100	14,08	29,76	300	300	600	336	47,32	3,36
		Bañ	Baño	A 3.35	5,66	Halógena dicroica	2	1	50	50	100	100	17,67	29,76	300	300	600	336	59,36	3,36
		Aul	Despacho	A 2.26	7,55	Fluorescente lineal	1	2	36	72	72	93,6	12,40	4,31	3100	6200	6200	2170	287,42	23,18
		Aul	Despacho	A 2.25	7,89	Fluorescente lineal	1	2	36	72	72	93,6	11,86	4,31	3100	6200	6200	2170	275,03	23,18
		Aul	Despacho	A 2.08	18,14	Fluorescente lineal	2	2	36	72	144	187,2	10,32	4,31	3100	6200	12400	4340	239,25	23,18
		Aul	Despacho	A 2.27	10,37	Fluorescente lineal	2	2	36	72	144	187,2	18,05	4,31	3100	6200	12400	4340	418,51	23,18
		Aul	Despacho	A 2.05	18,14	Fluorescente lineal	2	2	36	72	144	187,2	10,32	4,31	3100	6200	12400	4340	239,25	23,18
		Aul	Despacho	A 2.04	14,25	Fluorescente lineal	2	2	36	72	144	187,2	13,14	4,31	3100	6200	12400	4340	304,56	23,18
	Aul	Despacho	A 2.24	8,03	Fluorescente lineal	2	2	36	72	144	187,2	23,31	4,31	3100	6200	12400	4340	540,47	23,18	
	Aul	Despacho	A 2.06	19,44	Fluorescente lineal	1	2	36	72	72	93,6	9,96	8,13	3100	6200	6200	2170	122,43	12,29	
		Despacho			Halógena dicroica	2	1	50	50	300	300			600	336					
		Total despacho			Total	3	-	-	-	172	193,6			-	-	6800	2380			
	Aul	Despacho	A 2.07	18,14	Fluorescente lineal	1	2	36	72	72	93,6	7,92	6,31	3100	6200	6200	2170	125,41	15,84	
		Despacho			Halógena dicroica	1	1	50	50	300	300			300	168					
		Total despacho			Total	2	-	-	-	122	143,6			-	-	6500	2275			

8.5.4. Tecnologías de iluminación presentes:

Antes de entrar a comentar los primeros resultados de los parámetros calculados, vamos a hacer un desglose de las tecnologías de iluminación inventariadas.

Tabla 20: Reparto de los tipos de lámparas de la escuela

Tipo de lámpara actual	Cantidad
Fluorescente 58W	244
Fluorescente 36W	1428
Fluorescente 18 W	2
Halógena 50 W	71
Tubo PLC 26 W	18
Tubo PLC 23 W	22
Total	1787

Así, el reparto en un gráfico circular sería el siguiente, con un claro predominio de tubos fluorescentes, en concreto de 36W.

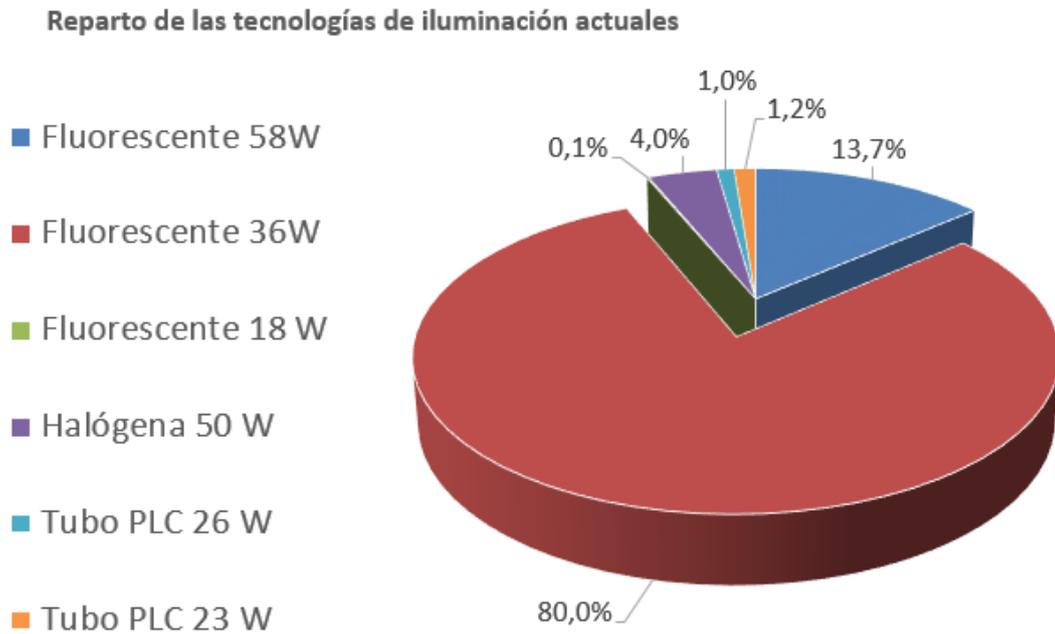


Figura 52: Reparto porcentual de los tipos de lámpara que posee la escuela

Así, con esta información, se ha llegado a la conclusión, haciendo la media ponderada, de que la potencia media de una lámpara (incluidos equipos auxiliares) es de 50,245 W.

A continuación, pasamos a analizar los cálculos realizados.

8.6. Cálculos

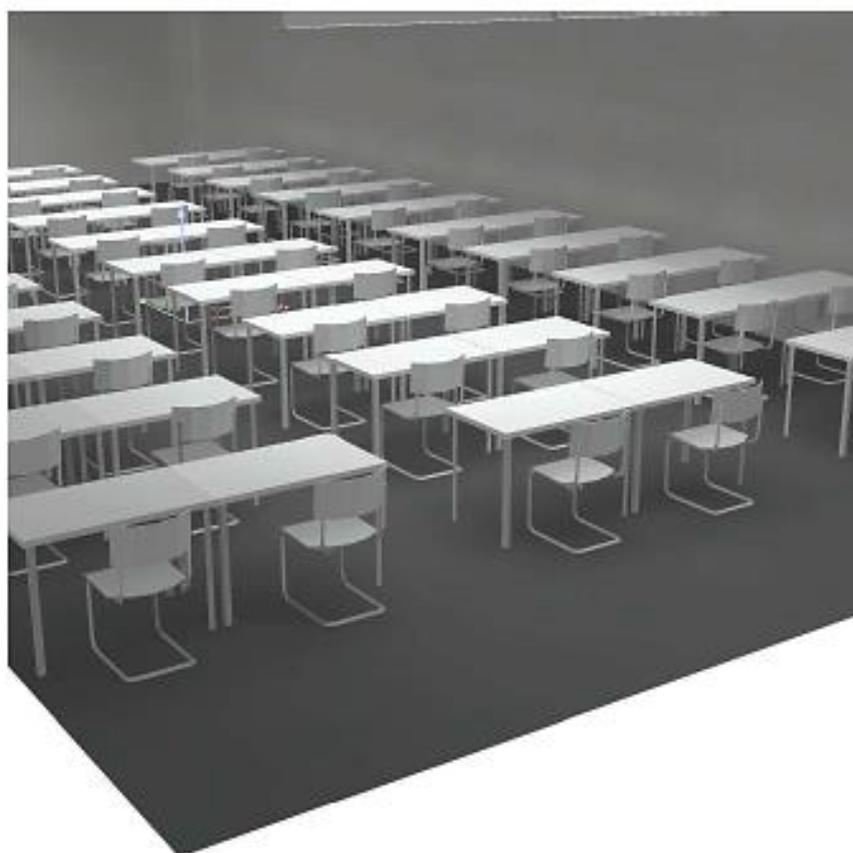
8.6.1. Simulación en Dialux del sistema de iluminación actual

En primer lugar, se adjuntan los resultados de unas simulaciones realizadas mediante el programa “dialux” que sirvieron a modo de comprobación de que los resultados que se estaban obteniendo se correspondían con los calculados en las tablas Excel.

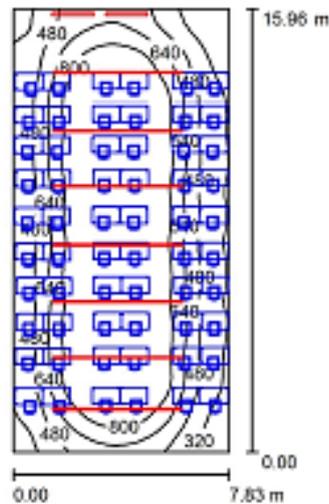
Además, estas simulaciones han servido para poder medir de manera sencilla otros parámetros, como el índice de deslumbramiento.



Aula 14 sin led / Rendering (procesado) en 3D



Aula 14 sin led / Resumen



Altura del local: 3.100 m, Factor mantenimiento: 0.50

Valores en Lux, Escala 1:205

Superficie	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Plano útil	/	703	209	1154	0.298
Suelo	20	418	130	774	0.310
Techo	90	198	135	299	0.679
Paredes (4)	90	222	101	1483	/

Plano útil:

Altura: 0.850 m
Trama: 32 x 64 Puntos
Zona marginal: 0.000 m

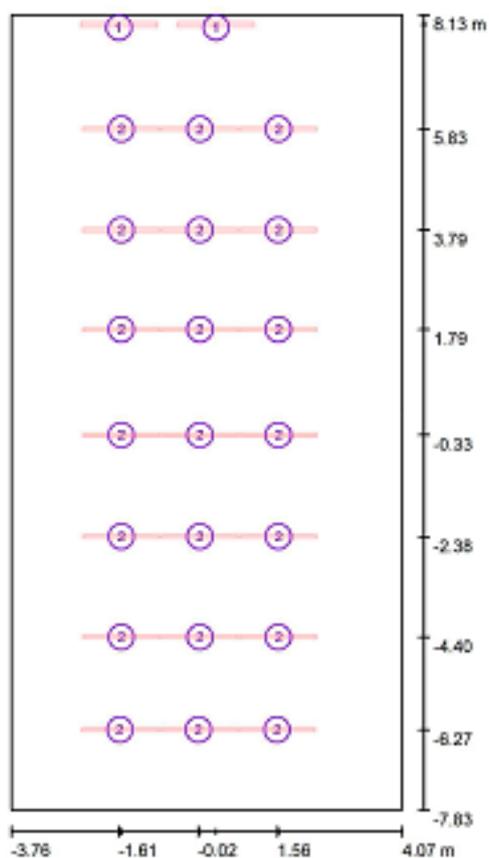
Lista de piezas - Luminarias

N°	Pieza	Designación (Factor de corrección)	Φ (Luminaria) [lm]	Φ (Lámparas) [lm]	P [W]
1	2	PHILIPS BMS022 2xLT-GA25W/865 (1.000)	3600	3600	50.0
2	21	PHILIPS TMX204 2xTL-D58W HFP +GMX450 R +GGX450 C6 (1.000)	6393	10480	110.0
Total:			141849	227680	2410.0

Valor de eficiencia energética: 19.30 W/m² = 2.75 W/m²/100 lx (Base: 124.86 m²)



Aula 14 sin led / Luminarias (ubicación)

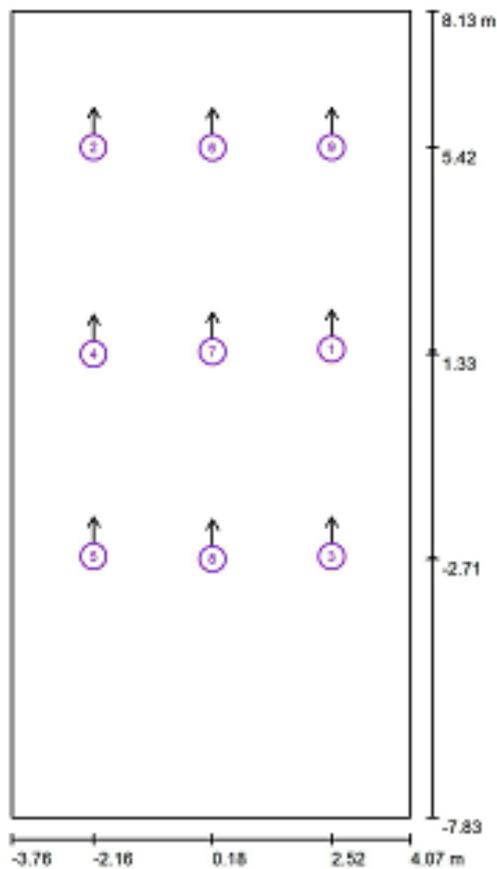


Escala 1 : 108

Lista de piezas - Luminarias

N°	Pieza	Designación
1	2	PHILIPS BMS022 2xLT-GA25W/865
2	21	PHILIPS TMX204 2xTL-D58W HFP +GMX450 R +GGX450 C6

Aula 14 sin led / Observador UGR (sumario de resultados)



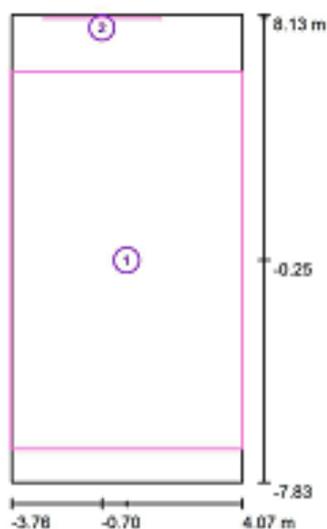
Escala 1 : 108

Lista de puntos de cálculo UGR

N°	Designación	Posición [m]			Dirección visual [°]	Valor
		X	Y	Z		
1	Punto de cálculo UGR 1	2.516	1.431	1.100	90.0	19
2	Punto de cálculo UGR 1	-2.161	5.427	1.100	90.0	18
3	Punto de cálculo UGR 1	2.516	-2.664	1.100	90.0	19
4	Punto de cálculo UGR 1	-2.161	1.333	1.100	90.0	20



Aula 14 sin led / Superficie de cálculo (sumario de resultados)



Escala 1 : 182

Lista de superficies de cálculo

N°	Designación	Tipo	Trama	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
1	Superficie de cálculo 1	perpendicular	64 x 64	744	255	1153	0.343	0.221
2	Superficie de cálculo 2	perpendicular	32 x 16	300	206	414	0.687	0.498

Resumen de los resultados

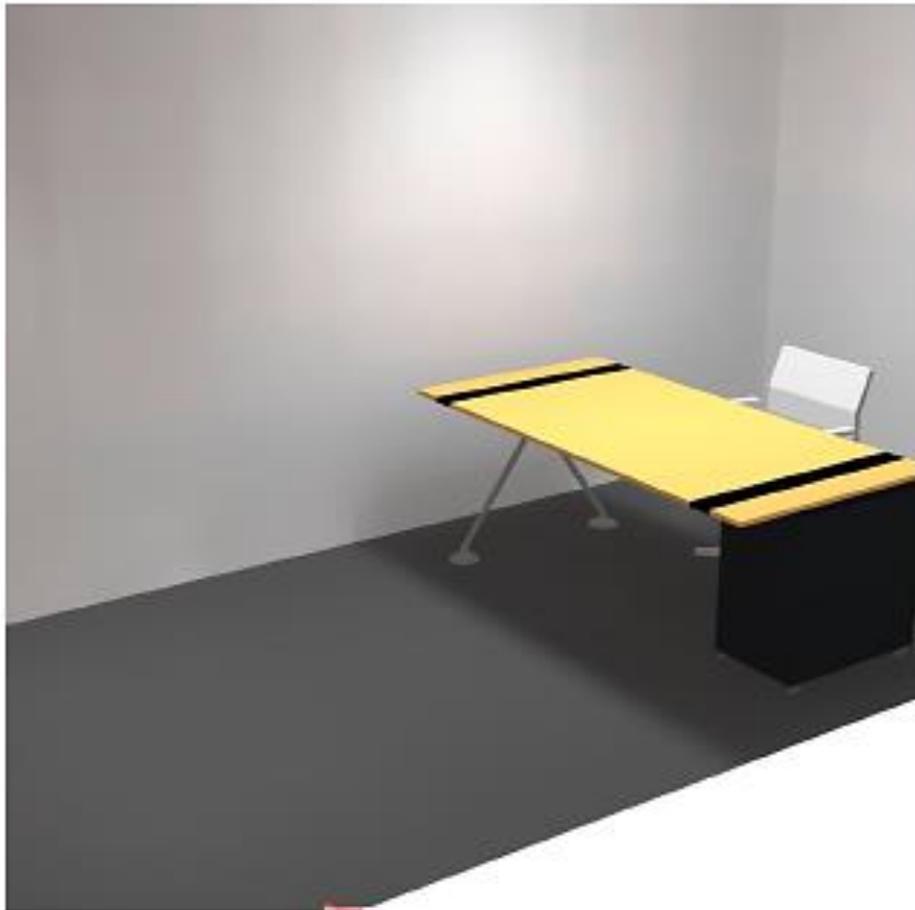
Tipo	Cantidad	Media [lx]	Min [lx]	Max [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
perpendicular	2	718	206	1153	0.29	0.18

Por ejemplo, en estos resultados, se puede observar como en esta aula simulada (aula 14, en nuestra lista de Excel 1.30) tenemos, según dialux 718 luxes de iluminancia media en la superficie de cálculo, y según la tabla Excel 615 luxes, una aproximación más que suficiente, ya que, hay que tener en cuenta que en dialux estamos midiendo la iluminancia media sobre un plano de 0,85m, es decir, a la altura de las mesas.

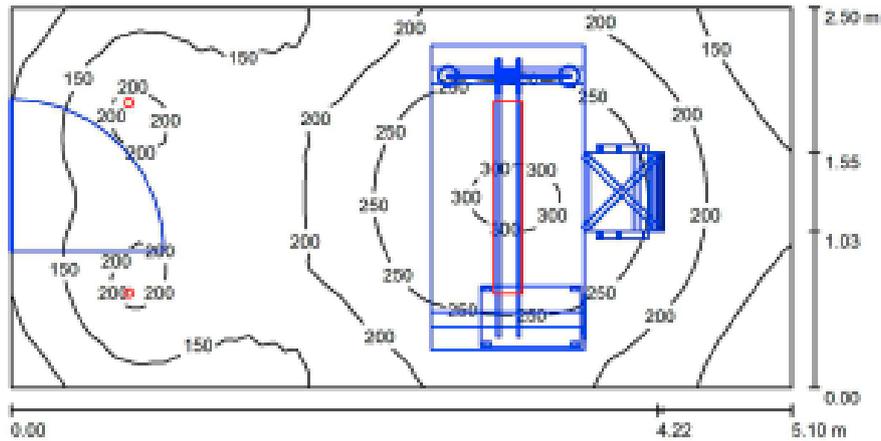
Además, se comprueba que se cumple el criterio de deslumbramiento. Sin embargo, algo que no se cumple es la uniformidad, ya que no llega ni al 40%, no ocurriendo así en la simulación del aula iluminada con LED.



Despacho tipo sin led / Rendering (procesado) en 3D



Despacho tipo sin led / Resumen



Altura del local: 2.800 m, Factor mantenimiento: 0.80

Valores en Lux, Escala 1:37

Superficie	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Piano útil	/	197	81	305	0.411
Suelo	20	106	14	177	0.131
Techo	70	98	29	901	0.293
Paredes (4)	50	91	28	219	/

Piano útil:

Altura: 0.850 m
Trama: 128 x 64 Puntos
Zona marginal: 0.000 m

Lista de piezas - Luminarias:

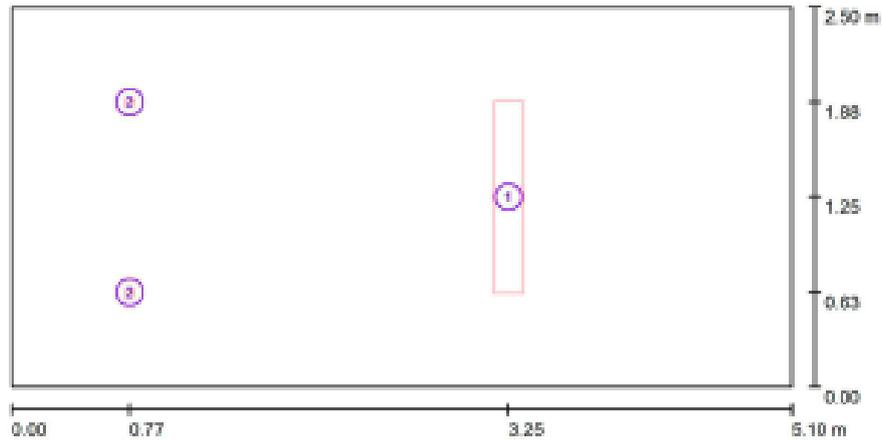
N°	Pieza	Designación (Factor de corrección)	Φ (Luminaria) [lm]	Φ (Lámparas) [lm]	P [W]
1	1	PHILIPS 4x8090 2xTL-D36W F (1.000)	4154	6700	85.0
2	2	PHILIPS BBG463 1xLED-40-4200-GU10 (1.000)	290	290	6.8
			Total: 4734	Total: 7280	98.6

Valor de eficiencia energética: 7.73 W/m² = 3.93 W/m²/100 lx (Base: 12.75 m²)



Proyecto elaborado por
Teléfono
Fax
e-Mail

Despacho tipo sin led / Luminarias (ubicación)



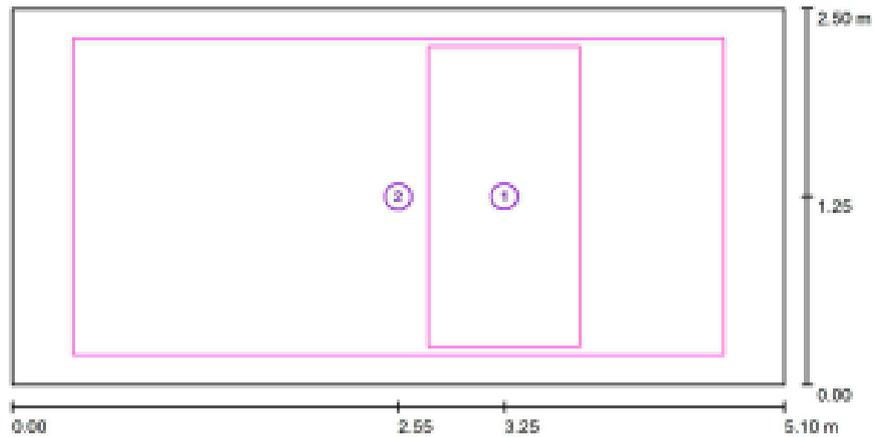
Escala 1 : 37

Lista de piezas - Luminarias

Nº	Pieza	Designación
1	1	PHILIPS 418090 2xTL-D36W P
2	2	PHILIPS 880463 1xLED-40-4200-GU10



Despacho tipo sin led / Superficie de cálculo (sumario de resultados)



Escala 1 : 37

Lista de superficies de cálculo

Nº	Designación	Tipo	Trama	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
1	Superficie de cálculo 1	perpendicular	8 x 16	266	226	296	0.848	0.765
2	Superficie de cálculo 2	perpendicular	128 x 64	213	125	296	0.586	0.424

Resumen de los resultados

Tipo	Cantidad	Media [lx]	Min [lx]	Max [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
perpendicular	2	223	125	296	0.56	0.42

En este caso (despacho 1.34), según dialux tenemos 223 luxes y según la tabla Excel 186 luxes, una aproximación buena igualmente. Ya que volvemos a recordar que dialux está midiendo la iluminación sobre un plano a 0,85 m.

Ahora vamos a analizar los valores de W/m², VEEI e iluminancia media que se tienen actualmente, tanto por tipología de habitáculo, como en total.

8.6.2. Valores actuales de los principales parámetros de iluminación

En aulas:

Tabla 21: Valores actuales medios de W/m², VEEI y luxes en aulas

SUMA W/m ² Aul	SUMA VEEI Aul	SUMA Luxes Aul
1764,638	650,669	37146,600
Número de Aulas	Número de Aulas	Número de Aulas
120	120	120
W/m ² MEDIO Aul	VEEI MEDIO Aul	Luxes MEDIO Aul
14,705	5,422	309,555
MARGEN W/m ² Aul	MARGEN VEEI Aul	MARGEN Luxes Aul
1,965%	-35,556%	3,185%

Por tanto, de estos datos se deduce que en las aulas actualmente (de manera global) se cumple con la normativa en cuanto a W/m² y a iluminancia media mínima (luxes), pero no en cuanto a VEEI.

En la biblioteca:

Tabla 22: Valores actuales medios de W/m², VEEI y luxes en la biblioteca

Media W/m ² Bib	Media VEEI Bib	Media Luxes Bib
25,471	6,312	643,435
MARGEN W/m ² Bib	MARGEN VEEI Bib	MARGEN Luxes Bib
-69,804%	-5,201%	28,687%

En la biblioteca no se cumple ni en cuanto a W/m², ni a VEEI, pero sí en cuanto a iluminancia media mínima (luxes).

En baños:

Tabla 23: Valores actuales medios de W/m², VEEI y luxes en baños

Suma W/m ² Bañ	Suma VEEI Bañ	Suma Luxes Bañ
216,749	272,602	2236,833
Número de baños	Número de baños	Número de baños
16	16	16
W/m ² MEDIO Bañ	VEEI MEDIO Bañ	Luxes MEDIO Bañ
13,5468	17,0376	139,8020656
MARGEN W/m ² Bañ	MARGEN VEEI Bañ	MARGEN Luxes Bañ
9,688%	-278,614%	-30,099%

En los baños, no se cumple ni en cuanto a VEEI, ni en cuanto a luxes, pero sí en cuanto a W/m². En este caso, el VEEI está muy lejos de su valor normativo porque hay varios baños que únicamente cuentan con iluminación a base de lámparas halógenas dicroicas, las cuales son muy poco eficientes.

En pasillos:

Tabla 24: Valores actuales medios de W/m², VEEI y luxes en pasillos

Suma W/m ² Pas	Suma VEEI Pas	Suma Luxes Pas
281,649	153,214	6471,188
Número de Pas	Número de Pas	Número de Pas
31	31	31
W/m ² MEDIO Pas	VEEI MEDIO Pas	Luxes MEDIO Pas
9,085452434	4,94239902	208,7479848
MARGEN W/m ² Pas	MARGEN VEEI Pas	MARGEN Luxes Pas
39,430%	-9,831%	108,748%

Vemos que en los pasillos actualmente se cumple con la normativa en cuanto a W/m² y a iluminancia media mínima (luxes), pero no en cuanto a VEEI.

En almacenes:

Tabla 25: Valores actuales medios de W/m², VEEI y luxes en almacenes

Suma W/m ² Alm	Suma VEEI Alm	Suma Luxes Alm
215,294	184,257	5030,560
Número de Alm	Número de Alm	Número de Alm
22	22	22
W/m ² MEDIO Alm	VEEI MEDIO Alm	Luxes MEDIO Alm
9,786085122	8,375304226	228,6617986
MARGEN W/m ² Alm	MARGEN VEEI Alm	MARGEN Luxes Alm
34,759%	-67,506%	357,324%

Vemos que en los almacenes actualmente se cumple con la normativa en cuanto a W/m² y a iluminancia media mínima (luxes), pero no en cuanto a VEEI.

En toda la escuela:

Tabla 26: Valores actuales medios de W/m², VEEI y luxes en toda la escuela

SUMA (W/m ²)	SUMA VEEIS	SUMA luxes
2503,801	1181,593	51528,615
W/m ² TOTAL MEDIO	VEEI TOTAL MEDIO	Luxes MEDIO
12,840	6,059	264,249
MARGEN W/m ²	MARGEN VEEI	MARGEN Luxes
14%	-29,714%	17,511%

En términos globales, de la escuela, vemos que actualmente se cumple con la normativa en cuanto a W/m² y a iluminancia media mínima (luxes), pero no en cuanto a VEEI.

8.6.3. Simulación en Dialux del nuevo sistema de iluminación

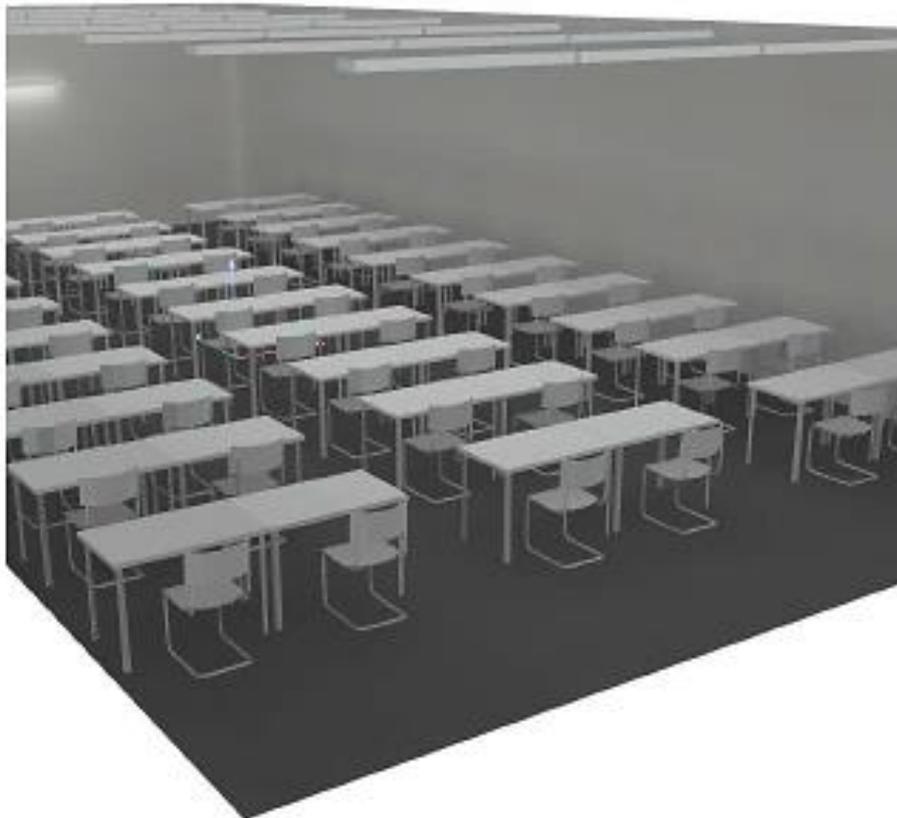
Pasamos pues, a la parte de recambio. Para calcular estos nuevos parámetros, lo que se ha hecho ha sido elaborar una tabla similar a la anterior tabla Excel, pero esta vez, con los parámetros correspondientes a las lámparas LED:

Pero, en primer lugar, al igual que en el caso anterior, se adjuntan los resultados de unas simulaciones realizadas mediante el programa “dialux” que sirvieron a modo de comprobación de que los resultados que se estaban obteniendo se correspondían con los calculados en las tablas Excel. Además de poder medir de manera sencilla otros parámetros como el índice de deslumbramiento.

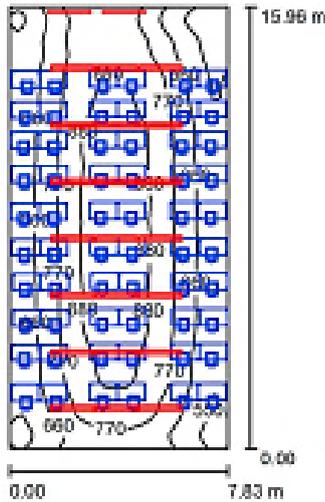


Proyecto elaborado por
Teléfono
Fax
e-Mail

Aula 14 con led / Rendering (procesado) en 3D



Aula 14 con led / Resumen



Altura del local: 3.500 m, Factor mantenimiento: 0.48

Valores en Lux, Escala 1:205

Superficie	ρ [%]	E_{in} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_{m}
Piano útil	/	743	440	941	0.592
Suelo	20	434	195	770	0.458
Techo	90	453	292	1452	0.645
Paredes (4)	90	479	218	1848	/

Piano útil:

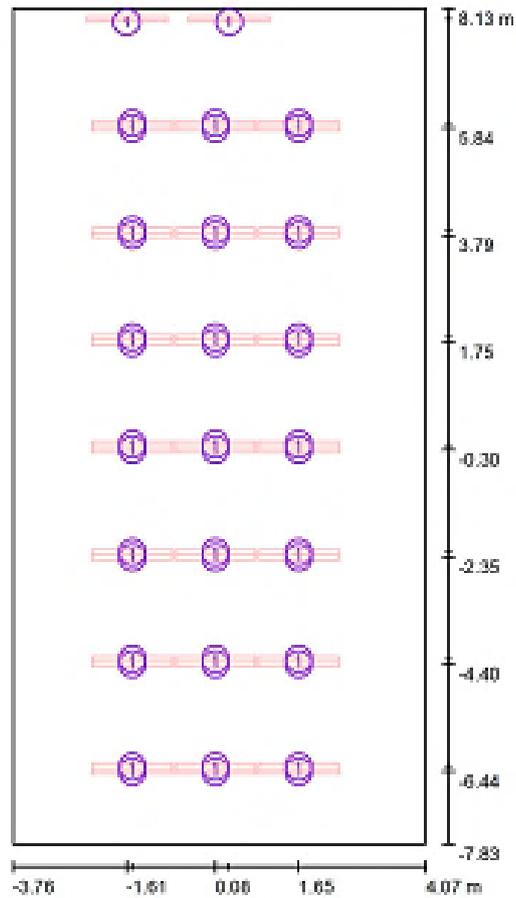
Altura: 0.850 m
Trama: 32 x 64 Puntos
Zona marginal: 0.000 m

Lista de piezas - Luminarias

Nº	Pieza	Designación (Factor de corrección)	⌀ (Luminaria) [m]	⌀ (Lámparas) [m]	P [W]
1	44	PHILIPS BMS022 2xLT-GA25W865 (1.000)	3800	3800	50.0
			Total: 167200	Total: 167200	2200.0

Valor de eficiencia energética: 17.62 W/m² = 2.37 W/m²/100 lx (Base: 124.86 m²)

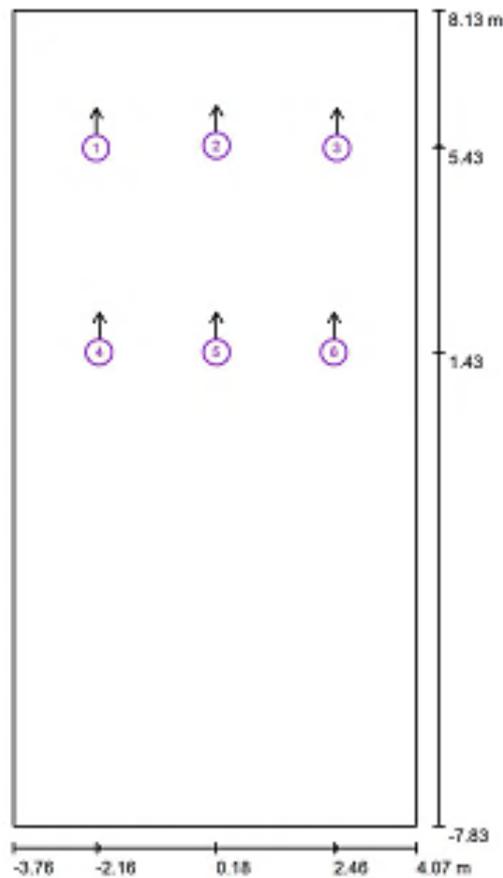
Aula 14 con led / Luminarias (ubicación)



Escala 1 : 100

Lista de piezas - Luminarias

Nº	Pieza	Designación
1	44	PHILIPS BMS022 2xLT-GA25W/865

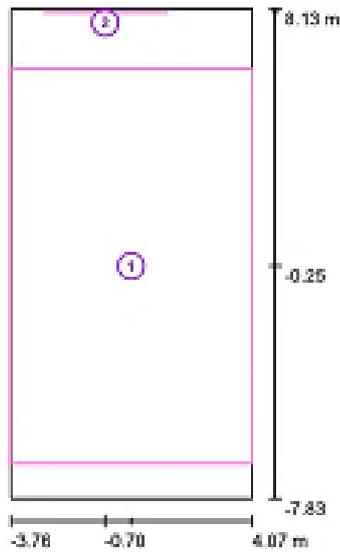

Aula 14 con led / Observador UGR (sumario de resultados)


Escala 1 : 108

Lista de puntos de cálculo UGR

N°	Designación	Posición [m]			Dirección visual [°]	Valor
		X	Y	Z		
1	Punto de cálculo UGR 1	-2.161	5.427	1.100	90.0	16
2	Punto de cálculo UGR 2	0.178	5.476	1.100	90.0	16
3	Punto de cálculo UGR 3	2.516	5.427	1.100	90.0	12
4	Punto de cálculo UGR 4	-2.100	1.431	1.100	90.0	20

Aula 14 con led / Superficie de cálculo (sumario de resultados)



Escala 1 : 100

Lista de superficies de cálculo

N°	Designación	Tipo	Trama	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
1	Superficie de cálculo 1	perpendicular	64 x 64	759	443	960	0.584	0.461
2	Superficie de cálculo 2	perpendicular	64 x 32	549	454	814	0.827	0.557

Resumen de los resultados

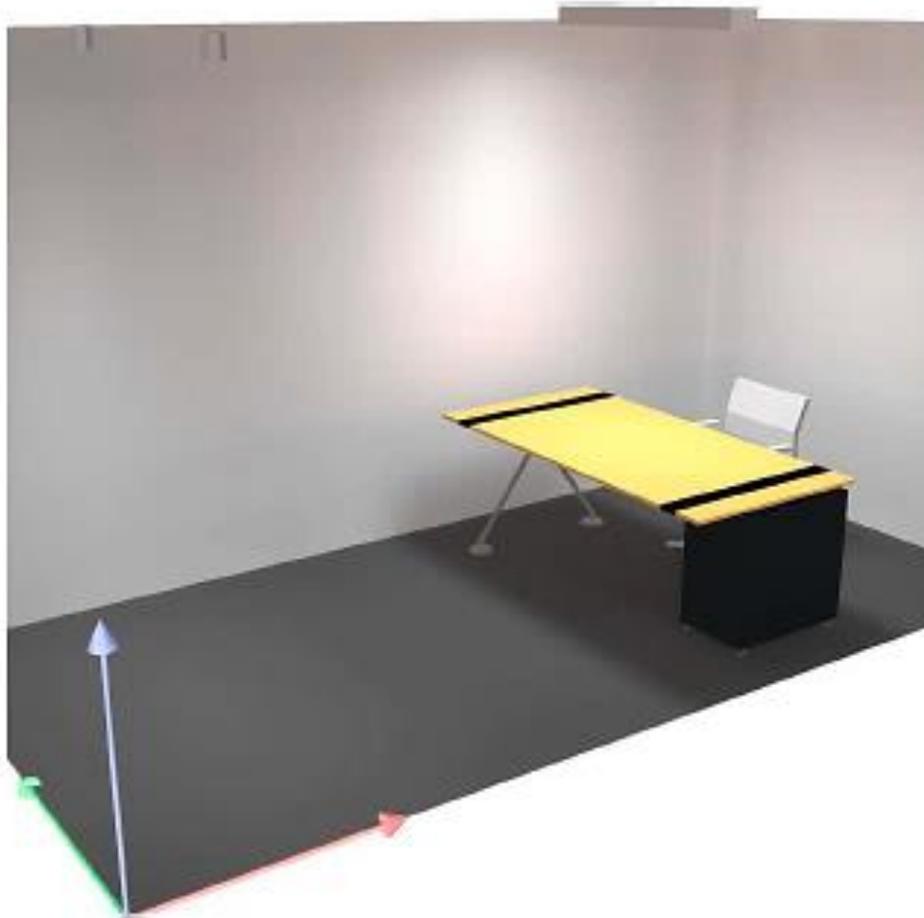
Tipo	Cantidad	Media [lx]	Min [lx]	Max [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
perpendicular	2	747	443	960	0.59	0.46

Se puede observar como en esta aula simulada (aula 14, en nuestra lista de Excel 1.30) tenemos, según “dialux”, 747 luxes de iluminancia media en la superficie de cálculo, y según la tabla Excel 695 luxes, una aproximación más que suficiente, ya que volvemos a recordar que “dialux” está midiendo la iluminancia media en una superficie de cálculo a una altura de 0,85m.

Además, se comprueba que se cumple el criterio de deslumbramiento y también el de uniformidad, al tener los LEDs un ángulo de apertura mayor que las fluorescentes.

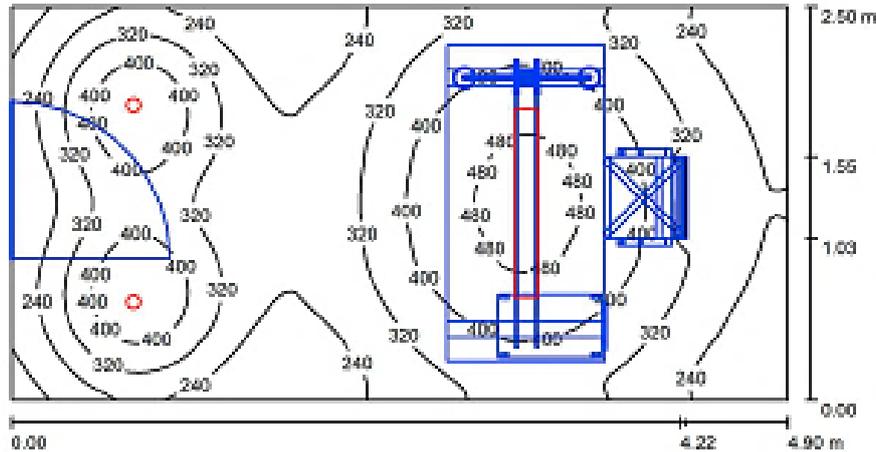


Despacho tipo con led / Rendering (procesado) en 3D





Proyecto elaborado por
 Teléfono
 Fax
 e-Mail

Despacho tipo con led / Resumen


Altura del local: 2.800 m, Factor mantenimiento: 0.80

Valores en Lux, Escala 1:36

Superficie	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Piano útil	/	322	127	508	0.396
Suelo	20	184	14	345	0.075
Techo	80	88	51	115	0.538
Paredes (4)	70	132	39	301	/

Piano útil:

Altura: 0.850 m
 Trama: 128 x 64 Puntos
 Zona marginal: 0.000 m

Lista de piezas - Luminarias

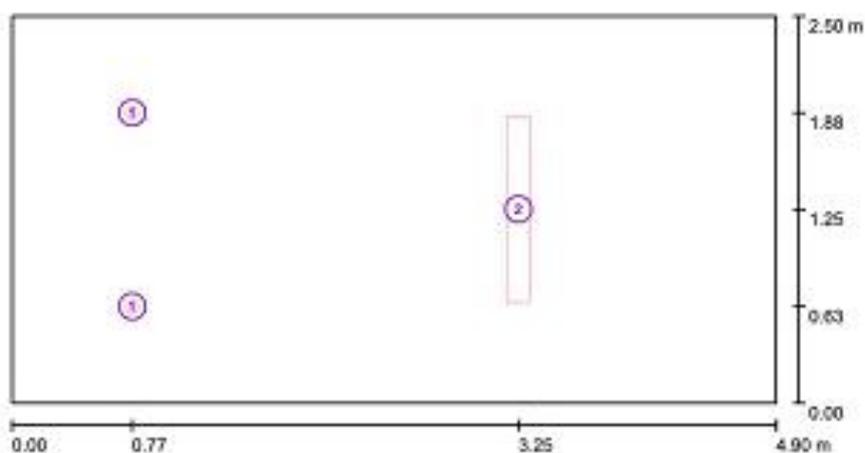
N°	Pieza	Designación (Factor de corrección)	Φ (Luminaria) [lm]	Φ (Lámparas) [lm]	P [W]
1	2	PHILIPS BBG390 4xLED6-40/840 (1.000)	629	629	12.9
2	1	PHILIPS BBS41S W15L120 1xLED48/830 LIN-PC (1.000)	4200	4200	41.0
			Total: 5458	Total: 5458	66.8

Valor de eficiencia energética: 5.45 W/m² = 1.70 W/m²/100 lx (Base: 12.25 m²)



Proyecto elaborado por
Teléfono
Fax
e-Mail

Despacho tipo con led / Luminarias (ubicación)



Escala 1 : 36

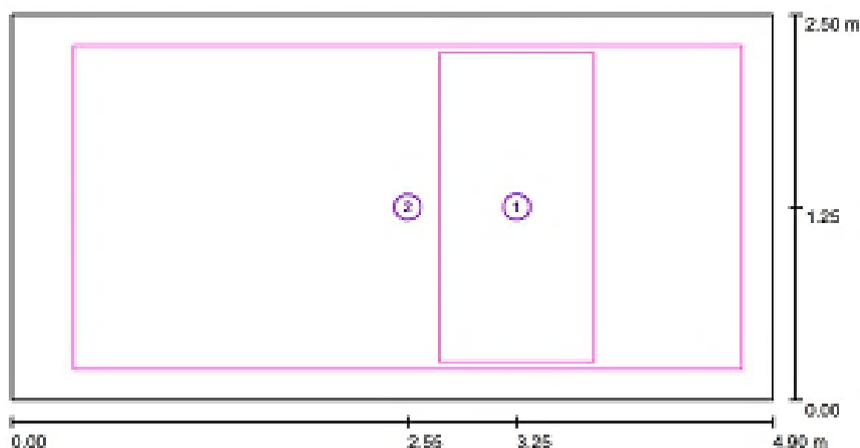
Lista de piezas - Luminarias

N°	Pieza	Designación
1	2	PHILIPS BBG390 4xLED6-40-840
2	1	PHILIPS BBS415 W15L120 1xLED48/830 LIN-PC



Proyecto elaborado por
Teléfono
Fax
e-Mail

Despacho tipo con led / Superficie de cálculo (sumario de resultados)



Escala 1 : 36

Lista de superficies de cálculo

Nº	Designación	Tipo	Trama	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
1	Superficie de cálculo 1	perpendicular	8 x 16	432	359	490	0.830	0.732
2	Superficie de cálculo 2	perpendicular	128 x 64	344	177	488	0.513	0.361

Resumen de los resultados

Tipo	Cantidad	Media [lx]	Min [lx]	Max [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
perpendicular	2	360	177	490	0.49	0.36

En este caso (despacho 1.34), según dialux se tienen 360 luxes y según la tabla Excel 257 luxes, una aproximación buena igualmente. Ya que volvemos a recordar que dialux está midiendo la iluminación sobre un plano a 0,85 m. En caso de medir a ras de suelo, el valor de dialux sería notablemente más bajo.

Ahora se van a analizar los valores de W/m², VEEI e iluminancia media que se tienen actualmente, tanto por tipología de habitáculo, como en total.

8.6.4. Tabla con parámetros asociados al nuevo sistema de iluminación

A continuación, se adjunta una tabla Excel, en la cual se pueden apreciar los nuevos parámetros lumínicos asociados a cada habitáculo:

Parte	Planta	Abreviatura	Uso	Zona	Tipo de equipo	Nº luminarias	Nº lámparas/lum	Potencia lámpara (W)	Total (W) incluyendo equipos	Ratio W/m²	Lumen por lámpara	Lumen por habitáculo real	luxes	VEEI	
Escaleras	Planta -1	Pas	Tránsito	Todas	Fluorescente compacto	16	1	13,5	216	0,777	1521	13628,16	49,00	1,585	
		Pas	Pasillo	A -1.51	Fluorescente lineal	3	2	20	120	1,121	2500	8400	78,44	1,429	
		Alm	Sala	A -1.48	Fluorescente lineal	1	1	20	20	2,375	2500	1400	166,27	1,429	
		Pas	Pasillo	A -1.27	Fluorescente lineal	1	4	20	80	2,899	2500	5600	2800	202,93	1,429
			Pasillo		Fluorescente lineal	1	2	20	40						
				Total pasillo	Total	2	-	-	120	-	-	8400			
		Pas	Pasillo	A -1.50	Fluorescente lineal	1	4	20	80	4,330	2500	5600	19600	303,10	1,429
			Pasillo		Fluorescente lineal	7	2	20	280						
				Total pasillo	Total	8	-	-	360	-	-	25200			
		Pas	Pasillo	P3	Fluorescente lineal	6	2	20	240	4,010	2500	16800	280,72	1,429	
		Aul	Laboratorio	A -1.44	Fluorescente lineal	6	2	20	240	4,896	2500	16800	342,72	1,429	
		Aul	Laboratorio	A -1.41	Fluorescente lineal	2	4	20	160	5,409	2500	11200	378,63	1,429	
		Aul	Laboratorio	A -1.43	Fluorescente lineal	2	4	20	160	7,797	2500	11200	5600	545,81	1,429
			Laboratorio		Fluorescente lineal	2	2	20	80						
				Total laboratorio	Total	4	-	-	240	-	-	16800			
		Aul	Laboratorio	A -1.45	Fluorescente lineal	4	4	20	320	8,421	2500	22400	589,47	1,429	
		Aul	Despacho	A -1.39	Fluorescente lineal	2	2	20	80	4,482	2500	5600	313,73	1,429	
		Aul	Despacho	A -1.40	Fluorescente lineal	2	2	20	80	4,482	2500	5600	313,73	1,429	
		Bañ	Baño	A -1.31	Halógena	2	1	5	10	1,724	435	487,2	84,00	2,053	
		Bañ	Baño	A -1.32	Halógena	2	1	5	10	2,755	435	487,2	134,21	2,053	
		Aul	Despacho	A -1.28	Fluorescente lineal	1	1	20	20	3,158	2500	1400	2800	221,05	1,429
			Despacho		Fluorescente lineal	1	2	20	40						
				Total despacho	Total	2	-	-	60	-	-	4200			
		Aul	Despacho	A -1.30	Fluorescente lineal	2	4	20	160	4,608	2500	11200	322,58	1,429	
		Aul	Despacho	A -1.34	Fluorescente lineal	3	4	20	240	5,530	2500	16800	387,10	1,429	
		Aul	Despacho	A -1.37	Fluorescente lineal	1	4	20	80	6,944	2500	5600	486,11	1,429	
		Aul	Despacho	A -1.38	Fluorescente lineal	1	4	20	80	7,663	2500	5600	536,40	1,429	
		Aul	Laboratorio	A -1.47	Fluorescente lineal	2	4	20	160	3,951	2500	11200	276,54	1,429	
		Aul	Laboratorio	A -1.42	Fluorescente lineal	2	4	20	160	6,144	2500	11200	430,11	1,429	
		Aul	Laboratorio	A -1.35	Fluorescente lineal	2	4	20	160	4,064	2500	11200	284,48	1,429	
		Aul	Laboratorio	A -1.36	Fluorescente lineal	10	2	20	400	4,008	2500	28000	280,53	1,429	
		Aul	Laboratorio	A -1.29	Fluorescente lineal	5	2	20	200	3,295	2500	14000	230,68	1,429	
		Pas	Pasillo	A -1.22	Fluorescente lineal	3	2	25	150	4,580	3700	12432	379,60	1,207	
		Alm	Almacén	A -1.21	Fluorescente lineal	1	1	20	20	2,018	2500	1400	141,27	1,429	
Alm	Almacén	A -1.19	Fluorescente lineal	1	1	25	25	3,937	3700	2072	326,30	1,207			
Aul	Laboratorio	A -1.17	Fluorescente lineal	3	2	25	150	4,679	3700	12432	387,77	1,207			
Alm	Almacén	A -1.16	Fluorescente lineal	1	1	25	25	2,533	3700	2072	209,93	1,207			
Alm	Almacén	A -1.18	Fluorescente lineal	3	2	25	150	7,470	3700	12432	619,12	1,207			
Alm	Almacén	A -1.08	Fluorescente lineal	1	1	20	20	3,279	2500	1400	229,51	1,429			
Pas	Pasillo	A -1.04	Fluorescente lineal	3	1	20	60	2,356	2500	4200	164,90	1,429			
Pas	Pasillo	A -1.05	Fluorescente lineal	2	1	20	40	1,372	2500	2800	96,02	1,429			
Alm	Almacén	A -1.09	Fluorescente lineal	1	1	20	20	2,144	2500	1400	150,05	1,429			
Alm	Almacén	A -1.10	Fluorescente lineal	1	1	20	20	2,144	2500	1400	150,05	1,429			
Alm	Almacén	A -1.11	Fluorescente lineal	1	1	20	20	2,193	2500	1400	153,51	1,429			
Aul	Despacho	A -1.01	Fluorescente lineal	1	2	20	40	3,690	2500	2800	258,30	1,429			
Aul	Despacho	A -1.02	Fluorescente lineal	1	2	20	40	3,571	2500	2800	250,00	1,429			
Aul	Laboratorio	A -1.12	Fluorescente lineal	4	4	20	320	4,332	2500	22400	303,24	1,429			
Aul	Laboratorio	A -1.20	Fluorescente lineal	6	4	20	480	5,823	2500	33600	407,62	1,429			

Parte	Planta	Abreviatura	Uso	Zona	Tipo de equipo	Nº luminarias	Nº lámparas/lum	Potencia lámpara (W)	Total (W) incluyendo equipos	Ratio W/m ²	Lumen por lámpara	Lumen por habitáculo real	luxes	VEEI			
		Alm	Almacén	A -1.23	Fluorescente lineal	1	1	20	20	0,793	2500	1400	55,49	1,429			
		Pas	Zona paso seguridad	A -1.24	Fluorescente lineal	1	2	20	40	3,322	2500	2800	232,56	1,429			
		Bañ	Baño	A -1.25	Halógena	1	1	5	5	1,597	435	243,6	77,83	2,053			
	Planta 0		Bañ	Baño	A -1.26	Halógena	1	1	5	5	1,597	435	243,6	77,83	2,053		
			Bañ	Aseo hombres	A 0.40	Fluorescente lineal	1	2	20	40	6,192	2500	2800	433,44	1,429		
			Bañ	Aseo mujeres	A 0.43	Fluorescente lineal	1	2	20	40	6,192	2500	2800	433,44	1,429		
			Pas	Pasillo	A 0.39	Fluorescente lineal	2	4	20	160	2,919	2500	11200	204,35	1,429		
			Pas	Pasillo	P3	Fluorescente lineal	14	2	20	560	3,886	2500	39200	272,05	1,429		
			Aul	Aula	A 0.36	Fluorescente lineal	5	4	20	400	6,989	2500	28000	489,25	1,429		
			Aul	Delegación	Delegación	A 0.33	Fluorescente lineal	2	2	20	80	3,194	435	5600	487,2	216,01	1,479
							Halógena	2	1	5	10						
							Total delegación	4	-	-	90						
			Pas	Pasillo	P1	Fluorescente lineal	1	6	20	120	3,841	2500	8400	4200	268,86	1,429	
							Fluorescente lineal	3	1	20							60
							Total Pasillo	4	-	-							180
			Pas	Pasillo	P2	Fluorescente lineal	3	2	20	120	4,042	2500	8400	282,96	1,429		
			Aul	Lab química	A 0.24	Fluorescente lineal	9	4	20	720	6,865	2500	50400	480,55	1,429		
			Aul	Despacho lab química	A 0.26	Fluorescente lineal	1	4	20	80	5,583	2500	5600	390,79	1,429		
					Pas	Pasillo	A 0.13	Fluorescente lineal	3	6	20	360	4,234	2500	25200	296,39	1,429
					Bañ	Baño grande hombres	A 0.29	Fluorescente lineal	3	2	20	120	3,808	2500	8400	266,58	1,429
Bañ	Baño grande mujeres	A 0.27.2			Fluorescente lineal	3	2	20	120	3,294	2500	8400	230,58	1,429			
Aul	Sala	A 0.04			Fluorescente lineal	3	2	20	120	3,706	2500	8400	259,42	1,429			
Aul	Copistería	A 0.05			Fluorescente lineal	2	2	20	80	2,992	2500	5600	209,42	1,429			
Aul	Conserjería	A 0.07			Fluorescente lineal	2	2	20	80	4,201	435	5600	487,2	280,77	1,496		
					Halógena	2	1	5	10								
					Fluorescente compacto	1	2	8,5	17								
					Total conserjería	5	-	-	107							-	7151,2
Bib	Biblioteca	A 0.01			Fluorescente lineal	6	6	20	720	10,547	2500	50400	39200	786,32	1,341		
					Fluorescente lineal	7	4	20	560								
					Fluorescente lineal	14	2	25	700								
					Total biblioteca	27	-	-	1980							-	147616
Aul	Despacho biblioteca	A 0.02			Fluorescente lineal	1	6	20	120	10,601	2500	8400	742,05	1,429			
Aul	Depósito biblioteca	A 0.03			Fluorescente lineal	3	2	20	120	3,825	2500	8400	267,77	1,429			
Aul	Aula	A 0.22			Fluorescente lineal	6	6	20	720	7,469	2500	50400	2800	522,80	1,429		
					Fluorescente lineal	2	1	20	40								
			Total aula	8	-	-	760	-	53200								
Aul	Aula	A 0.35	Fluorescente lineal	6	6	20	720	6,460	2500	50400	2800	452,19	1,429				
			Fluorescente lineal	2	1	20	40										
Total aula	8	-	-	760	-	53200											
Aul	Aula de grados	A 0.38	Fluorescente lineal	5	4	20	400	5,984	2500	28000	418,85	1,429					
Aul	Despacho	A 0.41	Fluorescente lineal	1	2	20	40	3,805	435	2800	487,2	250,17	1,521				
			Halógena dicroica	2	1	5	10										
			Total despacho	3	-	-	50							-	3287,2		
Aul	Despacho	A 0.42	Fluorescente lineal	1	2	20	40	4,006	435	2800	487,2	263,40	1,521				
			Halógena dicroica	2	1	5	10										
			Total despacho	3	-	-	50							-	3287,2		

Parte	Planta	Abreviatura	Uso	Zona	Tipo de equipo	Nº luminarias	Nº lámparas/lum	Potencia lámpara (W)	Total (W) incluyendo equipos	Ratio W/ m²	Lumen por lámpara	Lumen por habitáculo real	luxes	VEEI
1	Planta 1	Alm	Almacén	A 0.34	Fluorescente lineal	1	1	20	20	7,722	2500	1400	540,54	1,429
		Alm	Almacén	A 0.30	Fluorescente lineal	1	2	20	40	4,167	2500	2800	291,67	1,429
		Bañ	Aseo hombres	A 1.44	Fluorescente lineal	1	2	20	40	2,930	2500	2800	205,13	1,429
		Bañ	Aseo mujeres	A 1.46	Fluorescente lineal	1	2	20	40	2,841	2500	2800	198,86	1,429
		Pas	Pasillo	A 1.43	Fluorescente lineal	2	4	20	160	2,894	2500	11200	202,60	1,429
		Pas	Pasillo	P1	Fluorescente lineal	14	2	20	560	3,893	2500	39200	272,50	1,429
		Aul	Aula	A 1.42	Fluorescente lineal	4	4	20	320	7,084	2500	22400	495,90	1,429
		Aul	Aula	A 1.41	Fluorescente lineal	4	4	20	320	7,283	2500	22400	509,79	1,429
		Aul	Aula	A 1.39	Fluorescente lineal	4	4	20	320	7,351	2500	22400	514,59	1,429
		Aul	Laboratorio	A 1.15	Fluorescente lineal	3	4	20	240	4,372	2500	16800	306,01	1,429
		Aul	Laboratorio	A 1.28	Fluorescente lineal	5	4	20	400	4,851	2500	28000	339,56	1,429
		Pas	Pasillo	A 1.14	Fluorescente lineal	2	4	20	160	3,115	2500	11200	218,04	1,429
		Aul	Aula	A 1.27	Fluorescente lineal	6	6	20	720	7,686	2500	50400	538,03	1,429
		Aul	Aula		Fluorescente lineal	2	1	20	40		2500	2800		
		Aul	Total Aula		Fluorescente lineal	8	-	-	760		-	53200		
		Pas	Pasillo	P2	Fluorescente lineal	1	6	20	120	2,008	2500	8400	140,54	1,429
		Aul	Aula	A 1.29	Fluorescente lineal	5	8	20	800	9,036	2500	56000	632,49	1,429
		Aul	Aula		Fluorescente lineal	1	6	20	120		2500	8400		
		Aul	Total Aula		Fluorescente lineal	6	-	-	920		-	64400		
		Aul	Aula	A 1.30	Fluorescente lineal	7	6	25	1050	8,391	3700	87024	695,41	1,207
		Aul	Aula	A 1.40	Fluorescente lineal	10	6	25	1500	9,399	3700	124320	775,88	1,211
		Aul	Aula		Fluorescente lineal	2	1	20	40		2500	2800		
		Aul	Total Aula		Fluorescente lineal	2	-	-	1540		-	127120		
		Aul	Despacho	A 1.45	Fluorescente lineal	1	4	20	80	4,541	2500	5600	307,12	1,479
		Aul	Despacho		Halógena dicroica	2	1	5	10		435	487,2		
		Aul	Total despacho		Total	3	-	-	90		-	6087,2		
		Alm	Almacén	A 1.38	Fluorescente lineal	1	1	20	20	8,000	2500	1400	560,00	1,429
		Aul	Despacho	A 1.37	Fluorescente lineal	1	2	20	40	2,651	2500	2800	185,55	1,429
		Aul	Despacho	A 1.36	Fluorescente lineal	1	2	20	40	3,551	2500	2800	233,47	1,521
		Aul	Despacho		Halógena dicroica	2	1	5	10		435	487,2		
Aul	Total despacho	Total	3		-	-	50	-	3287,2					
Aul	Despacho	A 1.35	Fluorescente lineal	2	2	20	80	6,250	2500	5600	437,50	1,429		
Aul	Despacho	A 1.34	Fluorescente lineal	1	2	20	40	3,906	2500	2800	256,81	1,521		
Aul	Despacho		Halógena dicroica	2	1	5	10		435	487,2				
Aul	Total despacho		Total	3	-	-	50		-	3287,2				
Aul	Despacho	A 1.33	Fluorescente lineal	1	2	20	40	3,906	2500	2800	256,81	1,521		
Aul	Despacho		Halógena dicroica	2	1	5	10		435	487,2				
Aul	Total despacho		Total	3	-	-	50		-	3287,2				
Aul	Seminario	A 1.03	Fluorescente lineal	4	4	20	320	7,713	2500	22400	539,89	1,429		
Aul	Seminario	A 1.02	Fluorescente lineal	4	4	20	320	9,197	2500	22400	659,81	1,394		
Aul	Seminario		Fluorescente lineal	2	1	25	50		3700	4144				
Aul	Total seminario	Total	6	-	-	370	-	26544						
Aul	Aula	A 1.01	Fluorescente lineal	9	4	20	720	9,488	2500	50400	614,87	1,543		
Aul	Aula		Halógena encerado	1	1	75	75		2000	1120				
Aul	Total aula		Total	-	-	-	795		-	51520				
Aul	Despacho	A 1.32	Fluorescente lineal	1	2	20	40	3,612	2500	2800	227,24	1,590		
Aul	Despacho		Halógena dicroica	4	1	5	20		435	974,4				
Aul	Total despacho		Total	5	-	-	60		-	3774,4				

Parte	Planta	Abreviatura	Uso	Zona	Tipo de equipo	Nº luminarias	Nº lámparas/lum	Potencia lámpara (W)	Total (W) incluyendo equipos	Ratio W/m²	Lumen por lámpara	Lumen por habitáculo real	luxes	VEEI	
		Alm	Almacén	A 1.31	Fluorescente lineal	1	1	20	20	2,083	2500	1400	145,83	1,429	
		Bañ	Aseo hombres	A 2.56	Fluorescente lineal	1	2	20	40	3,607	2500	2800	252,48	1,429	
		Bañ	Aseo mujeres	A 2.59	Fluorescente lineal	1	2	20	40	3,656	2500	2800	255,94	1,429	
		Pas	Pasillo	A 2.55	Fluorescente lineal	2	4	20	160	2,538	2500	11200	177,67	1,429	
		Aul	Aula	A 2.53	Fluorescente lineal	3	6	25	450	8,714	3700	37296	701,77	1,242	
			Aula		Fluorescente lineal	2	2	20	80		2500				5600
			Aula		Fluorescente lineal	1	1	20	20		2500				1400
			Total aula		Total	6	-	-	550		-				44296
		Pas	Pasillo	P1	Tubo compacto	2	1	8,5	17	1,328	950	1064	83,09	1,598	
		Pas	Pasillo	P2	Fluorescente lineal	14	2	20	560	3,555	2500	39200	248,84	1,429	
		Pas	Pasillo	P3	Fluorescente lineal	1	6	20	120	6,552	2500	8400	458,64	1,429	
			Pasillo		Fluorescente lineal	3	2	20	120		2500	8400			
			Total pasillo		Total	6	-	-	240		-	16800			
		Pas	Pasillo	A 2.40	Fluorescente lineal	2	1	8,5	17	0,921	950	1064	57,67	1,598	
		Aul	Aula	A 2.36	Fluorescente lineal	4	6	20	480	9,160	2500	33600	641,18	1,429	
			Aula		Fluorescente lineal	2	1	20	40		2500	2800			
			Total aula		Total	4	-	-	520		-	36400			
		Pas	Pasillo	A 2.22	Fluorescente lineal	2	4	20	160	3,178	2500	11200	222,48	1,429	
		Aul	Aula	A 2.23	Fluorescente lineal	4	4	20	320	6,249	2500	22400	437,41	1,429	
		Aul	Aula	A 2.42	Fluorescente lineal	6	4	20	480	8,011	2500	33600	560,75	1,429	
		Aul	Aula	A 2.37	Fluorescente lineal	5	4	20	400	6,287	2500	28000	440,11	1,429	
		Aul	Aula	A 2.01	Fluorescente lineal	4	6	20	480	6,773	2500	33600	474,11	1,429	
		Aul	Aula	A 2.21	Fluorescente lineal	5	6	20	600	10,573	2500	42000	740,09	1,429	
		Aul	Despacho	A 2.57	Fluorescente lineal	1	2	20	40	4,006	2500	2800	263,40	1,521	
			Despacho		Halógena dicroica	2	1	5	10		435	487,2			
			Total despacho		Total	3	-	-	50		-	3287,2			
		Aul	Despacho	A 2.58	Fluorescente lineal	1	2	20	40	4,006	2500	2800	263,40	1,521	
			Despacho		Halógena dicroica	2	1	5	10		435	487,2			
			Total despacho		Total	3	-	-	50		-	3287,2			
		Aul	Aula	A 2.54	Fluorescente lineal	3	4	20	240	4,967	2500	16800	347,68	1,429	
		Aul	Aula	A 2.52	Fluorescente lineal	2	4	20	160	7,667	2500	11200	536,66	1,429	
		Aul	Aula	A 2.51	Fluorescente lineal	2	4	20	160	5,158	2500	11200	361,06	1,429	
		Aul	Aula	A 2.49	Fluorescente lineal	1	2	20	40	6,176	2500	2800	422,19	1,463	
			Aula		Fluorescente lineal	1	4	20	80		2500	5600			
			Aula		Halógena dicroica	2	1	5	10		435	487,2			
			Total aula		Total	4	-	-	130		-	8887,2			
		Alm	Almacén	A 2.48	Fluorescente lineal	1	1	20	20	7,407	2500	1400	518,52	1,429	
		Aul	Aula	A 2.47	Fluorescente lineal	3	4	20	240	4,077	2500	16800	285,37	1,429	
		Aul	Aula	A 2.02+2.03	Fluorescente lineal	8	4	20	640	8,494	2500	44800	545,50	1,557	
			Aula		Halógena encerado	1	1	75	75		2000	1120			
			Total aula		Total	9	-	-	715		-	45920			
		Aul	Aula	A 2.38	Fluorescente lineal	2	6	20	240	10,830	2500	16800	758,12	1,429	
		Aul	Aula	A 2.39	Fluorescente lineal	2	6	20	240	9,479	2500	16800	663,51	1,429	
		Aul	Aula	A 2.41	Fluorescente lineal	1	1	20	20	0,577	2500	1400	40,38	1,429	
		Aul	Aula	A 2.44	Fluorescente lineal	7	6	25	1050	8,387	3700	87024	695,14	1,207	
		Aul	Aula	A 2.50	Fluorescente lineal	5	6	25	750	10,336	3700	62160	856,64	1,207	
			Total aula		Fluorescente lineal	2	1	25	50		3700	4144			
					Fluorescente lineal	7	-	-	800	-	-	66304			

Parte	Planta	Abreviatura	Uso	Zona	Tipo de equipo	Nº luminarias	Nº lámparas/lum	Potencia lámpara (W)	Total (W) incluyendo equipos	Ratio W/ m²	Lumen por lámpara	Lumen por habitáculo real	luxes	VEEI		
		Alm	Almacén	A 2.45	Fluorescente lineal	1	1	20	20	2,083	2500	1400	145,83	1,429		
		Aul	Despacho	A 2.46	Fluorescente lineal	1	2	20	40	3,612	2500	2800	227,24	1,590		
			Despacho		Halógena dicroica	4	1	5	20		435	974,4				
				Total despacho		Total	5	-	-	60	-	3774,4				
	Escaleras	Planta -1	Pas	Tránsito	Todas	Fluorescente compacto	6	1	13,5	81	1,877	1521	5110,56	118,42	1,585	
			Pas	Distribuidor	A -1.15	Fluorescente lineal	3	1	20	60	2,974	2500	4200	208,16	1,429	
			Alm	Almacen	A -1.07	Fluorescente lineal	1	1	20	20	1,888	2500	1400	132,14	1,429	
			Alm	Almacén secretaria	A -1.03	Fluorescente lineal	2	1	10	20	3,722	1050	1176	246,65	1,509	
				Almacén secretaria		Fluorescente lineal	2	1	20	40		2500	2800			
						Total almacén secretaria		Total	4	-	-	60	-	3976		
			Pas	Pasillo	A -1.06	Fluorescente lineal	6	1	20	120	1,597	2500	8400	111,82	1,429	
			Alm	Almacén	A -1.14	Fluorescente lineal	1	1	20	20	2,488	2500	1400	174,13	1,429	
			Alm	Almacén	A -1.13	Fluorescente lineal	1	1	20	20	1,726	2500	1400	120,79	1,429	
	Planta 0		Pas	Distribuidor	A 0.15	Fluorescente compacta	6	2	8,5	102	1,805	950	6384	112,97	1,598	
			Pas	Distribuidor	A 0.16 y A 0.17	Fluorescente lineal	3	4	20	240	3,933	2500	16800	270,41	1,455	
				Distribuidor		Halógena dicroica	3	1	5	15		435	730,8			
						Total distribuidor		Total	6	-	-	255	-	17530,8		
			Aul	Secretaría	A 0.08	Fluorescente lineal	6	2	20	240	5,166	2500	16800	361,60	1,429	
			Aul	Despacho	A 0.09	Fluorescente lineal	2	2	20	80	6,178	2500	5600	432,43	1,429	
			Aul	Despacho	A 0.10	Fluorescente lineal	1	2	20	40	3,475	2500	2800	235,03	1,479	
				Despacho		Halógena dicroica	1	1	5	5		435	243,6			
						Total despacho		Total	2	-	-	45	-	3043,6		
			Pas	Pasillo	A 0.11	Fluorescente lineal	1	2	20	40	3,902	2500	2800	273,17	1,429	
			Alm	Almacén	A 0.12	Fluorescente lineal	1	1	20	20	10,417	2500	1400	729,17	1,429	
			Aul	Despacho	A 0.19	Fluorescente lineal	1	2	20	40	4,663	2500	2800	315,40	1,479	
				Despacho		Halógena dicroica	1	1	5	5		435	243,6			
						Total despacho		Total	2	-	-	45	-	3043,6		
Alm			Almacén	A 0.18	Fluorescente lineal	1	1	20	20	5,181	2500	1400	362,69	1,429		
Bañ	Baño mujeres	A 0.22	Halógena dicroica	2	1	5	10	1,730	435	487,2	84,29	2,053				
Bañ	Baño hombres	A 0.21	Halógena dicroica	2	1	5	10	1,486	435	487,2	72,39	2,053				
Planta 1		Aul	Despacho	A 1.04	Fluorescente lineal	4	2	20	160	8,989	2500	11200	629,21	1,429		
		Aul	Despacho	A 1.05	Fluorescente lineal	2	2	20	80	4,398	2500	5600	307,86	1,429		
		Aul	Despacho	A 1.17	Fluorescente lineal	1	2	20	40	5,070	2500	2800	354,88	1,429		
		Aul	Despacho	A 1.18	Fluorescente lineal	1	2	20	40	5,298	2500	2800	370,86	1,429		
		Aul	Despacho	A 1.06	Fluorescente lineal	1	2	20	40	2,565	2500	2800	168,66	1,521		
			Despacho		Halógena dicroica	2	1	5	10		435	487,2				
					Total despacho		Total	3	-	-	50	-	3287,2			
		Aul	Despacho	A 1.19	Fluorescente lineal	2	2	20	80	6,672	2500	5600	467,06	1,429		
		Aul	Despacho	A 1.07	Fluorescente lineal	2	2	20	80	4,673	2500	5600	321,25	1,455		
			Despacho		Halógena dicroica	1	1	5	5		435	243,6				
					Total despacho		Total	3	-	-	85	-	5843,6			
		Aul	Despacho	A 1.08	Fluorescente lineal	2	2	20	80	4,206	2500	5600	294,43	1,429		
		Pas	Distribuidor	A 1.20	Fluorescente lineal	1	2	20	40	3,670	2500	2800	256,88	1,429		
		Aul	Despacho	A 1.25	Halógena dicroica	2	1	5	10	1,406	435	487,2	68,52	2,053		
		Aul	Despacho	A 1.26	Halógena dicroica	2	1	5	10	1,724	435	487,2	84,00	2,053		
Aul	Despacho	A 1.09	Fluorescente lineal	1	2	20	40	1,790	2500	2800	117,69	1,521				
	Despacho		Halógena dicroica	2	1	5	10		435	487,2						
			Total despacho		Total	3	-	-	50	-	3287,2					

Parte	Planta	Abreviatura	Uso	Zona	Tipo de equipo	Nº luminarias	Nº lámparas/lum	Potencia lámpara (W)	Total (W) incluyendo equipos	Ratio W/m²	Lumen por lámpara	Lumen por habitáculo real	luxes	VEEI	
2		Pas	Pasillo	A 1.16	Fluorescente lineal	4	2	20	160	6,829	2500	11200	478,02	1,429	
		Pas	Distribuidor	A 1.21	Fluorescente lineal	1	4	20	80	4,312	2500	5600	301,81	1,429	
		Pas	Pasillo	A 1.22	Total	5	2	20	200	6,538	2500	14000	457,67	1,429	
		Aul	Despacho Despacho Total despacho	A 1.11	Fluorescente lineal Halógena dicroica Total	2 1 3	2 1 -	20 5 -	80 5 85	7,271	2500 435 -	5600 243,6 5843,6	499,88	1,455	
		Aul	Despacho Despacho Total despacho	A 1.10	Fluorescente lineal Halógena dicroica Total	1 1 2	2 1 -	20 5 -	40 5 45	2,924	2500 435 -	2800 243,6 3043,6	197,76	1,479	
		Aul	Despacho Despacho Total despacho	A 1.12	Fluorescente lineal Halógena dicroica Total	2 1 3	2 1 -	20 5 -	80 5 85	3,272	2500 435 -	5600 243,6 5843,6	224,93	1,455	
		Aul	Despacho Despacho Total despacho	A 1.23	Fluorescente lineal Halógena dicroica Total	1 1 2	2 1 -	20 5 -	40 5 45	6,131	2500 435 -	2800 243,6 3043,6	414,66	1,479	
		Aul	Despacho Despacho Total despacho	A 1.24	Fluorescente lineal Halógena dicroica Total	1 1 2	2 1 -	20 5 -	40 5 45	4,707	2500 435 -	2800 243,6 3043,6	318,37	1,479	
		Aul	Sala juntas	A 1.13	Fluorescente lineal	1	10	20	200	5,995	2500	14000	419,66	1,429	
		Alm	Trastero	A 1.25	Fluorescente lineal	1	1	20	20	2,210	2500	1400	154,70	1,429	
		Aul	Despacho	A 2.33	Fluorescente lineal	2	2	20	80	8,502	2500	5600	595,11	1,429	
		Aul	Despacho	A 2.16	Fluorescente lineal	2	2	20	80	4,796	2500	5600	335,73	1,429	
		Aul	Despacho	A 2.15	Fluorescente lineal	2	2	20	80	7,968	2500	5600	557,77	1,429	
		Aul	Despacho	A 2.14	Fluorescente lineal	2	2	20	80	5,878	2500	5600	411,46	1,429	
	Aul	Despacho	A 2.32	Fluorescente lineal	2	2	20	80	6,478	2500	5600	453,44	1,429		
	Aul	Despacho	A 2.31	Fluorescente lineal	1	2	20	40	6,135	2500	2800	429,45	1,429		
	Aul	Despacho	A 2.30	Fluorescente lineal	1	2	20	40	5,427	2500	2800	379,92	1,429		
	Aul	Despacho Despacho Total despacho	A 2.13	Fluorescente lineal Halógena dicroica Total	1 1 2	2 1 -	20 5 -	40 5 45	3,158	2500 435 -	2800 243,6 3043,6	213,59	1,479		
	Pas	Pasillo	A 2.17	Fluorescente lineal	4	2	20	160	6,650	2500	11200	465,50	1,429		
	Aul	Despacho	A 2.18	Fluorescente lineal	1	2	20	40	2,147	2500	2800	150,26	1,429		
	Aul	Despacho	A 2.19	Fluorescente lineal	4	2	20	160	6,870	2500	11200	480,89	1,429		
	Aul	Despacho	A 2.11	Fluorescente lineal	2	2	20	80	6,499	2500	5600	454,91	1,429		
	Aul	Despacho Despacho Total despacho	A 2.12	Fluorescente lineal Halógena dicroica Total	1 1 2	2 1 -	20 5 -	40 5 45	3,656	2500 435 -	2800 243,6 3043,6	247,25	1,479		
	Aul	Despacho Despacho Total despacho	A 2.09	Fluorescente lineal Halógena dicroica Total	1 2 3	4 1 -	20 5 -	80 10 90	4,308	2500 435 -	5600 487,2 6087,2	291,39	1,479		
	Aul	Despacho	A 2.29	Fluorescente lineal	2	2	20	80	9,143	2500	5600	640,00	1,429		
	Aul	Despacho Despacho Total despacho	A 2.10	Fluorescente lineal Halógena dicroica Total	1 1 2	4 1 -	20 5 -	80 5 85	6,559	2500 435 -	5600 243,6 5843,6	450,90	1,455		
	Bañ	Baño	A 3.34	Halógena dicroica	2	1	5	10	1,408	435	487,2	68,62	2,053		
	Bañ	Baño	A 3.35	Halógena dicroica	2	1	5	10	1,767	435	487,2	86,08	2,053		
	Aul	Despacho	A 2.26	Fluorescente lineal	1	2	20	40	5,298	2500	2800	370,86	1,429		

Parte	Planta	Abreviatura	Uso	Zona	Tipo de equipo	Nº luminarias	Nº lámparas/lum	Potencia lámpara (W)	Total (W) incluyendo equipos	Ratio W/m2	Lumen por lámpara	Lumen por habitáculo real	luxes	VEEI
		Aul	Despacho	A 2.25	Fluorescente lineal	1	2	20	40	5,070	2500	2800	354,88	1,429
		Aul	Despacho	A 2.08	Fluorescente lineal	2	2	20	80	4,410	2500	5600	308,71	1,429
		Aul	Despacho	A 2.27	Fluorescente lineal	2	2	20	80	7,715	2500	5600	540,02	1,429
		Aul	Despacho	A 2.05	Fluorescente lineal	2	2	20	80	4,410	2500	5600	308,71	1,429
		Aul	Despacho	A 2.04	Fluorescente lineal	2	2	20	80	5,614	2500	5600	392,98	1,429
		Aul	Despacho	A 2.24	Fluorescente lineal	2	2	20	80	9,963	2500	5600	697,38	1,429
		Aul	Despacho		Fluorescente lineal	1	2	20	40		2500	2800		
		Aul	Despacho	A 2.06	Halógena dicroica	2	1	5	10	2,572	435	487,2	169,09	1,521
			Total despacho		Total	3	-	-	50		-	3287,2		
		Aul	Despacho		Fluorescente lineal	1	2	20	40		2500	2800		
		Aul	Despacho	A 2.07	Halógena dicroica	1	1	5	5	2,481	435	243,6	167,78	1,479
			Total despacho		Total	2	-	-	45		-	3043,6		

8.6.5. Valores nuevos de los principales parámetros de iluminación

Ahora, vamos a analizar los valores de W/m², VEEI e iluminancia media que se tendrían tras el cambio, tanto por tipología de habitáculo, como en total.

En aulas:

Tabla 27: Valores tras cambio medios de W/m², VEEI y luxes en aulas

SUMA W/m ² Aul	SUMA Luxes Aul	SUMA VEEI Aul
678,060	47585,123	173,595
Número de Aulas	Número de Aulas	Número de Aulas
120	120	120
W/m ² MEDIO Aul	VEEI MEDIO Aul	VEEI MEDIO Aul
5,650	396,543	1,447
MARGEN W/m ² Aul	MARGEN VEEI Aul	MARGEN VEEI Aul
62,330%	32,181%	63,834%

De estos datos se deduce que en las aulas se cumpliría (de manera global) con la normativa en cuanto a W/m², iluminancia media mínima (luxes), y en cuanto a VEEI.

En la biblioteca:

Tabla 28: Valores tras cambio medios de W/m², VEEI y luxes en la biblioteca

Media W/m ² Bib	Media Luxes Bib	Media VEEI Bib
10,547	786,321	1,341
MARGEN W/m ² Bib	MARGEN Luxes Bib	MARGEN VEEI Bib
29,686%	57,264%	77,645%

De estos datos se deduce que en la biblioteca se cumpliría con la normativa en cuanto a W/m², iluminancia media mínima (luxes), y en cuanto a VEEI.

En baños:

Tabla 29: Valores tras cambio medios de W/m², VEEI y luxes en baños

Suma W/m2 Bañ	Suma Luxes Bañ	Suma VEEI Bañ
46,586	2961,698	27,849
Número de baños	Número de baños	Número de baños
16	16	16
W/m2 MEDIO Bañ	Luxes MEDIO Bañ	VEEI MEDIO Bañ
2,9116	185,1060977	1,7406
MARGEN W/m2 Aul	MARGEN Luxes Bañ	MARGEN VEEI Aul
80,589%	-7,447%	61,321%

De estos datos se deduce que en los baños se cumpliría con la normativa en cuanto a W/m² y VEEI, pero no en cuanto a iluminancia media mínima (luxes).

En pasillos:

Tabla 30: Valores tras cambio medios de W/m², VEEI y luxes en pasillos

Suma W/m2 Pas	Suma Luxes Pas	Suma VEEI Pas
117,758	4679,749	50,624
Número de Pas	Número de Pas	Número de Pas
31	35	31
W/m2 MEDIO Pas	Luxes MEDIO Pas	VEEI MEDIO Pas
3,798660245	133,7071149	1,633041503
MARGEN W/m2 Pas	MARGEN Luxes Pas	MARGEN VEEI Pas
74,676%	33,707%	63,710%

De estos datos se deduce que en los pasillos se cumpliría con la normativa en cuanto a W/m², iluminancia media mínima (luxes), y en cuanto a VEEI.

En almacenes:

Tabla 31: Valores tras cambio medios de W/m², VEEI y luxes en almacenes

Suma W/m2 Alm	Suma Luxes Alm	Suma VEEI Alm
87,979	4479,508	42,516
Número de Alm	Número de Alm	Número de Alm
22	23	22
W/m2 MEDIO Pas	Luxes MEDIO Alm	VEEI MEDIO Alm
3,999036425	194,7612175	1,932527542
MARGEN W/m2 Pas	MARGEN Luxes Alm	MARGEN VEEI Alm
73,340%	289,522%	61,349%

De estos datos se deduce que en los almacenes se cumpliría con la normativa en cuanto a W/m², iluminancia media mínima (luxes), y en cuanto a VEEI. De todas formas, no se recomienda realizar el cambio a LED en almacenes, puesto que no es rentable ni medioambientalmente, ni económicamente, debido al corto tiempo de encendido que tienen las lámparas de estos habitáculos.

En total:

Tabla 32: Valores actuales medios de W/m², VEEI y luxes en toda la escuela

SUMA (W/m2)	SUMA luxes	SUMA VEEIS
940,930	65906,097	285,681
W/m2 TOTAL MEDIO	Luxes MEDIO	VEEI TOTAL MEDIO
4,825	337,980	1,465
MARGEN W/m2	MARGEN Luxes	MARGEN VEEI
211%	50,299%	190,709%

Globalmente, se comprueba que se cumplen sobradamente los tres requisitos aquí especificados.

8.6.6. Tabla de niveles de mejora de los parámetros lumínicos

En la siguiente tabla podemos apreciar el porcentaje de mejora en estos 3 aspectos, habitáculo a habitáculo:

Parte	Planta	Abreviatura	Uso	Zona	% mejora W/m2	% mejora luxes	% mejora VEEI	
	Escaleras	Pas	Tránsito	Todas	-41%	67,8%	-65,03%	
		Pas	Pasillo	A -1.51	-57%	29,0%	-66,88%	
		Alm	Sala	A -1.48	-57%	29,0%	-66,88%	
		Pas	Pasillo Total pasillo	A -1.27	-57%	29,0%	-66,88%	
		Pas	Pasillo Pasillo Total pasillo	A -1.50	-57%	29,0%	-66,88%	
		Pas	Pasillo	P3	-57%	29,0%	-66,88%	
		Aul	Laboratorio	A -1.44	-57%	29,0%	-66,88%	
		Aul	Laboratorio	A -1.41	-57%	29,0%	-66,88%	
		Aul	Laboratorio Laboratorio Total laboratorio	A -1.43	-57%	29,0%	-66,88%	
		Aul	Laboratorio	A -1.45	-57%	29,0%	-66,88%	
		Aul	Despacho	A -1.39	-57%	29,0%	-66,88%	
		Aul	Despacho	A -1.40	-57%	29,0%	-66,88%	
		Bañ	Baño	A -1.31	-90%	45,0%	-93,10%	
		Bañ	Baño	A -1.32	-90%	45,0%	-93,10%	
		Aul	Despacho Despacho Total despacho	A -1.28	-57%	29,0%	-66,88%	
		Planta -1	Aul	Despacho	A -1.30	-57%	29,0%	-66,88%
			Aul	Despacho	A -1.34	-57%	29,0%	-66,88%
	Aul		Despacho	A -1.37	-57%	29,0%	-66,88%	
	Aul		Despacho	A -1.38	-57%	29,0%	-66,88%	
	Aul		Laboratorio	A -1.47	-57%	29,0%	-66,88%	

Parte	Planta	Abreviatura	Uso	Zona	% mejora W/m2	% mejora luxes	% mejora VEEI
		Aul	Laboratorio	A -1.42	-57%	29,0%	-66,88%
		Aul	Laboratorio	A -1.35	-57%	29,0%	-66,88%
		Aul	Laboratorio	A -1.36	-57%	29,0%	-66,88%
		Aul	Laboratorio	A -1.29	-57%	29,0%	-66,88%
		Pas	Pasillo	A -1.22	-67%	13,0%	-70,65%
		Alm	Almacén	A -1.21	-57%	29,0%	-66,88%
		Alm	Almacén	A -1.19	-67%	13,0%	-70,65%
		Aul	Laboratorio	A -1.17	-67%	13,0%	-70,65%
		Alm	Almacén	A -1.16	-67%	13,0%	-70,65%
		Alm	Almacén	A -1.18	-67%	13,0%	-70,65%
		Alm	Almacén	A -1.08	-57%	29,0%	-66,88%
		Pas	Pasillo	A -1.04	-57%	29,0%	-66,88%
		Pas	Pasillo	A -1.05	-57%	29,0%	-66,88%
		Alm	Almacén	A -1.09	-57%	29,0%	-66,88%
		Alm	Almacén	A -1.10	-57%	29,0%	-66,88%
		Alm	Almacén	A -1.11	-57%	29,0%	-66,88%
		Aul	Despacho	A -1.01	-57%	29,0%	-66,88%
		Aul	Despacho	A -1.02	-57%	29,0%	-66,88%
		Aul	Laboratorio	A -1.12	-57%	29,0%	-66,88%
		Aul	Laboratorio	A -1.20	-57%	29,0%	-66,88%
		Alm	Almacén	A -1.23	-57%	29,0%	-66,88%
		Pas	Zona paso seguridad	A -1.24	-57%	29,0%	-66,88%
		Bañ	Baño	A -1.25	-90%	45,0%	-93,10%
		Bañ	Baño	A -1.26	-90%	45,0%	-93,10%
		Bañ	Aseo hombres	A 0.40	-57%	29,0%	-66,88%
		Bañ	Aseo mujeres	A 0.43	-57%	29,0%	-66,88%
		Pas	Pasillo	A 0.39	-57%	29,0%	-66,88%
		Pas	Pasillo	P3	-57%	29,0%	-66,88%
		Aul	Aula	A 0.36	-57%	29,0%	-66,88%
		Aul	Delegación Delegación Total delegación	A 0.33	-69%	33,8%	-76,58%
		Pas	Pasillo Pasillo Total Pasillo	P1	-57%	29,0%	-66,88%
		Pas	Pasillo	P2	-57%	29,0%	-66,88%
		Aul	Lab química	A 0.24	-57%	29,0%	-66,88%
		Aul	Despacho lab química	A 0.26	-57%	29,0%	-66,88%
		Pas	Pasillo	A 0.13	-57%	29,0%	-66,88%
		Bañ	Baño grande hombres	A 0.29	-57%	29,0%	-66,88%
		Bañ	Baño grande mujeres	A 0.27.2	-57%	29,0%	-66,88%
		Aul	Sala	A 0.04	-57%	29,0%	-66,88%
		Aul	Copistería	A 0.05	-57%	29,0%	-66,88%

Parte	Planta	Abreviatura	Uso	Zona	% mejora W/m2	% mejora luxes	% mejora VEEI
1	Planta 0	Aul	Conserjería Conserjería Conserjería Total conserjería	A 0.07	-68%	6,4%	-76,30%
		Bib	Biblioteca Biblioteca Biblioteca Total biblioteca	A 0.01	-59%	22,2%	-78,75%
		Aul	Despacho biblioteca	A 0.02	-57%	29,0%	-66,88%
		Aul	Depósito biblioteca	A 0.03	-57%	29,0%	-66,88%
		Aul	Aula Aula Total aula	A 0.22	-57%	29,0%	-66,61%
		Aul	Aula Aula Total aula	A 0.35	-57%	29,0%	-66,61%
		Aul	Aula de grados	A 0.38	-57%	29,0%	-66,88%
		Aul	Despacho Despacho Total despacho	A 0.41	-74%	38,1%	-81,30%
		Aul	Despacho Despacho Total despacho	A 0.42	-74%	38,1%	-81,30%
		Alm	Almacén	A 0.34	-57%	29,0%	-66,88%
		Alm	Almacén	A 0.30	-57%	29,0%	-66,88%
		Bañ	Aseo hombres	A 1.44	-57%	29,0%	-66,88%
		Bañ	Aseo mujeres	A 1.46	-57%	29,0%	-66,88%
		Pas	Pasillo	A 1.43	-57%	29,0%	-66,88%
		Pas	Pasillo	P1	-57%	29,0%	-66,88%
		Aul	Aula	A 1.42	-57%	29,0%	-66,88%
		Aul	Aula	A 1.41	-57%	29,0%	-66,88%
		Aul	Aula	A 1.39	-57%	29,0%	-66,88%
		Aul	Laboratorio	A 1.15	-57%	29,0%	-66,88%
		Aul	Laboratorio	A 1.28	-57%	29,0%	-66,88%
		Pas	Pasillo	A 1.14	-57%	29,0%	-66,88%
		Aul	Aula Aula Total Aula	A 1.27	-57%	29,0%	-66,61%
		Pas	Pasillo	P2	-57%	29,0%	-66,88%
		Aul	Aula Aula Total Aula	A 1.29	-57%	29,0%	-66,88%
		Aul	Aula	A 1.30	-67%	13,0%	-70,65%

Parte	Planta	Abreviatura	Uso	Zona	% mejora W/m2	% mejora luxes	% mejora VEEI	
	Planta 1	Aul	Aula Aula Total Aula	A 1.40	-67%	13,3%	-70,47%	
		Aul	Despacho Despacho Total despacho	A 1.45	-69%	33,8%	-76,58%	
		Alm	Almacén	A 1.38	-57%	29,0%	-66,88%	
		Aul	Despacho	A 1.37	-57%	29,0%	-66,88%	
		Aul	Despacho Despacho Total despacho	A 1.36	-74%	38,1%	-81,30%	
		Aul	Despacho	A 1.35	-57%	29,0%	-66,88%	
		Aul	Despacho Despacho Total despacho	A 1.34	-74%	38,1%	-81,30%	
		Aul	Despacho Despacho Total despacho	A 1.33	-74%	38,1%	-81,30%	
		Aul	Seminario	A 1.03	-57%	29,0%	-66,88%	
		Aul	Seminario Seminario Total seminario	A 1.02	-59%	26,2%	-67,42%	
		Aul	Aula Aula Total aula	A 1.01	-59%	22,7%	-66,50%	
		Aul	Despacho Despacho Total despacho	A 1.32	-80%	45,7%	-85,98%	
			Alm	Almacén	A 1.31	-57%	29,0%	-66,88%
			Bañ	Aseo hombres	A 2.56	-57%	29,0%	-66,88%
			Bañ	Aseo mujeres	A 2.59	-57%	29,0%	-66,88%
			Pas	Pasillo	A 2.55	-57%	29,0%	-66,88%
			Aul	Aula Aula Aula Total aula	A 2.53	-65%	15,2%	-80,33%
			Pas	Pasillo	P1	-67%	-5,0%	-65,59%
			Pas	Pasillo	P2	-57%	29,0%	-66,88%
			Pas	Pasillo Pasillo Total pasillo	P3	-57%	29,0%	-66,88%
			Pas	Pasillo	A 2.40	-67%	-5,0%	-65,59%
			Aul	Aula Aula Total aula	A 2.36	-57%	29,0%	-66,48%

Parte	Planta	Abreviatura	Uso	Zona	% mejora W/m2	% mejora luxes	% mejora VEEI	
	Planta 2	Pas	Pasillo	A 2.22	-57%	29,0%	-66,88%	
		Aul	Aula	A 2.23	-57%	29,0%	-66,88%	
		Aul	Aula	A 2.42	-57%	29,0%	-66,88%	
		Aul	Aula	A 2.37	-57%	29,0%	-66,88%	
		Aul	Aula	A 2.01	-57%	29,0%	-66,88%	
		Aul	Aula	A 2.21	-57%	29,0%	-66,88%	
		Aul	Despacho Despacho Total despacho	A 2.57	-71%	38,1%	-78,95%	
		Aul	Despacho Despacho Total despacho	A 2.58	-74%	38,1%	-81,30%	
		Aul	Aula	A 2.54	-57%	29,0%	-66,88%	
		Aul	Aula	A 2.52	-57%	29,0%	-66,88%	
		Aul	Aula	A 2.51	-57%	29,0%	-66,88%	
		Aul	Aula Aula Aula Total aula	A 2.49	-66%	32,3%	-76,83%	
		Alm	Almacén	A 2.48	-57%	29,0%	-66,88%	
		Aul	Aula	A 2.47	-57%	29,0%	-66,88%	
		Aul	Aula Aula Total aula	A 2.02+2.03	-52%	21,9%	-60,84%	
		Aul	Aula	A 2.38	-57%	29,0%	-66,88%	
		Aul	Aula	A 2.39	-57%	29,0%	-66,88%	
		Aul	Aula	A 2.41	-57%	29,0%	-66,88%	
		Aul	Aula	A 2.44	-67%	13,0%	-70,65%	
		Aul	Aula Aula Total aula	A 2.50	-67%	13,0%	-70,65%	
	Alm	Almacén	A 2.45	-57%	29,0%	-66,88%		
	Aul	Despacho Despacho Total despacho	A 2.46	-80%	45,7%	-85,98%		
	Escaleras	Planta -1	Pas	Tránsito	Todas	-41%	67,8%	-65,03%
			Pas	Distribuidor	A -1.15	-57%	29,0%	-66,88%
			Alm	Almacen	A -1.07	-57%	29,0%	-66,88%
			Alm	Almacén secretaria Almacén secretaria Total almacén secretaría	A -1.03	-57%	27,6%	-66,52%
			Pas	Pasillo	A -1.06	-57%	29,0%	-66,88%
Alm			Almacén	A -1.14	-57%	29,0%	-66,88%	
Alm			Almacén	A -1.13	-57%	29,0%	-66,88%	

Parte	Planta	Abreviatura	Uso	Zona	% mejora W/m2	% mejora luxes	% mejora VEEI
2	Planta 0	Pas	Distribuidor	A 0.15	-67%	-5,0%	-65,59%
		Pas	Distribuidor Distribuidor Total distribuidor	A 0.16 y A 0.17	-64%	31,5%	-72,74%
		Aul	Secretaría	A 0.08	-57%	29,0%	-66,88%
		Aul	Despacho	A 0.09	-57%	29,0%	-66,88%
		Aul	Despacho Despacho Total despacho	A 0.10	-69%	33,8%	-76,58%
		Pas	Pasillo	A 0.11	-57%	29,0%	-66,88%
		Alm	Almacén	A 0.12	-57%	29,0%	-66,88%
		Aul	Despacho Despacho Total despacho	A 0.19	-69%	33,8%	-76,58%
		Alm	Almacén	A 0.18	-57%	29,0%	-66,88%
		Bañ	Baño mujeres	A 0.22	-90%	45,0%	-93,10%
		Bañ	Baño hombres	A 0.21	-90%	45,0%	-93,10%
		Planta 1	Aul	Despacho	A 1.04	-57%	29,0%
	Aul		Despacho	A 1.05	-57%	29,0%	-66,88%
	Aul		Despacho	A 1.17	-57%	29,0%	-66,88%
	Aul		Despacho	A 1.18	-57%	29,0%	-66,88%
	Aul		Despacho Despacho Total despacho	A 1.06	-74%	38,1%	-81,30%
	Aul		Despacho	A 1.19	-57%	29,0%	-66,88%
	Aul		Despacho Despacho Total despacho	A 1.07	-64%	31,5%	-72,74%
	Aul		Despacho	A 1.08	-57%	29,0%	-66,88%
	Pas		Distribuidor	A 1.20	-57%	29,0%	-66,88%
	Aul		Despacho	A 1.25	-90%	45,0%	-93,10%
	Aul		Despacho	A 1.26	-90%	45,0%	-93,10%
	Aul		Despacho Despacho Total despacho	A 1.09	-74%	38,1%	-81,30%
	Pas		Pasillo	A 1.16	-57%	29,0%	-66,88%
	Pas		Distribuidor	A 1.21	-57%	29,0%	-66,88%
	Pas		Pasillo	A 1.22	-57%	29,0%	-66,88%
	Aul		Despacho Despacho Total despacho	A 1.11	-64%	31,5%	-72,74%
	Aul		Despacho Despacho Total despacho	A 1.10	-69%	33,8%	-76,58%

Parte	Planta	Abreviatura	Uso	Zona	% mejora W/m2	% mejora luxes	% mejora VEEI
		Aul	Despacho Despacho Total despacho	A 1.12	-64%	31,5%	-72,74%
		Aul	Despacho Despacho Total despacho	A 1.23	-69%	33,8%	-76,58%
		Aul	Despacho Despacho Total despacho	A 1.24	-69%	33,8%	-76,58%
		Aul	Sala juntas	A 1.13	-57%	29,0%	-66,88%
		Alm	Trastero	A 1.25	-57%	29,0%	-66,88%
		Aul	Despacho	A 2.33	-57%	29,0%	-66,88%
		Aul	Despacho	A 2.16	-57%	29,0%	-66,88%
		Aul	Despacho	A 2.15	-57%	29,0%	-66,88%
		Aul	Despacho	A 2.14	-57%	29,0%	-66,88%
		Aul	Despacho	A 2.32	-57%	29,0%	-66,88%
	Aul	Despacho	A 2.31	-57%	29,0%	-66,88%	
	Aul	Despacho	A 2.30	-57%	29,0%	-66,88%	
	Planta 2	Aul	Despacho Despacho Total despacho	A 2.13	-69%	33,8%	-76,58%
		Pas	Pasillo	A 2.17	-57%	29,0%	-66,88%
		Aul	Despacho	A 2.18	-57%	29,0%	-66,88%
		Aul	Despacho	A 2.19	-57%	29,0%	-66,88%
		Aul	Despacho	A 2.11	-57%	29,0%	-66,88%
		Aul	Despacho Despacho Total despacho	A 2.12	-69%	33,8%	-76,58%
		Aul	Despacho Despacho Total despacho	A 2.09	-69%	33,8%	-76,58%
		Aul	Despacho	A 2.29	-57%	29,0%	-66,88%
Aul		Despacho Despacho Total despacho	A 2.10	-64%	31,5%	-72,74%	
Bañ		Baño	A 3.34	-90%	45,0%	-93,10%	
Bañ		Baño	A 3.35	-90%	45,0%	-93,10%	
Aul		Despacho	A 2.26	-57%	29,0%	-66,88%	
Aul		Despacho	A 2.25	-57%	29,0%	-66,88%	
Aul		Despacho	A 2.08	-57%	29,0%	-66,88%	
Aul		Despacho	A 2.27	-57%	29,0%	-66,88%	
Aul	Despacho	A 2.05	-57%	29,0%	-66,88%		
Aul	Despacho	A 2.04	-57%	29,0%	-66,88%		
Aul	Despacho	A 2.24	-57%	29,0%	-66,88%		

Parte	Planta	Abreviatura	Uso	Zona	% mejora W/m2	% mejora luxes	% mejora VEEI
		Aul	Despacho Despacho Total despacho	A 2.06	-74%	38,1%	-81,30%
		Aul	Despacho Despacho Total despacho	A 2.07	-69%	33,8%	-76,58%

Se aprecia, que, salvo en dos pasillos, en los cuales la iluminación provenía de unos fluorescentes compactos, que tienen unos cuantos lúmenes más que sus sustitutos LED, en el resto, en todos se consiguen mejoras de niveles de iluminación y por supuesto de eficiencia energética.

8.6.7. Comparativas de mejora de los principales parámetros lumínicos

Para acabar esta parte, se muestra la relación de estos 3 parámetros con sus respectivas fases (sin cambio y con cambio) y su nivel normativo:

Tabla 33: Valores medios totales de VEEI antes y después del cambio

VEEI			
Abrev.	Máx. permitido	Actualmente	Tras cambio
Aul	4	5,422	1,447
Bib	6	6,312	1,341
Pas	4,5	4,942	1,633
Bañ	4,5	17,038	1,741

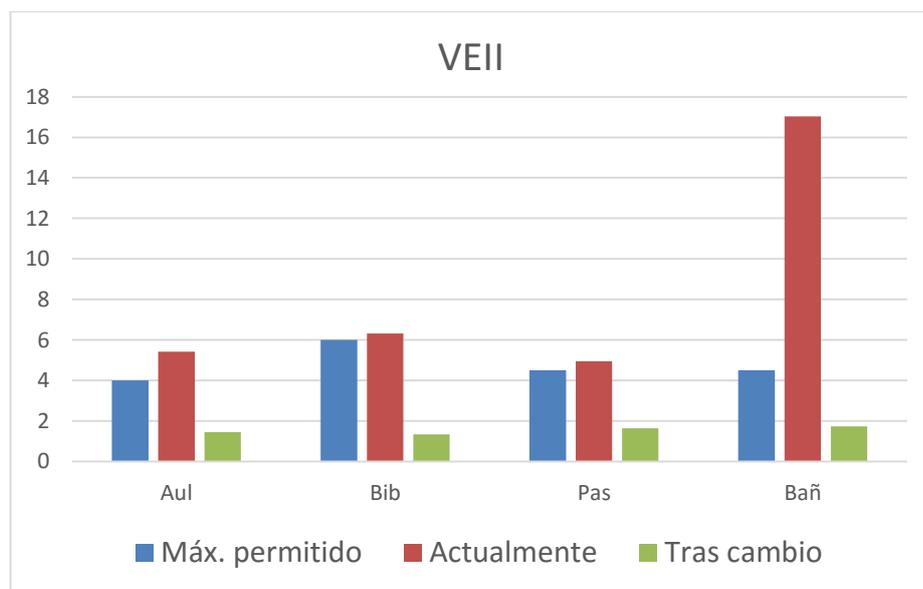


Figura 53: Valores medios de VEEI antes y después del cambio

Tabla 34: Valores medios totales de W/m^2 antes y después del cambio

W/m^2			
Abrev.	Máx. permitido	Actualmente	Tras cambio
Aul	15	14,705	5,650
Bib	15	25,471	10,547
Pas	15	9,085	3,799
Bañ	15	13,547	2,912

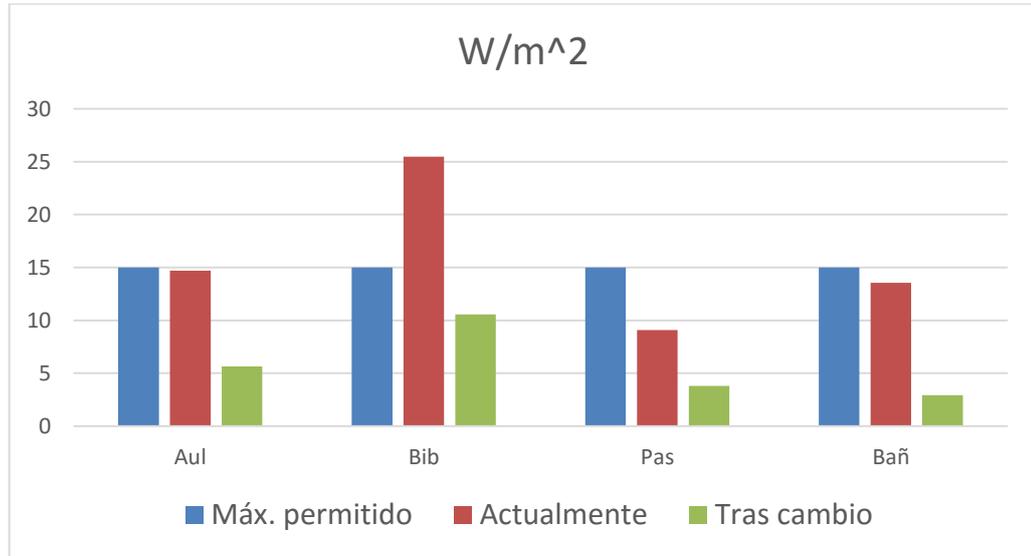


Figura 54: Valores medios de W/m^2 antes y después del cambio

Tabla 35: Valores medios totales de luxes antes y después del cambio

Luxes			
Abrev.	Mín. permitido	Actualmente	Tras cambio
Aul	300	309,555	396,543
Bib	500	643,435	786,321
Pas	100	104,321	133,707
Bañ	200	139,802	185,106

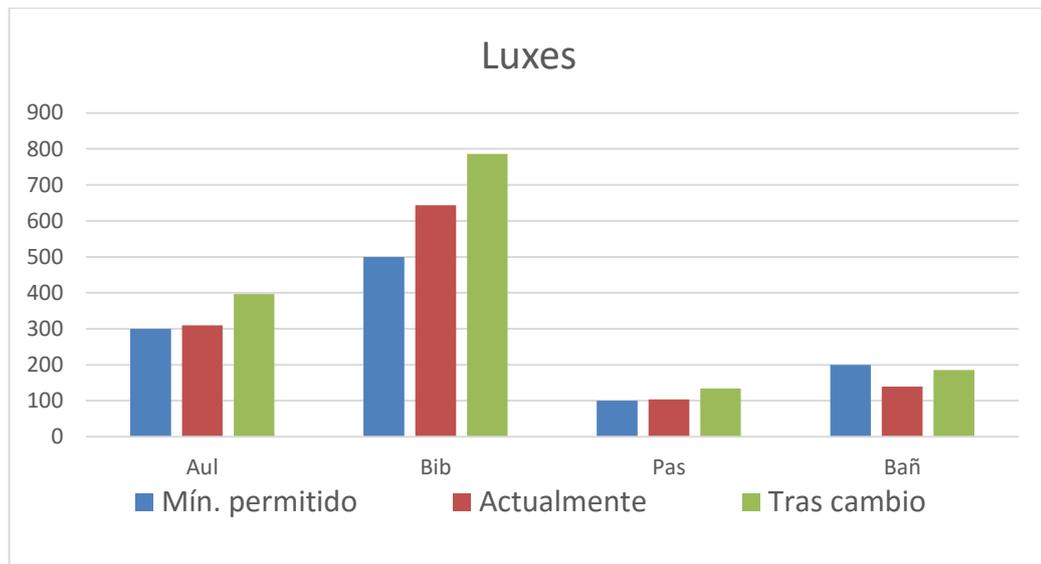


Figura 55: Valores medios de luxes antes y después del cambio

8.7. Presupuesto, ahorros y amortización

El precio de la mano de obra se ha calculado teniendo en cuenta los honorarios de dos trabajadores, un instalador y su ayudante. Con el salario fijado por la base de datos de la construcción de Galicia (BDCG).

El precio de las lámparas está desglosado en el apartado 8.6.4 “Cálculo del precio de las lámparas”.

El coste de las nuevas lámparas asciende a 44.094 €

El precio de la mano de obra asciende a 4.467€

El presupuesto total es de:

47.773€

Tras llevar a cabo estos cálculos, se ha procedido a realizar esta otra tabla para averiguar los plazos de amortización del cambio.

	Actualmente	Tras cambio		Ahorro					
Zona	kWh/año	Modelo nuevo	kWh/año	Ahorro energético anual (kWh)	Ahorro económico anual (€)	Horas anuales funcionam.	Ahorro anual por reposición (€)	Inversión (€)	Período de retorno (años)
Todas	1143,376	Core Pro led bulb 13.5-100W 827 E27	671,112	472,264	64,5113	3107	19,88	162,40	1,924
A -1.51	872,4456	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	372,84	499,6056	68,2461	3107	4,97	148,80	2,032
A -1.48	5,5926	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	2,39	3,2026	0,4375	119,5		24,80	56,689
A -1.27	872,4456	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	372,84	-	-			99,20	2,032
				-	-			49,60	
				499,6056	68,2461	3107	4,97	148,80	
A -1.50	2617,3368	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	1118,52	-	-			99,20	2,032
				-	-			347,20	
				1498,8168	204,7384	3107	14,91	446,40	
P3	1744,8912	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	745,68	999,2112	136,4922	3107	9,94	297,60	2,032
A -1.44	1073,7792	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	458,88	614,8992	83,9952	1912	6,12	297,60	3,302
A -1.41	715,8528	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	305,92	409,9328	55,9968	1912	4,08	198,40	3,302
A -1.43	1073,7792	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	458,88	-	-			198,40	3,302
				-	-			99,20	
				614,8992	83,9952	1912	6,12	297,60	
A -1.45	1431,7056	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	611,84	819,8656	111,9936	1912	8,16	396,80	3,302
A -1.39	357,9264	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	152,96	204,9664	27,9984	1912	2,04	99,20	3,302
A -1.40	357,9264	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	152,96	204,9664	27,9984	1912	2,04	99,20	3,302
A -1.31	191,2	CorePro LEDspotMV 5-50W GU10 840 50D	19,12	172,08	23,5061	1912	7,65	10,14	0,325
A -1.32	191,2	CorePro LEDspotMV 5-50W GU10 840 50D	19,12	172,08	23,5061	1912	7,65	10,14	0,325
A -1.28	268,4448	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	114,72	-	-			24,80	3,302
				-	-			49,60	
				153,7248	20,9988	1912	1,53	74,40	
A -1.30	715,8528	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	305,92	409,9328	55,9968	1912	4,08	198,40	3,302
A -1.34	1073,7792	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	458,88	614,8992	83,9952	1912	6,12	297,60	3,302
A -1.37	357,9264	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	152,96	204,9664	27,9984	1912	2,04	99,20	3,302
A -1.38	357,9264	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	152,96	204,9664	27,9984	1912	2,04	99,20	3,302
A -1.47	715,8528	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	305,92	409,9328	55,9968	1912	4,08	198,40	3,302
A -1.42	715,8528	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	305,92	409,9328	55,9968	1912	4,08	198,40	3,302
A -1.35	715,8528	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	305,92	409,9328	55,9968	1912	4,08	198,40	3,302
A -1.36	1789,632	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	764,8	1024,832	139,9921	1912	10,20	496,00	3,302
A -1.29	894,816	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	382,4	512,416	69,9960	1912	5,10	248,00	3,302
A -1.22	1405,6068	MASTER LEDtube 1500mm UO 25W 840 T8 ROT	466,05	939,5568	128,3435	3107	4,97	194,52	1,459
A -1.21	5,5926	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	2,39	3,2026	0,4375	119,5		24,80	56,689
A -1.19	9,0103	MASTER LEDtube 1500mm UO 25W 840 T8 ROT	2,9875	6,0228	0,8227	119,5		32,42	39,406
A -1.17	864,9888	MASTER LEDtube 1500mm UO 25W 840 T8 ROT	286,8	578,1888	78,9806	1912	3,06	194,52	2,371
A -1.16	9,0103	MASTER LEDtube 1500mm UO 25W 840 T8 ROT	2,9875	6,0228	0,8227	119,5		32,42	39,406
A -1.18	54,0618	MASTER LEDtube 1500mm UO 25W 840 T8 ROT	17,925	36,1368	4,9363	119,5		194,52	39,406
A -1.08	5,5926	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	2,39	3,2026	0,4375	119,5		24,80	56,689
A -1.04	436,2228	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	186,42	249,8028	34,1231	3107	2,49	74,40	2,032
A -1.05	290,8152	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	124,28	166,5352	22,7487	3107	1,66	49,60	2,032
A -1.09	5,5926	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	2,39	3,2026	0,4375	119,5		24,80	56,689
A -1.10	5,5926	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	2,39	3,2026	0,4375	119,5		24,80	56,689
A -1.11	5,5926	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	2,39	3,2026	0,4375	119,5		24,80	56,689

	Actualmente	Tras cambio		Ahorro					
Zona	kWh/año	Modelo nuevo	kWh/año	Ahorro energético anual (kWh)	Ahorro económico anual (€)	Horas anuales funcionam.	Ahorro anual por reposición (€)	Inversión (€)	Período de retorno (años)
A -1.01	178,9632	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	76,48	102,4832	13,9992	1912	1,02	49,60	3,302
A -1.02	178,9632	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	76,48	102,4832	13,9992	1912	1,02	49,60	3,302
A -1.12	1431,7056	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	611,84	819,8656	111,9936	1912	8,16	396,80	3,302
A -1.20	2147,5584	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	917,76	1229,7984	167,9905	1912	12,24	595,20	3,302
A -1.23	5,5926	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	2,39	3,2026	0,4375	119,5		24,80	56,689
A -1.24	626,3712	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	267,68	358,6912	48,9972	6692	3,57	49,60	0,944
A -1.25	95,6	CorePro LEDspotMV 5-50W GU10 840 50D	9,56	86,04	11,7531	1912	3,82	5,07	0,325
A -1.26	95,6	CorePro LEDspotMV 5-50W GU10 840 50D	9,56	86,04	11,7531	1912	3,82	5,07	0,325
A 0.40	178,9632	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	76,48	102,4832	13,9992	1912	1,02	49,60	3,302
A 0.43	178,9632	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	76,48	102,4832	13,9992	1912	1,02	49,60	3,302
A 0.39	1163,2608	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	497,12	666,1408	90,9948	3107	6,63	198,40	2,032
P3	3780,5976	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	1615,64	2164,9576	295,7332	3107	21,54	644,80	2,032
A 0.36	1789,632	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	764,8	1024,832	139,9921	1912	10,20	496,00	3,302
A 0.33	549,1264	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT CorePro LEDspotMV 5-50W GU10 840 50D	172,08	- - 377,0464	- - 51,5045	1912	2,04 7,65 9,69	99,20 10,14 109,34	1,787
P1	1308,6684	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	559,26	- - 749,4084	- - 102,3692	3107	7,46	148,80 74,40 223,20	2,032
P2	872,4456	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	372,84	499,6056	68,2461	3107	4,97	148,80	2,032
A 0.24	3221,3376	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	1376,64	1844,6976	251,9857	1912	18,36	892,80	3,302
A 0.26	357,9264	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	152,96	204,9664	27,9984	1912	2,04	99,20	3,302
A 0.13	2617,3368	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	1118,52	1498,8168	204,7384	3107	14,91	446,40	2,032
A 0.29	872,4456	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	372,84	499,6056	68,2461	3107	4,97	148,80	2,032
A 0.27.2	872,4456	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	372,84	499,6056	68,2461	3107	4,97	148,80	2,032
A 0.04	536,8896	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	229,44	307,4496	41,9976	1912	3,06	148,80	3,302
A 0.05	357,9264	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	152,96	204,9664	27,9984	1912	2,04	99,20	3,302
A 0.07	648,5504	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT CorePro LEDspotMV 5-50W GU10 840 50D Core pro led plc 8,5 W G24d-3/840 2P	204,584	- - - 443,9664	- - - 60,6458	1912	2,04 7,65 1,53 11,22	99,20 10,14 23,68 133,02	1,851
A 0.01	20570,4432	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT MASTER LEDtube 1500mm UO 25W 840 T8 ROT	8517,960	- - - 12052,483	- - - 1646,3692	4302	41,30 32,12 32,12 105,54	892,80 694,40 907,76 2.494,96	1,424
A 0.02	536,8896	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	229,44	307,4496	41,9976	1912	3,06	148,80	3,302
A 0.03	536,8896	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	229,44	307,4496	41,9976	1912	3,06	148,80	3,302
A 0.22	3372,768	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	1453,12	- - 1919,648	- - 262,2239	1912		892,80 49,60 942,40	3,347
A 0.35	3372,768	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	1453,12	- - 1919,648	- - 262,2239	1912		892,80 49,60 942,40	3,347
A 0.38	1789,632	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	764,8	1024,832	139,9921	1912	50,99	496,00	2,597

	Actualmente	Tras cambio		Ahorro					
Zona	kWh/año	Modelo nuevo	kWh/año	Ahorro energético anual (kWh)	Ahorro económico anual (€)	Horas anuales funcionam.	Ahorro anual por reposición (€)	Inversión (€)	Período de retorno (años)
A 0.41	370,1632	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT CorePro LEDspotMV 5-50W GU10 840 50D -	95,6	- - 274,5632	- - 37,5053	1912	1,02 7,65 8,67	49,60 10,14 59,74	1,294
A 0.42	370,1632	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT CorePro LEDspotMV 5-50W GU10 840 50D -	95,6	- - 274,5632	- - 37,5053	1912	1,02 7,65 8,67	49,60 10,14 59,74	1,294
A 0.34	5,5926	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	2,39	3,2026	0,4375	119,5		24,80	56,689
A 0.30	11,1852	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	4,78	6,4052	0,8750	119,5		49,60	56,689
A 1.44	178,9632	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	76,48	102,4832	13,9992	1912	1,02	49,60	3,302
A 1.46	178,9632	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	76,48	102,4832	13,9992	1912	1,02	49,60	3,302
A 1.43	1163,2608	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	497,12	666,1408	90,9948	3107	6,63	198,40	2,032
P1	3780,5976	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT		3780,5976	516,4296	3107	21,54	644,80	1,199
A 1.42	1431,7056	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	611,84	819,8656	111,9936	1912	8,16	396,80	3,302
A 1.41	1431,7056	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT		1431,7056	195,5710	1912	8,16	396,80	1,948
A 1.39	1431,7056	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	611,84	819,8656	111,9936	1912	8,16	396,80	3,302
A 1.15	1073,7792	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT		1073,7792	146,6782	1912	6,12	297,60	1,948
A 1.28	1789,632	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	764,8	1024,832	139,9921	1912	10,20	496,00	3,302
A 1.14	1163,2608	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT		1163,2608	158,9014	3107	6,63	198,40	1,199
A 1.27	3372,768	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	1453,12	- - 1919,648	- - 262,2239	1912	19,37	892,80 49,60 942,40	3,347
P2	872,4456	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	372,84	499,6056	68,2461	3107	4,97	148,80	2,032
A 1.29	4116,1536	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	1759,04	- - 2357,1136	- - 321,9817	1912	23,45	992,00 148,80 1.140,80	3,302
A 1.30	6054,9216	MASTER LEDtube 1500mm UO 25W 840 T8 ROT	2007,6	4047,3216	552,8641	1912	21,41	1.361,64	2,371
A 1.40	8801,3184	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	2944,48	- - 5856,8384	- - 800,0441	1912	31,61	1.488,00 10,14 1.498,14	1,801
A 1.45	549,1264	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT CorePro LEDspotMV 5-50W GU10 840 50D -	172,08	- - 377,0464	- - 51,5045	1912	2,04 7,65 9,69	99,20 10,14 109,34	1,787
A 1.38	5,5926	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	2,39	3,2026	0,4375	119,5		24,80	56,689
A 1.37	178,9632	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	76,48	102,4832	13,9992	1912	1,02	49,60	3,302
A 1.36	370,1632	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT CorePro LEDspotMV 5-50W GU10 840 50D -	172,08	- - 198,0832	- - 27,0582	1912	1,02 7,65 8,67	49,60 10,14 59,74	1,672
A 1.35	357,9264	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	152,96	204,9664	27,9984	1912	2,04	99,20	3,302
A 1.34	370,1632	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT CorePro LEDspotMV 5-50W GU10 840 50D -	95,6	- - 274,5632	- - 37,5053	1912	1,02 7,65 8,67	49,60 10,14 59,74	1,294
A 1.33	370,1632	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT CorePro LEDspotMV 5-50W GU10 840 50D -	95,6	- - 274,5632	- - 37,5053	1912	1,02 7,65 8,67	49,60 10,14 59,74	1,294

	Actualmente	Tras cambio		Ahorro					
Zona	kWh/año	Modelo nuevo	kWh/año	Ahorro energético anual (kWh)	Ahorro económico anual (€)	Horas anuales funcionam.	Ahorro anual por reposición (€)	Inversión (€)	Período de retorno (años)
A 1.03	1431,7056	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	611,84	819,8656	111,9936	1912	8,16	396,80	3,302
A 1.02	1720,0352	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT MASTER LEDtube 1500mm UO 25W 840 T8 ROT	707,44	- - 1012,5952	- - 138,3205	1912	8,16 1,02 9,18	396,80 64,84 461,64	3,130
A 1.01	3355,1776	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	1414,88	- - 1940,2976	- - 265,0447	1912	18,36 0,51 18,87	892,80 24,80 917,60	3,232
A 1.32	1708,5632	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT CorePro LEDspotMV 5-50W GU10 840 50D	229,44	- - 1479,1232	- - 202,0482	1912	1,02 61,18 62,20	49,60 81,12 130,72	0,495
A 1.31	5,5926	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	2,39	3,2026	0,4375	119,5		24,80	56,689
A 2.56	178,9632	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	76,48	102,4832	13,9992	1912	1,02	49,60	3,302
A 2.59	178,9632	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	76,48	102,4832	13,9992	1912	1,02	49,60	3,302
A 2.55	1163,2608	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	497,12	666,1408	90,9948	3107	6,63	198,40	2,032
A 2.53	4758,5856	MASTER LEDtube 1500mm UO 25W 840 T8 ROT MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	1625,200	- - - 3133,386	- - - 428,0205	1912		972,60 99,20 24,80 1.096,60	2,459
P1	161,564	CorePro LED PLC 8.5W G24d-3/840 2P	52,819	108,745	14,8546	3107	12,43	23,68	0,868
P2	4071,4128	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	1739,92	2331,4928	318,4819	3107	23,20	694,40	2,032
P3	1744,8912	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	745,68	- - 999,2112	- - 136,4922	3107		148,80 148,80 297,60	2,032
A 2.40	161,564	Core pro led plc 8,5 W G24d-3/840 2P	52,819	108,745	14,8546	3107	2,49	23,68	1,366
A 2.36	2298,9888	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	994,24	- - 1304,7488	- - 178,2287	1912		595,20 49,60 644,80	3,367
A 2.22	1163,2608	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	497,12	666,1408	90,9948	3107	6,63	198,40	2,032
A 2.23	1431,7056	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	611,84	819,8656	111,9936	1912	8,16	396,80	3,302
A 2.42	2147,5584	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	917,76	1229,7984	167,9905	1912	12,24	595,20	3,302
A 2.37	1789,632	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	764,8	1024,832	139,9921	1912	10,20	496,00	3,302
A 2.01	2147,5584	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	917,76	1229,7984	167,9905	1912	12,24	595,20	3,302
A 2.21	2684,448	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	1147,2	1537,248	209,9881	1912	15,30	744,00	3,302
A 2.57	328,864	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT CorePro LEDspotMV 5-50W GU10 840 50D	172,08	- - 156,784	- - 21,4167	1912	1,02 7,65 8,67	49,60 10,14 59,74	1,986
A 2.58	370,1632	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT CorePro LEDspotMV 5-50W GU10 840 50D	95,6	- - 274,5632	- - 37,5053	1912	1,02 7,65 8,67	49,60 10,14 59,74	1,294
A 2.54	1073,7792	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	458,88	614,8992	83,9952	1912	6,12	297,60	3,302
A 2.52	715,8528	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	305,92	409,9328	55,9968	1912	4,08	198,40	3,302
A 2.51	715,8528	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	305,92	409,9328	55,9968	1912	4,08	198,40	3,302

	Actualmente	Tras cambio		Ahorro					
Zona	kWh/año	Modelo nuevo	kWh/año	Ahorro energético anual (kWh)	Ahorro económico anual (€)	Horas anuales funcionam.	Ahorro anual por reposición (€)	Inversión (€)	Período de retorno (años)
A 2.49	728,0896	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT CorePro LEDspotMV 5-50W GU10 840 50D -	248,56	- - - 479,5296	- - - 65,5037	1912	1,02 2,04 7,65 10,71	49,60 20,28 23,68 93,56	1,228
A 2.48	5,5926	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	2,39	3,2026	0,4375	119,5		24,80	56,689
A 2.47	1073,7792	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	458,88	614,8992	83,9952	1912	6,12	297,60	3,302
A 2.02+2.03	2997,2512	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT -	1261,92	- - 1735,3312	- - 237,0462	1912	16,32 0,51 16,83	793,60 5,07 798,67	3,146
A 2.38	1073,7792	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	458,88	614,8992	83,9952	1912	6,12	297,60	3,302
A 2.39	1073,7792	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	458,88	614,8992	83,9952	1912	6,12	297,60	3,302
A 2.41	89,4816	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	38,24	51,2416	6,9996	1912	0,51	24,80	3,302
A 2.44	6054,9216	MASTER LEDtube 1500mm UO 25W 840 T8 ROT	2007,6	4047,3216	552,8641	1912	21,41	1.361,64	2,371
A 2.50	4613,2736	MASTER LEDtube 1500mm UO 25W 840 T8 ROT	1529,6	- - 3083,6736	- - 421,2298	1912		972,60 64,84 1.037,44	2,371
A 2.45	5,5926	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	2,39	3,2026	0,4375	119,5		24,80	56,689
A 2.46	1708,5632	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT CorePro LEDspotMV 5-50W GU10 840 50D -	229,44	- - 1479,1232	- - 202,0482	1912	1,02 61,18 62,20	49,60 81,12 130,72	0,495
Todas	428,766	Core Pro led bulb 13.5-100W 827 E27	251,667	177,099	24,1917	3107	7,46	60,90	1,924
A -1.15	436,2228	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	186,42	249,8028	34,1231	3107	2,49	74,40	2,032
A -1.07	5,5926	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	2,39	3,2026	0,4375	119,5		24,80	56,689
A -1.03	16,7778	MASTER LEDtube VLE 600mm 10W/840 T8 ROT MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT -	7,17	- - 9,6078	- - 1,3124	119,5		32,66 49,60 82,26	62,678
A -1.06	872,4456	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	372,84	499,6056	68,2461	3107	4,97	148,80	2,032
A -1.14	5,5926	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	2,39	3,2026	0,4375	119,5		24,80	56,689
A -1.13	5,5926	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	2,39	3,2026	0,4375	119,5		24,80	56,689
A 0.15	969,384	Core pro led plc 8,5 W G24d-3/840 2P	316,914	652,47	89,1274	3107	14,91	142,08	1,366
A 0.16 y A 0.17	2210,9412	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT CorePro LEDspotMV 5-50W GU10 840 50D -	792,285	- - 1418,6562	- - 193,7884	3107	9,94 18,64 28,58	297,60 15,21 312,81	1,407
A 0.08	1073,7792	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	458,88	614,8992	83,9952	1912	6,12	297,60	3,302
A 0.09	357,9264	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	152,96	204,9664	27,9984	1912	2,04	99,20	3,302
A 0.10	274,5632	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT CorePro LEDspotMV 5-50W GU10 840 50D -	86,04	- - 188,5232	- - 25,7523	1912	1,02 3,82 4,84	49,60 5,07 54,67	1,787
A 0.11	290,8152	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	124,28	166,5352	22,7487	3107	1,66	49,60	2,032
A 0.12	5,5926	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	2,39	3,2026	0,4375	119,5	0,03	24,80	52,840
A 0.19	274,5632	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT CorePro LEDspotMV 5-50W GU10 840 50D -	86,04	- - 188,5232	- - 25,7523	1912	1,02 3,82 4,84	49,60 5,07 54,67	1,787
A 0.18	5,5926	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	2,39	3,2026	0,4375	119,5		24,80	56,689

	Actualmente	Tras cambio		Ahorro					
Zona	kWh/año	Modelo nuevo	kWh/año	Ahorro energético anual (kWh)	Ahorro económico anual (€)	Horas anuales funcionam.	Ahorro anual por reposición (€)	Inversión (€)	Período de retorno (años)
A 0.22	191,2	CorePro LEDspotMV 5-50W GU10 840 50D	19,12	172,08	23,5061	1912	7,65	10,14	0,325
A 0.21	191,2	CorePro LEDspotMV 5-50W GU10 840 50D	19,12	172,08	23,5061	1912	7,65	10,14	0,325
A 1.04	715,8528	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	305,92	409,9328	55,9968	1912	4,08	198,40	3,302
A 1.05	357,9264	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	152,96	204,9664	27,9984	1912	2,04	99,20	3,302
A 1.17	178,9632	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	76,48	102,4832	13,9992	1912	1,02	49,60	3,302
A 1.18	178,9632	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	76,48	102,4832	13,9992	1912	1,02	49,60	3,302
A 1.06	370,1632	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT CorePro LEDspotMV 5-50W GU10 840 50D	95,6	- -	- -	- -	1,02 7,65	49,60 10,14	1,294
		-		274,5632	37,5053	1912	8,67	59,74	
A 1.19	357,9264	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	152,96	204,9664	27,9984	1912	2,04	99,20	3,302
A 1.07	453,5264	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT CorePro LEDspotMV 5-50W GU10 840 50D	162,52	- -	- -	- -	2,04 3,82	99,20 5,07	2,286
		-		291,0064	39,7515	1912	5,86	104,27	
A 1.08	357,9264	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	152,96	204,9664	27,9984	1912	2,04	99,20	3,543
A 1.20	290,8152	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	124,28	166,5352	22,7487	3107	1,66	49,60	2,180
A 1.25	191,2	CorePro LEDspotMV 5-50W GU10 840 50D	19,12	172,08	23,5061	1912	7,65	10,14	0,431
A 1.26	191,2	CorePro LEDspotMV 5-50W GU10 840 50D	19,12	172,08	23,5061	1912	7,65	10,14	0,431
A 1.09	370,1632	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT CorePro LEDspotMV 5-50W GU10 840 50D	95,6	- -	- -	- -	1,02 7,65	49,60 10,14	1,294
		-		274,5632	37,5053	1912	8,67	59,74	
A 1.16	1163,2608	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	497,12	666,1408	90,9948	3107	6,63	198,40	2,032
A 1.21	581,6304	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	248,56	333,0704	45,4974	3107	3,31	99,20	2,032
A 1.22	1454,076	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	621,4	832,676	113,7435	3107	8,29	248,00	2,032
A 1.11	453,5264	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT CorePro LEDspotMV 5-50W GU10 840 50D	162,52	- -	- -	- -	2,04 3,82	99,20 5,07	2,286
		-		291,0064	39,7515	1912	5,86	104,27	
A 1.10	274,5632	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT CorePro LEDspotMV 5-50W GU10 840 50D	86,04	- -	- -	- -	1,02 3,82	49,60 5,07	1,787
		-		188,5232	25,7523	1912	4,84	54,67	
A 1.12	453,5264	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT CorePro LEDspotMV 5-50W GU10 840 50D	162,52	- -	- -	- -	2,04 3,82	99,20 5,07	2,286
		-		291,0064	39,7515	1912	5,86	104,27	
A 1.23	274,5632	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT CorePro LEDspotMV 5-50W GU10 840 50D	86,04	- -	- -	- -	1,02 3,82	49,60 5,07	1,787
		-		188,5232	25,7523	1912	4,84	54,67	
A 1.24	274,5632	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT CorePro LEDspotMV 5-50W GU10 840 50D	86,04	- -	- -	- -	1,02 3,82	49,60 5,07	1,787
		-		188,5232	25,7523	1912	4,84	54,67	
A 1.13	894,816	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	382,4	512,416	69,9960	1912	5,10	248,00	3,302
A 1.25	5,5926	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	2,39	3,2026	0,4375	119,5	0,03	24,80	52,840
A 2.33	357,9264	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	152,96	204,9664	27,9984	1912	2,04	99,20	3,302
A 2.16	357,9264	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	152,96	204,9664	27,9984	1912	2,04	99,20	3,302
A 2.15	357,9264	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	152,96	204,9664	27,9984	1912	2,04	99,20	3,302

	Actualmente	Tras cambio		Ahorro					
Zona	kWh/año	Modelo nuevo	kWh/año	Ahorro energético anual (kWh)	Ahorro económico anual (€)	Horas anuales funcionam.	Ahorro anual por reposición (€)	Inversión (€)	Período de retorno (años)
A 2.14	357,9264	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	152,96	204,9664	27,9984	1912	2,04	99,20	3,302
A 2.32	357,9264	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	152,96	204,9664	27,9984	1912	2,04	99,20	3,302
A 2.31	178,9632	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	76,48	102,4832	13,9992	1912	1,02	49,60	3,302
A 2.30	178,9632	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	76,48	102,4832	13,9992	1912	1,02	49,60	3,302
A 2.13	274,5632	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT CorePro LEDspotMV 5-50W GU10 840 50D -	86,04	- - 188,5232	- - 25,7523	1912	1,02 3,82 4,84	49,60 5,07 54,67	1,787
A 2.17	1163,2608	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	497,12	666,1408	90,9948	3107	6,63	259,36	2,657
A 2.18	178,9632	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	76,48	102,4832	13,9992	1912	1,02	49,60	3,302
A 2.19	715,8528	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	305,92	409,9328	55,9968	1912	4,08	198,40	3,302
A 2.11	357,9264	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	152,96	204,9664	27,9984	1912	2,04	99,20	3,302
A 2.12	274,5632	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT CorePro LEDspotMV 5-50W GU10 840 50D -	86,04	- - 188,5232	- - 25,7523	1912	1,02 3,82 4,84	49,60 5,07 54,67	1,787
A 2.09	549,1264	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT CorePro LEDspotMV 5-50W GU10 840 50D -	172,08	- - 377,0464	- - 51,5045	1912	2,04 7,65 9,69	99,20 10,14 109,34	1,787
A 2.29	357,9264	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	152,96	204,9664	27,9984	1912	2,04	99,20	3,543
A 2.10	453,5264	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT CorePro LEDspotMV 5-50W GU10 840 50D -	162,52	- - 291,0064	- - 39,7515	1912	2,04 3,82 5,86	99,20 5,07 104,27	2,286
A 3.34	191,2	CorePro LEDspotMV 5-50W GU10 840 50D	19,12	172,08	23,5061	1912	7,65	10,14	0,325
A 3.35	191,2	CorePro LEDspotMV 5-50W GU10 840 50D	19,12	172,08	23,5061	1912	7,65	10,14	0,325
A 2.26	178,9632	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	76,48	102,4832	13,9992	1912	1,02	49,60	3,302
A 2.25	178,9632	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	76,48	102,4832	13,9992	1912	1,02	49,60	3,302
A 2.08	357,9264	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	152,96	204,9664	27,9984	1912	2,04	99,20	3,302
A 2.27	357,9264	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	152,96	204,9664	27,9984	1912	2,04	99,20	3,302
A 2.05	357,9264	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	152,96	204,9664	27,9984	1912	2,04	99,20	3,302
A 2.04	357,9264	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	152,96	204,9664	27,9984	1912	2,04	99,20	3,302
A 2.24	357,9264	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT	152,96	204,9664	27,9984	1912	2,04	99,20	3,302
A 2.06	370,1632	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT CorePro LEDspotMV 5-50W GU10 840 50D -	95,6	- - 274,5632	- - 37,5053	1912	1,02 7,65 8,67	49,60 10,14 59,74	1,294
A 2.07	274,5632	MASTER LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT CorePro LEDspotMV 5-50W GU10 840 50D -	86,04	- - 188,5232	- - 25,7523	1912	1,02 3,82 4,84	49,60 5,07 54,67	1,787

En esta tabla, se puede observar, como ya se comentó anteriormente, que los únicos habitáculos que no son susceptibles de realizar un cambio de iluminación son los almacenes, ya que su utilización es reducida.

Aquí se tiene el tiempo en años que se tarda en amortizar, de media las lámparas en cada tipo de habitáculo:

Media en Aul	Biblioteca	Media en Pas	Media en Bañ	Media en Alm
3,280	1,424	1,864	1,519	51,896

A partir de la tabla obtenemos los siguientes resultados:

Las luminarias de la escuela generan un consumo anual de 195.040 kWh, lo que conlleva un coste anual de 26.642 €.

Tras el cambio, se reduciría el consumo a 74.556 kWh, lo que conllevaría un coste anual de 10.184 €. Lo que conlleva un ahorro del 61% en la factura de la luz.

Al ahorro energético, hay que añadirle el ahorro en mantenimiento, sumando así el total de un ahorro anual de 17.818 €.

El gasto en material (lámparas) sería de 44.094 €, a lo que habría que sumarle la mano de obra (basándose en el precio de la BDCG), que sería de unos 4.467€.

Sumando la inversión total sería de **47.773€**.

Es decir, una inversión inicial de 47.773 €, que incluye material y mano de obra, con un período de amortización de $(47.773,72/17.818,23) = 2,68$ años.

8.8. Conclusiones

Tras analizar en detalle el estudio lumínico, se ha comprobado que el cambio de sistema de iluminación es rentable, tanto en términos ambientales, como económicos.

Por tanto, entre las ventajas de llevar a cabo este cambio se encuentran:

- La mejora en la calidad de la iluminación de los habitáculos de la escuela, ya que se mejora la iluminancia media, el VEEL o los W/m².
- La mejora de los niveles de deslumbramiento y la ausencia de efectos estroboscópicos, que vienen de la mano de las actuales fluorescentes.

- Oportunidad de homogeneizar la temperatura de color de las lámparas. Así, en las aulas se contarían con colores intermedios, en los pasillos y halls, tonos cálidos y en los baños, tonos fríos.
- Un ahorro económico importante a corto y largo plazo. En 5 años se obtendría un ahorro de 41.338,294 € y a 20 años vista se habrían ahorrado 280.658,654 € (ahorros teniendo en cuenta el coste de reposición de las lámparas LED a partir del quinto año (1.863,5€), ya que, ese año acabaría la garantía de las lámparas).
- Una reducción importante de las emisiones de CO₂. En 20 años, se ahorraría la emisión de unos 967.736,88 kg de CO₂ a la atmósfera. De todas formas, para hacer un cálculo serio, se le restará las emisiones asociadas a la fabricación de las actuales lámparas fluorescentes, que pasarían a ser recicladas. Resultando un ahorro en emisiones de 956.773,099 kg de CO₂.
- Fortaleza de la imagen de la UDC como centro cultural de referencia que apuesta por un desarrollo sostenible.

8.9. Fichas técnicas de las nuevas lámparas



MASTER LEDtube EM/ 230V

MAS LEDtube 600mm 10W 840 T8 ROT

Philips MASTER LEDtube integra una fuente de luz LED en un formato de fluorescente tradicional. Su exclusivo diseño crea un aspecto visual perfectamente homogéneo que no puede diferenciarse del fluorescente tradicional. Perfecto para quienes buscan rentabilidad con un presupuesto limitado al sustituir lámparas para obtener mejor iluminación y mayor vida útil.

Datos del producto

• Información general

Base de casquillo	G13 I G13
Aplicación principal	Industria
Vida útil nominal (nom.)	50000 h
Ciclo de conmutación	50000X
B50L70	50000

• Datos técnicos de la luz

Código de color	840 [CCT de 4000 K (841)]
Beam Angle (Nom)	150 °
Flujo lumínico (nom.)	1050 lm
Flujo lumínico (nominal) (nom.)	1050 lm
Ángulo de haz nominal	160 °
Temperatura del color con correlación (nom.)	4000 K
Eficacia lumínica (nominal) (nom.)	117 lm/W
Consistencia del color	6 pasos
Índice de reproducción cromática -IRC (nom.)	83
Límf al fin de vida útil nominal (nom.)	70 %

• Objetivos y eléctricos

Frecuencia de entrada	50-60 Hz
Power (Rated) (Nom)	10 W

Corriente de lámpara (máx.)	43 mA
Corriente de lámpara (mín.)	36 mA
Hora de inicio (nom.)	0.5 s
Tiempo de calentamiento hasta el 60% flujo lum. (nom.)	0.1 s
Factor de potencia (nom.)	0.9
Voltaje (Nom)	220-240 V

• Temperatura

T ambiente (máx.)	35 °C
T ambiente (mín.)	-20 °C
T de almacenamiento (máx.)	65 °C
T de almacenamiento (mín.)	-45 °C
Temperatura máxima (nom.)	55 °C

• Controles y regulación

Regulable	No
-----------	----

• Mecánicos y de carcasa

Longitud de producto	600 mm
----------------------	--------

• Aprobación y aplicación

Producto de ahorro de energía	Sí
Apto para la iluminación de acento	No

PHILIPS

MASTER LEDtubo EM/230V

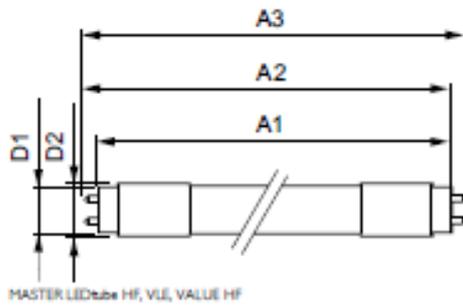
Etiqueta de eficiencia energética (EEL)	A+
Certificados disponibles	Marca CE Certificado KEHA Keur Conformidad con RoHS
Consumo energético kWh/1000h	9 kWh
- Datos de producto	
Código de producto completo	871869646143200

Nombre de producto del pedido	MAJ LEDtubo 600mm 10W/840 TR
EAN/UPC - Producto	8718696461432
Código de pedido	46143200
Cantidad por paquete	1
Numerador - Paquetes por caja exterior	10
N.º de material (12NC)	929001149302
Peso neto (caja)	0.150 kg

Advertencias y seguridad

• -

Plano de dimensiones

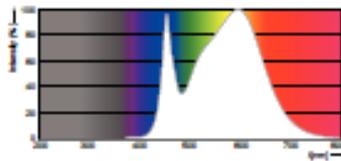


LEDtubo VLE 600mm 10W/840 TR ROT

Product	D1	D2	A1	A2	A3
MAJ LEDtubo 600mm 10W 840 TR ROT	25.68 mm	28 mm	388.5 mm	395.5 mm	603.5 mm



Datos fotométricos



2016, Abril 21
Datos sujetos a cambios



MASTER LEDtube EM/ Mains

MAS LEDtube 1200mm UO 20W 840 T8 ROT

The Philips MASTER LEDtube integrates a LED light source into a traditional fluorescent form factor. Its unique design creates a perfectly uniform visual appearance which cannot be distinguished from traditional fluorescent. This product is the ideal solution for up lighting in general lighting applications.

Benefits

- General information

Cap base	G13 (G13)
Main application	Industrial
Nominal lifetime (nom.)	50000 h
ESOL70	50000

- Light Technical

Beam Angle (Nom)	150 °
Lamp Luminous Flux	2500 lm
25°C L (Nom)	2500 lm
Lamp Luminous Flux (Nom)	2500 lm
Rated beam angle	160 °
Colour Temperature, horizontal (Nom)	4000 K
Lamp Luminous Efficacy (Nom)	129 lm/W
Colour consistency	6 steps
Colour Rendering Index,horiz (Nom)	82
LLMF at end of nominal lifetime (nom.)	70 %

- Operating and Electrical

Inlet frequency	50-60 Hz
Power (Rated) (Nom)	20 W
Lamp current (max.)	82 mA
Lamp current (min.)	75 mA
Starting time (nom.)	0.5 s
Warm-up time to 40% light (nom.)	0.1 s
Power factor (nom.)	0.9

Voltage (Nom) 220-240 V

- Temperature

T ambient (max.)	35 °C
T ambient (min.)	-20 °C
T storage (max.)	65 °C
T storage (min.)	-40 °C
T-Case maximum (nom.)	55 °C

- Controls and Dimming

Dimmable no

- Mechanical and Housing

Product length 1200 mm

- Approval and Application

Energy-saving product	Yes
Suitable for accent lighting	No
Energy efficiency label (EEL)	A++
Approval marks	CE marking KEMA Kaur certificate RoHS compliance
Energy Consumption kWh/1000 h	18 kWh

- Product Data

Full product code 871869646151800



MASTER LEDtube EMMains

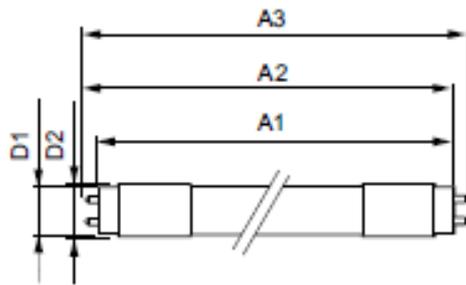
Order product name MAS LEDtube 1200mm UO 20W 840
 TS R.OT
 EAN/UPC – product 8712696461318
 Order code 929001142902
 Numerator – 1
 quantity per pack

Numerator – packs 10
 per outer box
 Material no. (ISNCI) 929001142902
 Net weight (piece) 0.170 kg

Warnings and Safety

- -

Dimensional drawing



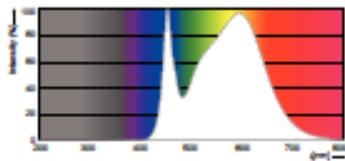
MASTER LEDtube HF, VUE, VALUE HF

LEDtube 1200mm UO 20W 840 TS R.OT

Product	D1	D2	A1	A2	A3
MAS LEDtube 1200mm UO 18W 840 TS RS	25.48 mm	28 mm	1198.0 mm	1205.0 mm	1212.0 mm



Photometric data





MASTER LEDtube EM/ 230V

MASTER LEDtube 1500mm UO 25W 840 T8 ROT

Philips MASTER LEDtube integra una fuente de luz LED en un formato de fluorescente tradicional. Su exclusivo diseño crea un aspecto visual perfectamente homogéneo que no puede diferenciarse del fluorescente tradicional. Perfecto para quienes buscan rentabilidad con un presupuesto limitado al sustituir lámparas para obtener mejor iluminación y mayor vida útil.

Datos del producto

- Información general

Base de casquillo	G13 / G13
Aplicación principal	Industria
Vida útil nominal (nom.)	30000 h
Ciclo de conmutación	30000X
ESOL70	30000

- Datos técnicos de la luz

Código de color	840 CCT de 4000 K (8410)
Beam Angle (Nom.)	150 °
Flujo lumínico (nom.)	2700 lm
Flujo lumínico (nominal) (nom.)	2700 lm
Ángulo de haz nominal	160 °
Temperatura del color con correlación (nom.)	4000 K
Eficacia lumínica (nominal) (nom.)	148 lm/W
Consistencia del color	6 pasos
Índice de reproducción cromática -IRC (nom.)	82
Límf al fin de vida útil nominal (nom.)	70 %

- Operativos y eléctricos

Frecuencia de entrada	50-60 Hz
Power (Rated) (Nom)	25 W

Corriente de lámpara (máx.)	112 mA
Corriente de lámpara (mín.)	105 mA
Hora de inicio (nom.)	0.5 s
Tiempo de calentamiento hasta el 60% flujo lum. (nom.)	0.1 s
Factor de potencia (nom.)	0.9
Voltage (Nom)	220-240 V

- Temperatura

T ambiente (máx.)	25 °C
T ambiente (mín.)	-20 °C
T de almacenamiento (máx.)	45 °C
T de almacenamiento (mín.)	-40 °C
Temperatura máxima (nom.)	55 °C

- Controles y regulación

Regulable	No
-----------	----

- Mecánicos y de carcasa

Longitud de producto	1500 mm
----------------------	---------

- Acrobación y aplicación

Producto de ahorro de energía	Si
Apto para la iluminación de acento	No

PHILIPS

MASTER LEDtubo EM/230V

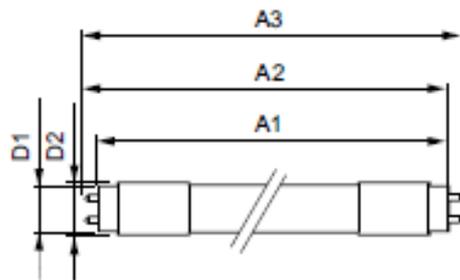
Etiqueta de eficiencia energética (EEL)	A++
Certificados disponibles	Marca CE Certificado KEPIA Keur Conformidad con RoHS
Consumo energético kWh/1000h	25 kWh
- Datos de producto	
Código de producto completo	871069646159400

Nombre de producto del pedido	MAJ LEDtubo 1500mm UO 25W 840
SA/NUPC - Producto	TS ROT
Código de pedido	8710696461594
Cantidad por paquete	46159400
Numerador - Paquetes por caja exterior	1
N.º de material (12NC)	10
Peso neto (caja)	929001149200
	0.450 kg

Advertencias y seguridad

- -

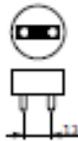
Plano de dimensiones



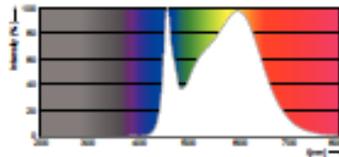
MASTER LEDtubo HF, VUE, VALUE HF

LEDtubo 1500mm UO 25W 840 TS ROT

Product	D1	D2	A1	A2	A3
MAJ LEDtubo 1500mm UO 25W 840 TS ROT	25.68 mm	28 mm	1500 mm	1507.1 mm	1514.3 mm



Datos fotométricos





CorePro LEDbulb

CorePro LEDbulb 13.5-100W 827 E27

CorePro LEDbulbs are compatible with existing fixtures with an E27 or B22 holder and are designed for retrofit replacement of incandescent bulbs. They deliver huge energy savings and minimize maintenance cost.

PHILIPS

CorePro LEDbulb

Product data

- General Information

Case-Size	E27
Nominal Lifetime (Nom)	15000 h
Switching Cycle	30000X
Technical Type	12.5-100W

- Light Technical

Color Code	E27 I CCT of 2700KJ
Luminous Flux (Nom)	1521 lm
Luminous Flux (rated) (Nom)	1521 lm
Color Designation	White (WH)
Correlated Color Temperature (Nom)	2700 K
Luminous Efficacy (rated) (Nom)	112.47 lm/W
Color Consistency	6 steps
Color Rendering Index (Nom)	90
LLMF At End Of Nominal Lifetime (Nom)	70 %

- Operating and Electrical

Input Frequency	50 to 60 Hz
Power (rated) (Nom)	12.5 W
Lamp Current (Nom)	120 mA
Wattage Equivalent	100 W
Starting Time (Max)	0.5 s
Warm Up Time To 40% Light (Nom)	Instant full light
Power Factor (Nom)	0.9

Voltage (Nom) 220-240 V

- Temperature

T-Case Maximum (Nom) 80 °C

- Controls and Dimming

Dimmable No

- Mechanical and Housing

Bulb Finish Frosted

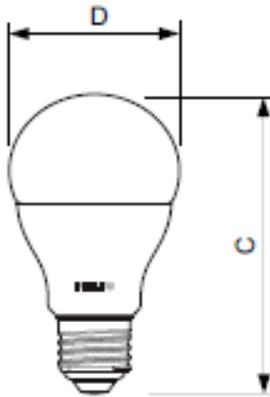
- Approval and Application

Suitable For Accent Lighting No
 Energy Efficiency Label (EEL) A+
 Energy Consumption kWh/1000 h 14 kWh

- Product Data

Full product code 871849649074700
 Order product name CorePro LEDbulb 12.5-100W E27 E27
 EAN/UPC - Product 8718496490747
 Order code 929001171502
 Numerator - Quantity Per Pack 1
 Numerator - Packs per outer box 10
 Material Nr. (I2INC) 929001171502
 Net Weight (Piece) 0.076 kg

Dimensional drawing



LED 12.5-100W E27 E27

Product	D	C
CorePro LEDbulb 12.5-100W E27 E27	40 mm	110 mm

CorePro

LED PL-C 6.5 & 8.5 W 2-pin

- First A-branded lamp for lamp replacement for conventional PL-C lamps with 2-pin sockets (EM-control gear).
- low energy consumption (> 60% energy saving) and long lasting (twice as long lifetime than fluorescent).
- Price fighter proposition for downlight luminaires in public buildings, corridors and hallways .
- For in office, retail or hospitality applications.

What's new:

- In two color temperatures (3000 & 4000 K) and two wattage positions for G24d-2 and G24d-3 socket holders.
- Efficiency up to 100 lm/W.
- < 2 years pay-back, at affordable initial price point as alternative for LED Downlight luminaires.
- Rotating end-caps, to rotate light in the ideal direction.



3000 / 4000



30,000 hours



non-dimmable



120



rotatable (ROT)



G24d-2 & G24d-3



January 20, 2016 LEDlamps

Final information

Product description	Dimensions	System Wattage	Color temp	Lumen output	Operation	CRI	12NC	EOC
	mm		W					
CorePro LED PLC 6.5W 830 2P G24d-2	33x147	6.5	3000	600	EM	80	929001201402	871869654127200
CorePro LED PLC 6.5W 840 2P G24d-2	33x147	6.5	4000	650	EM	80	929001201502	871869654129600
CorePro LED PLC 8.5W 830 2P G24d-3	33x170	8.5	3000	900	EM	80	929001201202	871869654123400
CorePro LED PLC 8.5W 840 2P G24d-3	33x170	8.5	4000	950	EM	80	929001201302	871869654125800

eurosales LTD

PHILIPS



CorePro LEDspot 230V

CorePro LEDspot™1V 5-50W GU10 840 50D

Las lámparas CorePro LEDspots resultan perfectas para la iluminación puntual y ofrecen una luz cálida de tipo halógeno. Son compatibles con la mayoría de las luminarias existentes con casquillo GU10 y están diseñadas para la sustitución de puntos halógenos. Las lámparas LED suponen un ahorro enorme de energía y minimizan los costes de mantenimiento.

Datos del producto

- Información general

Base de casquillo	GU10 (GU10)
Vida útil nominal (nom.)	15000 h
Ciclo de conmutación	50000X
Tipo técnico	5-50W

- Datos técnicos de la luz

Código de color	840 (CCT de 4000 K (8411)
Beam Angle (Nom)	50 °
Distribución de la luz	50D (Haz ancho)
Flujo lumínico (nom.)	425 lm
Flujo lumínico (nominal) (nom.)	425 lm
Intensidad luminosa (nom.)	400 cd
Designación de color	Blanco (WH)
Ángulo de haz nominal	50 °
Temperatura del color con correlación (nom.)	4000 K
Eficacia lumínica (nominal) (nom.)	80,00 lm/W
Consistencia del color	6 pasos
Índice de reproducción cromática -IRC (nom.)	80
Límite al fin de vida útil nominal (nom.)	70 %
Luminous Flux in 90° Cone (Rated)	400 lm

- Operativos y eléctricos

Frecuencia de entrada	50-60 Hz
Power (Rated)	5 W
(Nom)	
Corriente de lámpara (nom.)	40 mA
Equivalente de potencia	50 W
Hora de inicio (máx.)	0,5 s
Tiempo de calentamiento hasta el 60% flujo lum. (nom.)	Instant full light
Factor de potencia (nom.)	0,5
Voltage (Nom)	220-240 V

- Control y regulación

Regulable	No
-----------	----

- Mecánicas y de carcasa

Acabado de la lámpara	Blanco (WH)
-----------------------	-------------

- Aprobación y aplicación

Apto para la iluminación de acento	SI
Etiqueta de eficiencia energética (EEL)	A+
Consumo energético kWh/1000h	5 kWh

PHILIPS

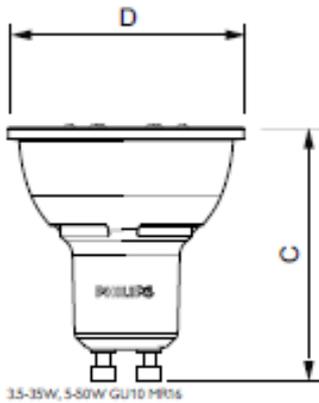
CorePro LEDspot 230V

Datos de producto

Código de producto completo 871069649710000
 Nombre de producto CorePro LEDspotHV 5-30W GU10
 EAN/UPC - Producto 840 300
 EAN/UPC - Producto 8710696497100
 Código de pedido 49710000

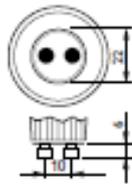
Cantidad por paquete 1
 Numerador - Paquetes por caja exterior 10
 N.º de material (12NC) 929001172902
 Peso neto (caja) 0.028 kg

Plano de dimensiones

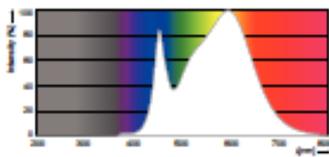


LED 5-30W GU10 840 300

Producto	D	C
CorePro LEDspotHV 5-30W GU10 840 300	30 mm	35 mm



Datos fotométricos



© 2016 Philips Lighting Holding B.V.
 Todos los derechos reservados.

Las especificaciones están sujetas a cambios sin previo aviso. Las marcas registradas son propiedad de Koninklijke Philips N.V. (Korral Philips) o de sus respectivos propietarios.

www.philips.com/lighting

2016, Marzo 4
 Datos sujetos a cambios