

INVESTIGACIÓN DE LOS FACTORES INCIDENTES EN LA EFICIENCIA ENERGÉTICA Y MANTENIBILIDAD DE LOS SISTEMAS DE ILUMINACIÓN INTERIOR DE EDIFICIOS

40-60%

INVESTIGATION OF THE INCIDENT ENERGY
EFFICIENCY FACTORS AND MAINTAINABILITY OF
THE BUILDINGS INTERIOR LIGHTING SYSTEMS

JUAN MANUEL SÁNCHEZ RODRÍGUEZ
Ingeniero en Electricidad
Máster en Edificación

FRANCISCO JAVIER CÁRCEL CARRASCO
Dr. Ingeniero Industrial
Dr. Ciencias Económicas y Empresariales

Ingeniería y Tecnología



INVESTIGACIÓN DE LOS FACTORES INCIDENTES EN LA EFICIENCIA ENERGÉTICA Y MANTENIBILIDAD DE LOS SISTEMAS DE ILUMINACIÓN INTERIOR DE EDIFICIOS

**INVESTIGATION OF THE INCIDENT ENERGY EFFICIENCY FACTORS
AND MAINTAINABILITY OF THE BUILDINGS INTERIOR LIGHTING
SYSTEMS**

JUAN MANUEL SÁNCHEZ RODRÍGUEZ

Ingeniero en Electricidad

Máster en Edificación

FRANCISCO JAVIER CÁRCEL CARRASCO

Dr. Ingeniero Industrial

Dr. Ciencias Económicas y Empresariales



Editorial Área de Innovación y Desarrollo, S.L

Quedan todos los derechos reservados. Esta publicación no puede ser reproducida, distribuida, comunicada públicamente o utilizada, total o parcialmente, sin previa autorización.

© del texto: **los autores**

ÁREA DE INNOVACIÓN Y DESARROLLO, S.L.

C/ Els Alzamora, 17 - 03802 - ALCOY (ALICANTE) info@3ciencias.com

Primera edición: **Julio 2015**

ISBN: **978-84-943990-0-8**

Nº DE DEPÓSITO LEGAL: **A 513 - 2015**

Registro: **2015037274**

Dedicatorias

A todos aquell@s que nos ayudan a mejorar día a día.

INVESTIGACIÓN DE LOS FACTORES INCIDENTES EN LA EFICIENCIA ENERGÉTICA Y MANTENIBILIDAD DE LOS SISTEMAS DE ILUMINACIÓN INTERIOR DE EDIFICIOS

SUMMARY OF THE BOOK'S RESEARCH

INVESTIGATION OF THE INCIDENT ENERGY EFFICIENCY FACTORS AND MAINTAINABILITY OF THE BUILDINGS INTERIOR LIGHTING SYSTEMS

The consumption of electrical energy for lighting installations represents a significant percentage of a building. Large buildings as it can be from offices and shopping centers represent 19% of the energy consumed by lighting. There are many buildings that their consumption of electricity for lighting is particularly important, can even represent 40% of its total energy, this may be due to lack of information or by a mismanagement of maintenance of facilities. Research has shown that at least 40% energy saving potentially be generated with effective strategies for management of lighting applications. Currently there are several alternatives that allow to reach this savings significantly: study of utilization of natural light, incorporation of electronic ballasts, fluorescent replacement conventional fluorescent off-peak, replacement of incandescent fluorescents compact, use of leds, adaptation of schedules and levels of illumination to the strictly necessary, incorporation of presence detectors, centralized network management, home automation, solar energy, etc.

According to the characteristics of the current building lighting system, potentially applicable energy saving measures, the technical viability - to scan of each of the alternatives analyzed and environmental impact associated with the decrease in electricity consumption.

But not must never forget that in parallel with this desire to save energy exists an obligation, which is the get satisfy precise quality criteria to provide lighting installations not only sufficient levels, but also the satisfaction of all those parameters that help create a comfortable and safe environment in the workplace.

L Nice and comfortable environments for users with the highest possible energy efficiency should be compatible to lighting inside buildings. A variety of studies have been shown that allow users to work with a desired lighting to carry out its task, not only increases satisfaction, if not also listed energy savings. If this can be practical to adjust the light to the personal needs of an occupant in his private office, it remains a technological challenge to implement the same strategy in open-plan offices, which comprise the majority of the spaces in the soil of the plant. The difficulty lies in the fact that people have different preferences of lighting and tolerances, and even the same person can have different lighting needs to perform different tasks.

This requirement is that the buildings have lighting facilities appropriate to the needs of your users and at the same time efficient energy.

This work intends to study the shape or shapes that are best suited within the technical field to improve the energy efficiency of lighting in large scale buildings, so have to take into account first of all the sources that we have as input of energy with low or even zero cost, the technical building code makes mandatory the use of natural light through the

INVESTIGACIÓN DE LOS FACTORES INCIDENTES EN LA EFICIENCIA ENERGÉTICA Y MANTENIBILIDAD DE LOS SISTEMAS DE ILUMINACIÓN INTERIOR DE EDIFICIOS

installation and use of control and regulation systems, allow it in those areas in which the contribution of natural light as well.

Therefore this research paper aims to provide real references that explain the relationship between energy efficiency and maintainability in the area of interior lighting of large building to different scenarios of systems used and their comparison.

RESUMEN DEL LIBRO DE INVESTIGACIÓN

INVESTIGACIÓN DE LOS FACTORES INCIDENTES EN LA EFICIENCIA ENERGÉTICA Y MANTENIBILIDAD DE LOS SISTEMAS DE ILUMINACIÓN INTERIOR DE EDIFICIOS

El consumo de energía eléctrica para las instalaciones de iluminación representa un porcentaje importante de un edificio. Los grandes edificios como puede ser de oficinas y centros comerciales representan el 19% de la energía consumida por la iluminación. Actualmente existen muchos edificios que su consumo de electricidad por iluminación es particularmente importante, incluso puede representar el 40% de su energía total, esto puede ser debido a la ausencia de información o bien por una mala gestión de mantenimiento de las instalaciones. La investigación ha demostrado que al menos el 40% de ahorro de energía potencialmente se puede generar con aplicaciones efectivas de las estrategias de gestión de iluminación. Existen en la actualidad diversas alternativas que permiten alcanzar notablemente este ahorro: estudio de aprovechamiento de luz natural, incorporación de balastos electrónicos, sustitución de fluorescentes convencionales por fluorescentes de menor consumo, sustitución de incandescentes por fluorescentes compactas, uso de leds, adecuación de los horarios y niveles de iluminación a los estrictamente necesarios, incorporación de detectores de presencia, gestión centralizada a Red, domótica, energía solar, etc.

Acorde con las características del sistema de iluminación actual del edificio, se deben analizar las medidas de ahorro energético potencialmente aplicables, la viabilidad técnico – económica de cada una de las alternativas analizadas, y el impacto ambiental asociado a la disminución en el consumo eléctrico.

Pero no debe nunca olvidarse que en paralelo con este deseo de ahorrar energía coexiste una obligación, que es la de conseguir satisfacer los criterios de calidad precisos para que las instalaciones de iluminación proporcionen no sólo los niveles suficientes, sino también la satisfacción de todos aquellos parámetros que contribuyen a crear un ambiente confortable y seguro en los lugares de trabajo.

La iluminación interior de los edificios debe hacer compatible la creación de ambientes agradables y confortables para los usuarios con la mayor eficiencia energética posible. Una variedad de estudios han puesto de manifiesto que el permitir a los usuarios trabajar con una iluminación deseada para desempeñar su tarea, no sólo aumenta la satisfacción, si no también aparece un ahorro de energía. Si se puede hacer práctico ajustar la luz a las necesidades personales de un ocupante en su oficina privada, sigue siendo un reto tecnológico para poner en práctica la misma estrategia en las oficinas de planta abierta, que comprenden la mayoría de los espacios de suelo de la planta. La dificultad radica en el hecho de que las personas tienen diferentes preferencias de iluminación y tolerancias, y

hasta la misma persona puede tener diferentes necesidades de iluminación al realizar diferentes tareas.

Esta exigencia persigue que los edificios dispongan de instalaciones de iluminación adecuadas a las necesidades de sus usuarios y a la vez eficientes energéticamente.

Con este trabajo se pretende estudiar la forma o formas que mejor se adapten dentro del campo técnico para mejorar el ahorro energético de iluminación en edificios de gran escala, para ello hemos de tener muy en cuenta en primer lugar las fuentes con las que contamos como aporte de energía con bajo o incluso cero coste, el Código Técnico de la Edificación hace obligatorio el aprovechamiento de la luz natural, mediante la instalación y utilización de sistemas de control y regulación, en aquellas zonas en las que la aportación de luz natural así lo permita.

En consecuencia este trabajo de investigación persigue proporcionar referencias reales que expliquen la relación de la eficiencia energética y la mantenibilidad en el área de iluminación interior de grandes edificio ante diferentes escenarios de sistemas utilizados y su comparación.

ÍNDICE

ÍNDICE

SUMMARY OF THE BOOK'S RESEARCH.....	5
INVESTIGATION OF THE INCIDENT ENERGY EFFICIENCY FACTORS AND MAINTAINABILITY OF THE BUILDINGS INTERIOR LIGHTING SYSTEMS.....	5
RESUMEN DEL LIBRO DE INVESTIGACIÓN	7
INVESTIGACIÓN DE LOS FACTORES INCIDENTES EN LA EFICIENCIA ENERGÉTICA Y MANTENIBILIDAD DE LOS SISTEMAS DE ILUMINACIÓN INTERIOR DE EDIFICIOS.....	7
Capítulo I. Introducción	15
1.1. Introducción.	17
1.2. Aspectos en la preparación y confección de un proyecto de iluminación.....	21
1.3. Planteamiento y principios del ahorro energético en iluminación.	25
1.4. Plan de trabajo a desarrollar y estructura de la investigación.....	30
Capítulo II. Reglamentación que afecta a las instalaciones de iluminación.....	33
2.1 Introducción.	35
2.2 SU4 Seguridad frente al riesgo derivado de la iluminación inadecuada	38
2.3. H3 Eficiencia energética en instalaciones de iluminación.	39
2.3.1 Valor de eficiencia energética de la instalación (VEEI).	40
2.3.2 Sistemas de control y regulación.....	42
2.3.3 Cálculo.	45
2.3.4 Productos de construcción.	46
2.3.5 Mantenimiento y conservación:.....	47
2.4. HE 5 Aportación fotovoltaica mínima de energía eléctrica.	48
2.4.1 Ámbito de aplicación.	48
2.4.2 Procedimiento de verificación.	49

Capítulo III. El Mantenimiento de las instalaciones de iluminación y sus consecuencias	51
3.1 Introducción.	53
3.2 Factor de mantenimiento.....	54
3.2.1 Depreciación producida por la suciedad acumulada en la luminaria.....	54
3.2.2 Depreciación producida por el flujo de las lámparas	55
3.2.3 Factores que influyen en las prestaciones técnicas del sistema de alumbrado.	56
3.3 Comprobación de las instalaciones.....	59
3.4 Reformas de distribución en el edificio.....	60
3.4.1 Cambios en la reflectancia del espacio de trabajo.	60
3.4.2 Redistribución de las luminarias por cambio de actividad.....	60
3.4.3 Diseño luminotécnico individual.	61
3.5 Deterioro por envejecimiento de las luminarias, lámparas y equipos.	62
3.6 Funcionamiento de las lámparas y equipos.	63
3.7 Programa de mantenimiento.	64
3.8 Sistemas para el servicio de mantenimiento.....	66
3.8.1 Mantenimiento correctivo.....	66
3.8.2 Mantenimiento preventivo.....	67
3.8.3 Mantenimiento predictivo.....	68
3.8.4 Mantenimiento proactivo.....	69
Capítulo IV. Sistemas de eficiencia energética aplicados a la iluminación.	71
4.1 Introducción.	73
4.2 Factores de sistema de control.....	75
4.2.1 Aporte de luz natural.....	75
4.2.2 Economía de costes.....	75
4.2.3 Bienestar de las personas.	76
4.3 Estrategias de control.	77
4.3.1 Principios de control.....	77
4.3.2 Nivel de control.....	78

4.4 Sistemas de control para alumbrado artificial que responden a la luz natural.....	79
4.4.1 Principios de modularidad.....	79
4.5 Sistemas de control en iluminación artificial.....	82
4.5.1 Detectores en sistema bucle cerrado.....	82
4.5.2 Detectores en sistema bucle abierto.....	82
4.6 Instalación de luminarias con detectores integrados.....	84
4.7 Instalaciones de sistemas basados en la sala o habitaciones.....	86
4.8 Instalación de sistemas basados en el edificio.....	87
4.9 Conocimiento del sistema.....	89
Capítulo V. Estudio caso de aplicación.....	91
5.1 Introducción.....	93
5.2 Estudio de Aplicación.....	95
5.2.1 Estudio de acciones de eficiencia energética.....	96
5.2.2 Estudio de fiabilidad.....	97
5.3 Datos necesarios para el estudio.....	98
5.4 Metodología del estudio.....	99
5.5 Procedimiento del estudio.....	101
5.5.1 Elementos básicos de un sistema de alumbrado.....	101
5.5.2 Medidas adoptadas para el estudio.....	102
5.6 Estudio iluminación actual.....	107
5.7 Estudios propuestos de iluminación.....	113
5.8 Estudio iluminación con tubo T5.....	116
5.8.1 Estudio tubo T5 sin regulación y sin detector de presencia.....	116
5.8.2 Estudio tubo T5 con regulación y sin detector de presencia.....	120
5.8.3 Estudio tubo T5 con regulación y con detector de presencia.....	124
5.8.4 Resumen de la iluminación con tubo T5.....	128
5.9 Estudio iluminación con tubo tipo T8.....	132
5.9.1 Estudio tubo T8 sin regulación y sin detector de presencia.....	132

INVESTIGACIÓN DE LOS FACTORES INCIDENTES EN LA EFICIENCIA ENERGÉTICA Y MANTENIBILIDAD DE LOS SISTEMAS DE ILUMINACIÓN INTERIOR DE EDIFICIOS

5.9.2 Estudio tubo T8 con regulación y sin detector de presencia.	136
5.9.3 Estudio tubo T8 con regulación y con detector de presencia.	141
5.9.4 Resumen de la iluminación con tubo T8.....	145
5.10 Estudio iluminación con tubo tipo leds.....	149
5.10.1 Estudio tubo tipo LEDS sin detector de presencia.....	149
5.10.2 Estudio tubo tipo LEDS con detector de presencia.....	153
5.10.3 Resumen de la iluminación con tubo tipo LEDS.	157
Capítulo VI. Resultados y conclusiones.....	161
6.1 Introducción.	163
6.2 Gráficas resumen sin regulación y sin detector.	163
6.3 Gráficas resumen con regulación y sin detector.....	167
6.4 Gráficas resumen con regulación y con detector.	170
6.5 Conclusión.	175
Referencias Bibliográficas.....	183
Bibliografía.	185

Capítulo I. Introducción

1.1. Introducción.

En el ámbito de la Unión Europea, el Parlamento y el Consejo redactaron y publicaron en el año 2002 la Directiva 2002/91/CE relativa a la Eficiencia Energética de los Edificios, de aplicación obligatoria en los países miembros (entre los cuales se encuentra España), una vez transcurrido el período transitorio de adecuación correspondiente.

Esta Directiva impulsa la consecución de la mayor eficiencia energética posible en todas y cada una de las instalaciones que concurren en un edificio, entre las cuales se encuentra la iluminación. Tal y como se indica en sus capítulos, se trata de reducir los consumos excesivos de energía hasta en un 20%, no obstante las estrategias de iluminación natural se han estudiado y propuesto con el fin de reducir la demanda de energía de iluminación artificial entre un 20-40% (Yun, et al, 2012; Doulos et al 2008; Yun et al 2010; Reinhart, 2004; Reinhart et al, 2003), obligando a la adopción de medidas de ahorro y recuperación energética y se aconseja la sustitución de ciertas fuentes de energía escasas y contaminantes por otras renovables y menos agresivas con el medio ambiente.

Inmersos en el cumplimiento de dicha Directiva, en nuestro país se están desarrollando múltiples esfuerzos enfocados a la consecución de dicha mejora energética en las instalaciones de alumbrado, constituyendo de este modo una seria y responsable respuesta a las peticiones que surgen de todos los ámbitos de la Sociedad.

El consumo eléctrico en iluminación representa un porcentaje importante del consumo eléctrico de un edificio (Atif et al, 2003). Los grandes edificios como puede ser de oficinas y centros comerciales representan el 19% de la energía consumida por la iluminación (International Energy Agency, et al, 2006). Actualmente existen muchos edificios que su consumo de electricidad por iluminación es particularmente importante, incluso puede representar el 40% de su energía total, esto puede ser debido a la ausencia de información o bien por una mala gestión de mantenimiento de las instalaciones. La investigación ha demostrado que al menos el 40% de ahorro de energía potencialmente se puede generar con aplicaciones efectivas de las estrategias de gestión de iluminación (F. Rubinstein, et al, 1999; B. Roisin, et al, 2008). Existen en la actualidad diversas alternativas que permiten alcanzar notablemente este ahorro: estudio de aprovechamiento de luz natural (Young et al, 2012), incorporación de balastos electrónicos, sustitución de fluorescentes convencionales por fluorescentes de menor consumo, sustitución de incandescentes por fluorescentes compactas, uso de leds, adecuación de los horarios y niveles de iluminación a los estrictamente necesarios, incorporación de detectores de presencia, gestión centralizada a Red, domótica, energía solar, etc.

Acorde con las características del sistema de iluminación actual del edificio, se deben analizar las medidas de ahorro energético potencialmente aplicables, la viabilidad técnico – económica de cada una de las alternativas analizadas, y el impacto ambiental asociado a la disminución en el consumo eléctrico (Cárcel, 2014d, 2014e).

Pero no debe nunca olvidarse que en paralelo con este deseo de ahorrar energía (Cárcel, 2015), coexiste una obligación, que es la de conseguir satisfacer los criterios de calidad precisos para que las instalaciones de iluminación proporcionen no sólo los niveles

suficientes, sino también la satisfacción de todos aquellos parámetros que contribuyen a crear un ambiente confortable y seguro en los lugares de trabajo.

La iluminación interior de los edificios debe hacer compatible la creación de ambientes agradables y confortables para los usuarios con la mayor eficiencia energética posible (Cona, 2005). Una variedad de estudios (Newsham, et al, 1998) han puesto de manifiesto que el permitir a los usuarios trabajar con una iluminación deseada para desempeñar su tarea, no sólo aumenta la satisfacción, si no también aparece un ahorro de energía. Si se puede hacer práctico ajustar la luz a las necesidades personales de un ocupante en su oficina privada, sigue siendo un reto tecnológico para poner en práctica la misma estrategia en las oficinas de planta abierta, que comprenden la mayoría de los espacios de suelo de la planta. La dificultad radica en el hecho de que las personas tienen diferentes preferencias de iluminación y tolerancias (Tregenza, et al, 1974; Lindelof, et al, 2006), y hasta la misma persona puede tener diferentes necesidades de iluminación al realizar diferentes tareas.

Esta exigencia persigue que los edificios dispongan de instalaciones de iluminación adecuadas a las necesidades de sus usuarios y a la vez eficientes energéticamente.

Para ello, se introduce en las instalaciones de iluminación la obligación de cumplir con un valor mínimo de eficiencia energética, así como la de incorporar sistemas de control que permitan ajustar el encendido de la instalación a la ocupación real de cada zona, y de sistemas de regulación que optimicen el aprovechamiento de la luz natural. Por último, esta exigencia establece la obligación de elaborar planes de mantenimiento preventivo que asegure en el tiempo el rendimiento de estas instalaciones, y que afecta en diversos aspectos al rendimiento final de las instalaciones, y muchas veces poco tenido en cuenta (Cárcel et al, 2013; Cárcel, 2010; AEM, 2010; AFIM, 2007; Bottini, 2010; Conde 1999).

Sin entrar en normas UNE sobre confiabilidad, equipos, fiabilidad, etc., que afectan directamente a la funcionalidad de las técnicas de mantenimiento, las normas generales que inciden sobre mantenimiento se podrían indicar las UNE-EN 13306, UNE-EN 13460, UNE-EN 15341, UNE-EN 200001-3-11, UNE-EN 20464, UNE-EN 60706-2:

- *UNE-EN 13306 (2010). Terminología de mantenimiento:* Define los términos y datos e información necesarios en todas las actividades de mantenimiento, homogenizando los términos normalmente usados en esta actividad.
- *UNE-EN 13460 (2009). Documentos para el mantenimiento:* Marca el flujo de información adecuado entre los diferentes puntos de su organización interna y con el resto de las unidades funcionales y de organización del negocio, para cubrir sus objetivos alcanzando un desempeño aceptable.
- *UNE-EN 15341 (2007). Indicadores clave de rendimiento del mantenimiento:* Relación de información y datos necesarios para gestionar los Indicadores Clave destinados a medir el rendimiento del mantenimiento en el marco de los factores que influyen en el mismo, tales como los aspectos económicos, técnicos y organizativos, con objeto de evaluar y mejorar la eficiencia y la eficacia para conseguir la excelencia en el mantenimiento de los Activos Técnicos.

- *UNE-EN 200001-3-11(2003). Mantenimiento centrado en la confiabilidad:* Muestra el camino para la identificación de información, datos y los requisitos aplicables y eficaces de mantenimiento preventivo que deben cumplir los equipos y las estructuras teniendo en cuenta las consecuencias operativas, económicas y sobre la seguridad que se puedan derivar de los fallos identificables y de los mecanismos de degradación causantes de los mencionados fallos. El resultado final obtenido con la aplicación del árbol lógico de decisión es un criterio sobre la conveniencia de realizar alguna tarea de mantenimiento, que se puede transformar en conocimiento generado y utilizable en toda la organización.
- *UNE-EN 20464 (2002): Planificación del mantenimiento y de la logística de mantenimiento:* Describe la información necesaria para realizar las tareas exigidas para la planificación del mantenimiento y de la logística de mantenimiento. Deben realizarse durante la fase de adquisición del sistema para cumplir con los objetivos de disponibilidad de la fase operativa. También se describen las interfaces entre fiabilidad, mantenibilidad, y programa de planificación de la logística de mantenimiento, así como sus tareas asociadas. Todo lo relativo a mantenimiento demuestra por estudios realizados que afecta colateralmente a otros aspectos como son la fiabilidad y la eficiencia energética (Cárcel, 2014a, 2014b, 2014c)
- *UNE-EN 60706-2 (2006): Requisitos y estudios de mantenibilidad durante la fase de diseño y desarrollo:* Datos, información necesarios para la realización de una guía sobre cómo puede incorporarse la mantenibilidad en las especificaciones y contratos y cómo debería considerarse la mantenibilidad como parte del proceso de diseño, que sin duda potenciaran el conocimiento general de operación de equipos e instalaciones en su proceso de utilización y explotación.

Afortunadamente en septiembre de 2002 se aceptó la redacción por parte de la Comisión de Normalización Europea de la norma UNE 12464-1 relativa a “Iluminación de los lugares de trabajo en interior”, por lo que a finales de mayo de 2003 han tenido que ser retiradas todas aquellas normas nacionales que pudieran entrar en conflicto con la nueva norma.

Esta nueva norma, a la que debe acudir en el origen de todos los proyectos de iluminación para lugares de trabajo en interiores recomienda el cumplimiento no solo cuantitativo, sino cualitativo de dos aspectos de la tarea visual que se resumen brevemente:

- Confort visual
- Rendimiento de colores

Dentro del confort visual estarán englobados parámetros tales como la relación de luminancias entre tarea y entorno, o el control estricto del deslumbramiento producido por las fuentes de luz, o incluso el modo de evitar deslumbramientos reflejados en las pantallas de ordenadores.

En un aspecto más materialista se describe de modo muy detenido la importancia de la utilización de factores de mantenimiento correctos a emplear en las instalaciones de

alumbrado, teniendo en cuenta las pérdidas propias de envejecimiento de los componentes o el ensuciamiento de sus superficies ópticas.

Pero lo que de verdad introduce una novedad notable, por lo que significa de mejora para el usuario de las instalaciones, es el aspecto relativo al rendimiento de colores.

Como todo el mundo probablemente conoce existen una serie de fuentes de luz, masivamente empleadas en la iluminación de interiores, por razones exclusivamente crematísticas que no cumplen con unos índices mínimos de reproducción cromática, y lo que esta norma plantea es la prohibición de dichas fuentes de luz en iluminaciones de tareas visuales.

Así, por ejemplo, se exige un $R_a > 80$ en la conocida escala de 0 a 100 para iluminar cualquier tarea visual en salas o recintos en los que la ocupación sea de gran duración o permanente, y no ocasional como podría suceder en corredores o pasillos.

Estas prescripciones recogidas convenientemente en esta nueva Norma contribuirán a diseñar y ejecutar instalaciones de iluminación en interiores mucho más “humanas” y protectoras de la calidad de vida y condiciones de trabajo en el quehacer cotidiano.

Cabe pensar que hay que felicitarse porque la Comisión Europea de Normalización y los países de la Unión Europea hayan refrendado los deseos de los usuarios de las instalaciones satisfaciendo sus ya antiguas reivindicaciones en cuanto al tratamiento de los colores y del confort visual además de la seguridad.

1.2. Aspectos en la preparación y confección de un proyecto de iluminación.

Un sistema de iluminación eficiente es aquel que, además de satisfacer necesidades visuales, crea también ambientes saludables, seguros y confortables, a su vez posibilita a los usuarios disfrutar de atmosferas agradables, emplea apropiadamente los recursos tecnológicos (fuentes luminosas, luminarias, sistemas ópticos, equipos de control, etc.), hace un uso racional de la energía para contribuir a minimizar el impacto ecológico y ambiental; todo esto por supuesto, dentro de un marco de costos razonable, que no solamente debe incluir la inversiones iniciales sino también los gastos de explotación y mantenimiento.

No es fácil establecer un procedimiento sistemático para diseñar un sistema de iluminación ya que cualquier proyecto puede tener diferentes puntos de abordaje. No obstante, es recomendable seguir el proceso que se emplea en otros campos del diseño y que se indica a continuación y en la figura 1.1

En primer lugar tendríamos el análisis del proyecto, en la actualidad todavía existen muchos edificios sin reformar en cuanto a iluminación, por lo que este análisis es aplicable a estos edificios y a los nuevos a construir, para que el proyecto en cuestión sea un verdadero éxito la identificación tiene que ser claras y precisas, es decir hay que agrupar datos que nos permitan determinar tres demandas que son las, visuales, emocionales y estéticas, de iluminación y así establecer los alcances y limitaciones de trabajo, las dos primeras demandas varían en función a las personas por razones de edad, aptitud, condiciones de visión, etc. Por lo que esto hay que tenerlo en cuenta en el análisis.

- a) Las demandas visuales son una consecuencia de la realización de actividades y para determinarlas se debe evaluar la dificultad de las tareas en función de sus características y condiciones de realización.
- b) Las demandas emocionales surgen por la influencia que la luz ejerce sobre el estado de ánimo, motivación, sensación de bienestar y seguridad de las personas.
- c) Las demandas estéticas buscan la posibilidad de crear un ambiente visual, es decir destacar con la iluminación posibles puntos de arquitectura en el edificio, ornamentación, obras de arte, etc. Para conseguir esto hay que tener muy en cuenta las características físicas y arquitectónicas así como el entorno y el espacio.

No obstante previamente a estas demandas hay que consultar la tabla de parámetros de iluminación recomendables, la cual nos define la iluminancia media horizontal en lux recomendada en función a la actividad que se vaya a desarrollar.

A veces los alcances y limitaciones son complicados de cumplir, sobre todo por el coste económico que supone las instalaciones al cumplir todo lo anteriormente indicado, por lo tanto no solo hay que tener en cuenta el costo de la instalación sino también el de funcionamiento. Esto suele ocurrir cuando se pretende ejecutar la instalación con el presupuesto de origen, esto puede incidir a la corrección del proyecto y por consiguiente restringir seriamente los objetivos o bien diseñar instalaciones donde los costos no

previstos de consumo energético y mantenimiento hagan que su uso sea demasiados costos económicamente.

Los datos necesarios para la confección del proyecto los debe aportar el propietario del edificio, en caso de ser un edificio existente se deberá hacer una visita para visualizar el estado del edificio y completar datos técnicos.

La *planificación básica*, consiste en desarrollar las ideas básicas del diseño en función a las distintos tipos de trabajo que se planteen sin llegar a precisar todavía ningún aspecto específico, un ejemplo sería la selección de las luminarias, en la planificación básica se definen los siguientes puntos:

- Elección del sistema de alumbrado, es decir el tipo de luminaria con características y tipo adecuado para la función que vaya a desempeñar en el lugar determinado, en este punto es interesante la disposición de estas, ya que es muy importante por el ahorro energético y efectos visuales.
- Elección de las fuentes luminosas, este punto recoge el tipo de lámpara a instalar en la luminaria, que dependerá de los cálculos realizados en el proyecto.
- Aporte de luz natural, como se comenta en puntos anteriores la luz natural es una excelente alternativa para optimizar el consumo de energía con respecto a la iluminación, es importante tener en cuenta que cuando la disponibilidad de luz natural no sea suficiente para la realización de trabajos, hay un gran porcentaje de personas que prefieren trabajar con luz natural o al menos tener en sus hábitats la apariencia de la iluminación diurna. Por lo tanto es imprescindible estudiar la disponibilidad de la luz natural en el interior del edificio.

El *diseño detallado* en este punto y en función a lo definido en la planificación básica se empieza a resolver los puntos específicos del diseño del proyecto los cuales son los siguientes:

- Selección de luminarias, en este punto ya se decide con más exactitud el tipo de luminaria a instalar, es decir se calcula y se estudia los siguientes puntos de la misma:
 - Características fotométricas de la luminaria.
 - Rendimiento luminoso.
 - Curva de distribución luminosa.

Una vez seleccionada la luminaria y sabiendo las características de la misma se procede al cálculo de iluminación donde se estudian los siguientes puntos:

- Método del factor de utilización.
- Método de Potencia específica.
- Método de cálculo de iluminación puntual.
- Cálculo del componente directo.
- Cálculo de la componente directa.

No obstante se debe tener en cuenta el lugar de su ocupación en función a las necesidades que correspondan.

- El diseño geométrico y sistema de montaje, este punto es el encargado de que una vez calculado el número de luminarias a instalar, se procede a la distribución de estas, en función a las características del local.
- Sistemas de alimentación, también llamado suministro eléctrico a la luminarias, este punto es muy importante con relación a la eficiencia energética, ya que dependiendo de la tensión a la que estas luminarias se sometan y la variabilidad de la misma, si existen lámparas de descarga se puede tener verdaderos problemas en su encendido o incluso en la estabilidad del funcionamiento, por otro lado excesivo cuidado con la onda de tensión eléctrica es decir la generación de armónicos que se producen en las líneas debido a la aparición de equipos auxiliares y sistemas electrónicos de control y regulación del alumbrado.
- Comando y control eléctricos, se refiere al sistema de puesta en funcionamiento de la iluminación del edificio, estos sistemas de control pueden ser manuales o automáticos, este apartado es también un punto clave para el ahorro energético, evidentemente dependiendo el tipo de comando y control que se pretenda utilizar.
- Análisis económico-financiero, aquí se justifica el costo de la instalación, la viabilidad de la misma, y el periodo de amortización.
- Memoria descriptiva, planos, etc.

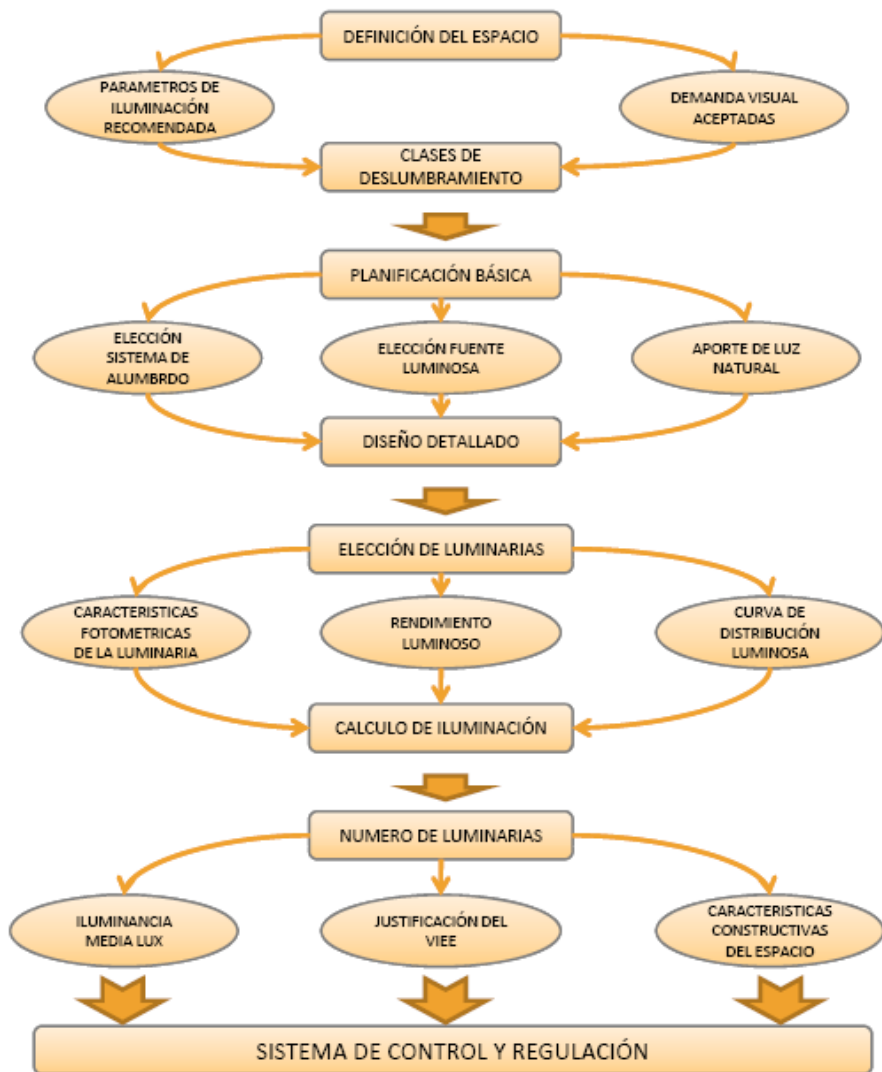


Figura 1.1: Procedimiento guía para la realización de un proyecto de iluminación. Fuente: elaboración propia.

1.3. Planteamiento y principios del ahorro energético en iluminación.

Dada la situación actual en nuestro país, el planteamiento que nos hacemos es el reducir al máximo el coste energético de nuestros edificios, en el caso que nos ocupa se pretende hacer un estudio para conseguir una eficiencia energética elevada y por consiguiente bajar el coste económico que la iluminación supone en un edificio de gran envergadura.

Como se comenta en apartados anteriores, la iluminación es uno de los mayores consumidores de energía en los edificios (Nicol, et al, 2006 35). En este contexto, la iluminación natural juega un gran papel para reducir la demanda de la iluminación artificial (Mardaljevic, et al, 2009; Yun, et al, 2009 -37). Sistemas de control en relación a la luz del día pueden salvar las demandas de energía de iluminación en un 20-40% (Yun, et al, 2010). El comportamiento del ocupante es un factor crucial para determinar el consumo de energía de iluminación en edificios. Lindelof y Morel investigaron los patrones de conmutación de luces durante las horas de trabajo y se mostro que la iluminación natural que producía la luz del día podría ser suficiente para proporcionar una iluminación adecuada. En base a estudios previos, este trabajo tiene como objetivo revelar los patrones de ocupación, los patrones actuales que utilizan la iluminación y sus efectos sobre la demanda de energía de iluminación. Los resultados de un estudio de campo, realizado entre febrero y junio de 2010, se presentan. El documento describe los perfiles por hora de los patrones de uso de iluminación de más de 24 h del día y analiza los potenciales de iluminación de ahorro de energía mediante el aprovechamiento de la luz natural.

Después de visitas y estudios en diferentes edificios donde todavía no disponen de información técnica para la posible renovación a nivel de iluminación, se demuestra que mucho personal no es consciente del gasto económico que les supone mantener el actual sistema de iluminación, e incluso son reacios a realizar una inversión económica en sus instalaciones para conseguir una eficiencia energética y así deducirle el gasto económico de energía eléctrica. Esto puede ser evidente ya que como se comenta anteriormente la situación económica actual no facilita a la empresa poder realizar estos trabajos a su cien por cien, no obstante se debería realizar un estudio económico y justificar si es viable esta ejecución con los términos de costo de la instalación, el ahorro económico de la factura de la compañía eléctrica y el periodo de amortización. Por otro lado se han detectado una serie de puntos (figura 1.2) que generan una gran pérdida de energía en el edificio, siendo estos los siguientes:

- Personal teórico de mantenimiento, sin ninguna preparación técnica, incluso en momentos puntuales intervienen empresas externas que evidentemente no son conecedoras de las instalaciones existentes.
- Cambio de lámparas en las luminarias actuales de diferentes potencias a las existentes, incluso potencias superiores a las que la luminaria podría soportar.
- Distribución de luminarias no adecuada a las necesidades que requieres para dar el nivel luminotécnico aceptable.

- Luminarias en funcionamiento donde no se ejerce ninguna actividad e incluso donde no hay personal.
- Altas temperatura en los conductores y disyuntores de protección de los cuadros eléctricos correspondientes, muy probablemente la causa de este calentamiento puede ser la existencia de armónicos en las líneas de alimentación, esto puede conllevar a que estos conductores pierdan la resistencia de aislamiento y provocar un cortocircuito, además puesto que son edificios de pública concurrencia están obligados a la revisión técnica por parte de una O.C.A. (Organismo de Control Autorizado), y esta puede emitir un informe desfavorable, lo cual supondría un gasto económico para la sustitución de esas líneas que no cumplen con la normativa.
- Luminarias desfasadas por el tiempo, donde los equipos pueden alterar el consumo de energía reactiva.
- El comportamiento del personal que se encuentra trabajando en estos edificios es importantísimo, cambiando los hábitos podemos utilizar la energía de una forma más eficiente. Una de las tareas más importantes de cualquier Estrategia de Gestión Energética es informar y educar a las personas con el objetivo de cambiar sus hábitos y evitar derroches de energía innecesarios. Así como el número de personas y de horas en que un edificio está ocupado es un factor determinante en la demanda de energía.



Figura 1.2: Factores que intervienen en una mala gestión de eficiencia energética. **Fuente:** elaboración propia.

En la mayoría de edificios destinados a oficinas, hospitales, hoteles, etc., nos encontramos una serie de zonas como puede ser puestos de trabajo, salas de espera, de reunión donde

aparece una sobre iluminación en muchos puntos de este, esto se debe a que las luminarias se encuentran en funcionamiento al cien por cien, la mayor parte de luminarias podrían estar apagadas o bien con un rendimiento inferior, ya que puede ser un día perfectamente despejado y con un gran aporte de luz natural, esto no influiría a la cantidad de lúmenes que estén previstos en ese punto.



Figura 1.3: Hagley Rd. 138 Fachada principal. **Fuente:** (Miguel Falomir 3d).

Como se puede observar en el edificio (figura 1.3), las luminarias separadas de la cristallera así como las más cercanas a ella, están totalmente en funcionamiento, lo cual quiere decir que no se está teniendo en cuenta bajo ningún concepto, el sistema de ahorro energético en iluminación en cuanto al aprovechamiento del aporte de luz natural, este edificio en las condiciones que adquiere en cuanto a su orientación, probablemente en las dos plantas superiores, un gran número de luminarias podrían estar en reposo, es decir sin funcionamiento o bien trabajando a un bajo porcentaje de su potencia nominal, por lo que esto supone un gran derroche a nivel económico.

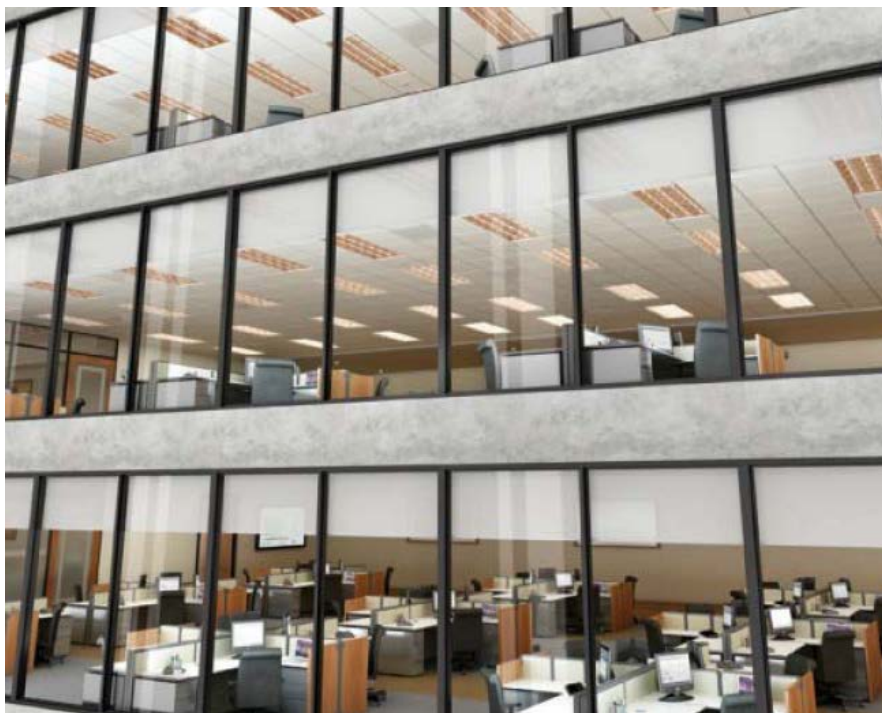


Figura 1.4: Fachada con cristalera de un edificio de oficinas **Fuente**
(www.plataformaarquitectura/lutron-sistema)

No ocurre lo mismo en este edificio (figura 1.4), las luminarias más cercanas a la cristalera están totalmente fuera de funcionamiento, mientras que a medida que se alejan de ella, si que están en funcionamiento y reguladas en función al nivel luminotécnico solar que existe en esos puntos concretos, con este tipo de regulación, y como no el aporte de luz natural, si que se está realizando un importante ahorro energético, cabe pensar que la cristalera de esta fachada estará preparada o bien cumplirán el coeficiente de transmisión térmica que marca el código técnico, de lo contrario en cuanto a iluminación nos podemos ver favorecidos pero en climatización podemos tener pérdidas, sobre todo en épocas de calor.

La correcta distribución de luminarias nos da un resultado perfecto en cuanto a la homogénea y muy confortable iluminación si es de noche o bien están situadas en zona interiores donde no existe aporte de luz natural, pero hay que tener presente que de día cuando tenemos el extra de iluminación natural, hace que los niveles de iluminación fluctúen considerablemente entre unas zonas y otras, lo que produce sombras, deslumbramientos, reflejos, etc.

Como hemos indicado en los apartados anteriores uno de los objetivos importantísimo y prioritario para los sistemas de control de iluminación es el de al aporte de luz natural y a su vez la regulación de las luminarias afectadas en función a la cantidad de aporte, así como la gobernación de los sistemas de oscurecimiento automáticos instalados, como pueden ser los estores y persianas motorizadas.

El ajuste de la iluminación en cada zona predefinida, este ajuste se puede realizar por presencia de personal, o bien por horario de trabajo, o bien por actuación manual. En cada momento la actividad realizada, optimizando su funcionamiento al máximo.

El uso de sistemas de control de iluminación es muy importante para alargar la vida útil de la lámpara y sus equipos utilizados, ya que al estar regulada puede multiplicar por dos o tres sus horas de funcionamiento y será, en resumen, una luminaria más eficiente, económica y ecológica.

Los beneficios económicos de un sistema de control de iluminación son numerosos, pero quizá lo más importante, es que los usuarios finales del sistema van a disfrutar de mejores condiciones ambiente en su puesto de trabajo, con niveles de luminosidad constantes, evitando problemas de deslumbramiento y fatiga visual.

Por otro lado y muy importante resulta el mantenimiento al que está sometida las instalaciones eléctricas y de iluminación del edificio, una mala gestión de mantenimiento puede ser una gran pérdida de energía y a su vez económica, no solo por el gasto energético sino también por las posibles intervenciones en las instalaciones a causa de averías que se podían haber evitado si se hubiera llevado un seguimiento continuo en ellas.

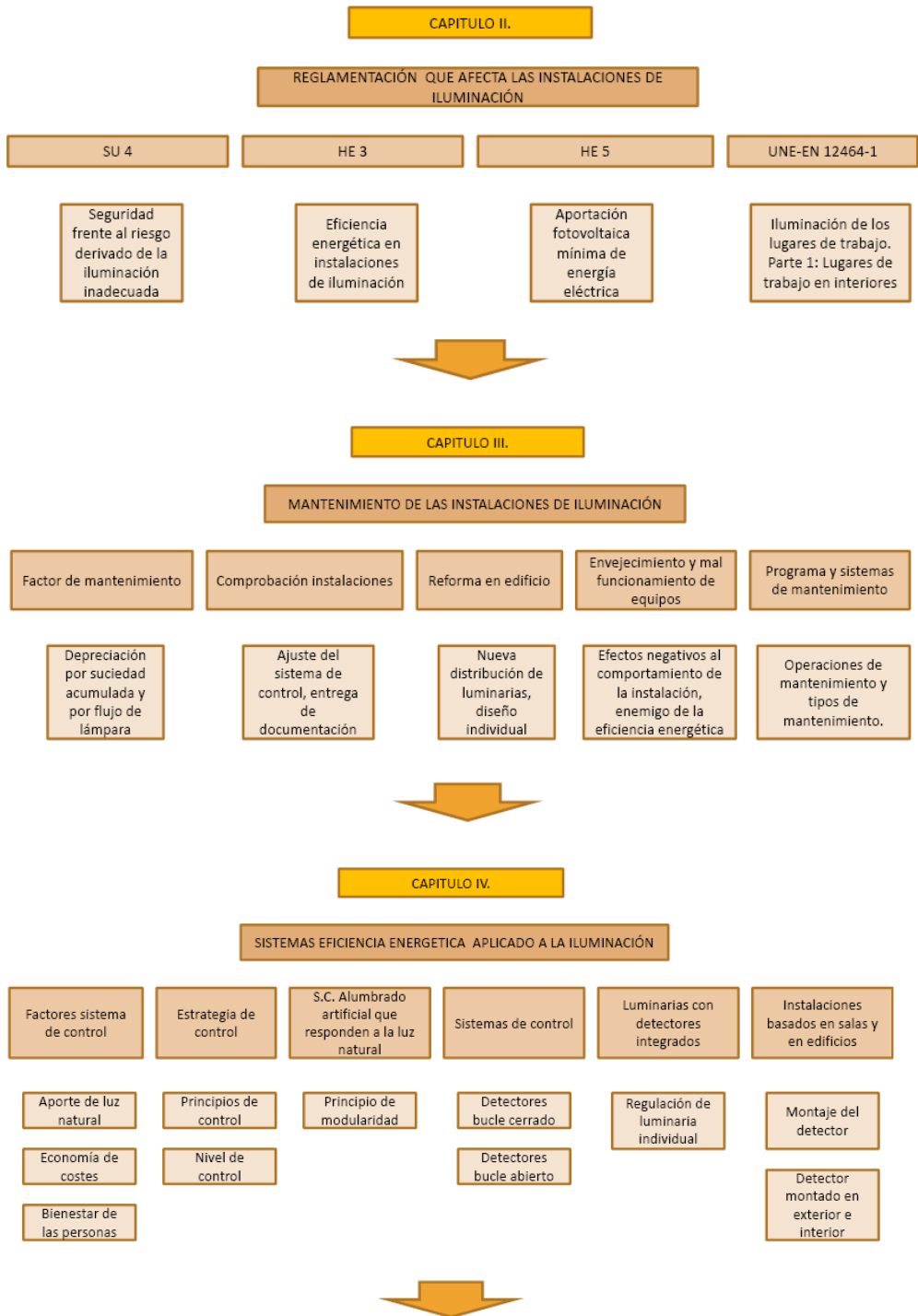
1.4. Plan de trabajo a desarrollar y estructura de la investigación.

Con este trabajo de investigación se pretende estudiar la forma o formas que mejor se adapten dentro del campo técnico para mejorar el ahorro energético de iluminación en edificios de gran escala, para ello hemos de tener muy en cuenta en primer lugar las fuentes con las que contamos como aporte de energía con bajo o incluso cero coste, el Código Técnico de la Edificación hace obligatorio el aprovechamiento de la luz natural, mediante la instalación y utilización de sistemas de control y regulación, en aquellas zonas en las que la aportación de luz natural así lo permita.

En la figura 1.5, se especifica la estructura a desarrollar en este libro de investigación, cuenta con el capítulo I donde se comenta el planteamiento del estudio, capítulo II reglamentación que afecta las instalaciones de iluminación, capítulo III mantenimiento de las instalaciones de iluminación, capítulo IV sistemas de eficiencia energética aplicadas a la iluminación, capítulo V estudio caso de aplicación, donde el estudio se realiza en el Colegio Los Dominicos de Valencia, y por último el capítulo VI donde hace referencia a los resultados y conclusiones.



INVESTIGACIÓN DE LOS FACTORES INCIDENTES EN LA EFICIENCIA ENERGÉTICA Y MANTENIBILIDAD DE LOS SISTEMAS DE ILUMINACIÓN INTERIOR DE EDIFICIOS



INVESTIGACIÓN DE LOS FACTORES INCIDENTES EN LA EFICIENCIA ENERGÉTICA Y MANTENIBILIDAD DE LOS SISTEMAS DE ILUMINACIÓN INTERIOR DE EDIFICIOS

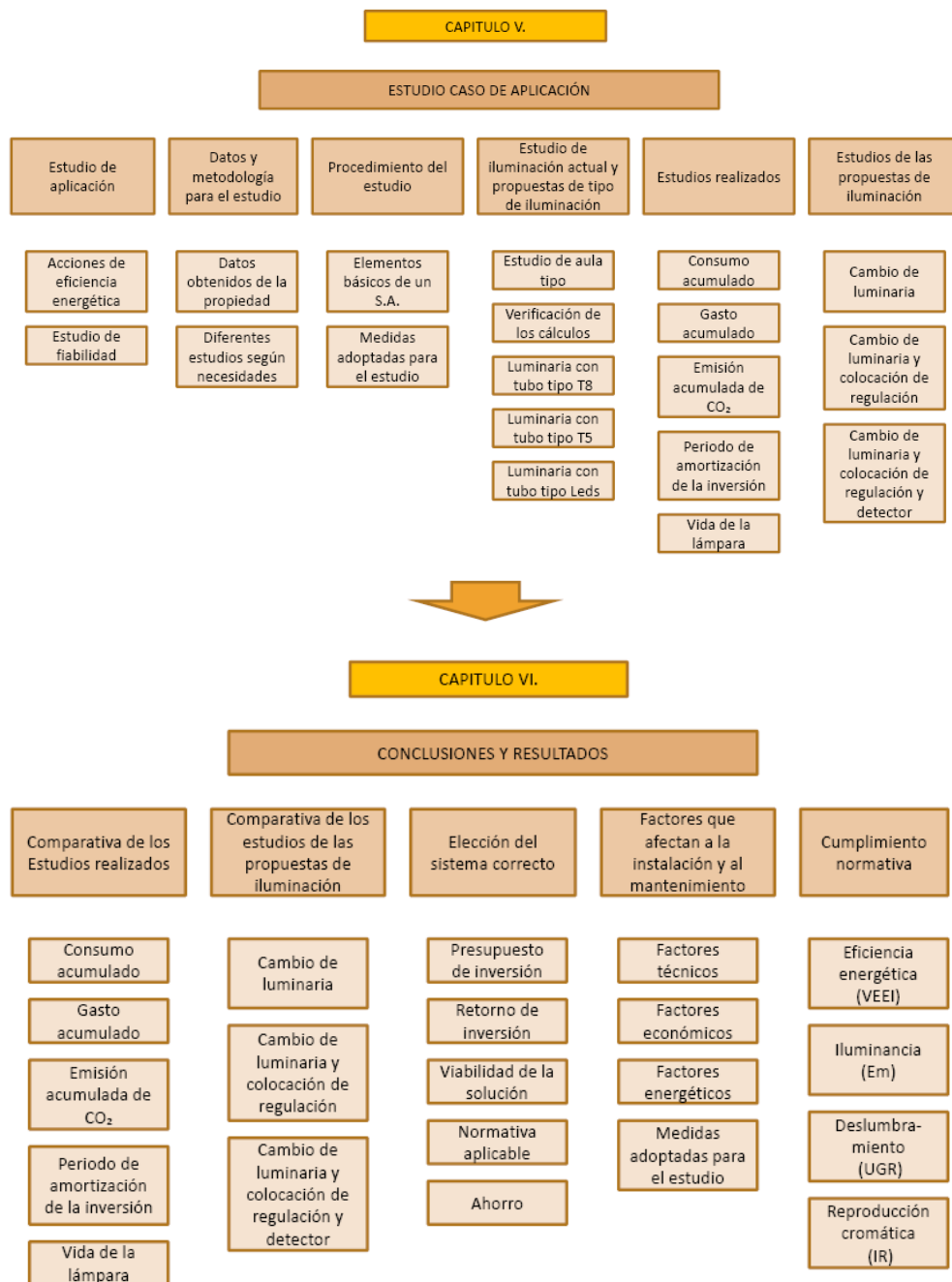


Figura 1.5: Estructura del plan de trabajo a desarrollar. **Fuente:** Elaboración propia

Capítulo II. Reglamentación que afecta a las instalaciones de iluminación.

2.1 Introducción.

El Consejo de Ministros mediante el Real Decreto 314/2006, del 17 de Marzo de 2006, aprueba el Código Técnico de la Edificación (CTE), marco normativo que establece las exigencias básicas de calidad, seguridad y habitabilidad de los edificios y sus instalaciones.

El auge de la construcción en los últimos años y en décadas anteriores no siempre ha alcanzado unos parámetros de calidad adaptados a las nuevas demandas. El punto de inflexión que significó la firma del Protocolo de Kyoto en 1999 y los compromisos más exigentes de la Unión Europea con respecto a las emisiones de CO₂, marcan el desarrollo de una serie de normativas que salen ahora a la luz y que cambiarán los parámetros básicos de construcción.

El CTE se aprueba con los objetivos de mejorar la calidad de la edificación y de promover la innovación y la sostenibilidad. Aumentando la calidad básica de la construcción según se recogía en la Ley 38/1999 de Ordenación de la Edificación (LOE). Además, se han incorporado criterios de eficiencia energética para cumplir las exigencias derivadas de la Directiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre, relativa a la eficiencia energética de edificios.

A través de esta normativa se da satisfacción a ciertos requisitos básicos de la edificación relacionados con la seguridad y el bienestar de las personas, que se refieren tanto a la seguridad estructural y de protección contra incendios, como a la salubridad, la protección contra el ruido, el ahorro energético o la accesibilidad a las personas con movilidad reducida.

Esta nueva norma regulará la construcción de todos los edificios nuevos y la rehabilitación de los existentes, tanto los destinados a viviendas como los de uso comercial, docente, sanitario, deportivo, industrial o sociocultural.

La estructura del Código se ha ordenado en torno a dos partes:

Primera parte: Define el objeto, ámbito de aplicación, contenido y los llamados “Documentos Reconocidos”. Se entienden por “Documentos Reconocidos” aquellos documentos técnicos, de carácter no reglamentario, que cuenten con el reconocimiento del Ministerio de la Vivienda y cuya finalidad es la ayuda para cumplir las exigencias de los “Documentos Básicos”.

Segunda parte: Está formada por una serie de “Documentos Básicos” (DB) en donde se recogen las exigencias mínimas básicas cuantitativas y cualitativas que deben cumplir los edificios. Dichos niveles o valores límite serán de obligado cumplimiento cuando así lo establezcan los DB correspondientes. También forman parte de estos DB algunos procedimientos cuya utilización acredita el cumplimiento de dichas exigencias.

Se regulan las exigencias básicas para:

- seguridad estructural (SE)
- seguridad en caso de incendio (SI)
- seguridad de utilización (SU)
- salubridad: “higiene, salud y protección del medio ambiente” (HS)

- ahorro de energía (HE)

Esta nueva legislación afecta a la iluminación de edificios en varios aspectos que se recogen en las siguientes secciones del Código:

- SU 4 – Seguridad frente al riesgo derivado de iluminación inadecuada: se limitará el riesgo de daños a las personas como consecuencia de una iluminación inadecuada en zonas de circulación de los edificios, tanto interiores como exteriores, incluso en caso de emergencia o de fallo del alumbrado normal.
- HE 3 – Eficiencia energética en instalaciones de iluminación: los edificios dispondrán de instalaciones de iluminación adecuadas a las necesidades de sus usuarios y a la vez eficaces energéticamente disponiendo de un sistema de control que permita ajustar el encendido a la ocupación real de la zona, así como de un sistema de regulación que optimice el aprovechamiento de la luz natural.

Se consideran las exigencias mínimas a cumplir lo dispuesto en las siguientes normativas:

- UNE 12464-1 de iluminación de los lugares de trabajo en interiores (Véase: Otras Normas relacionadas con el alumbrado: Nuevo marco jurídico de la iluminación en España y Europa)
- Guía técnica para la evaluación y prevención de riesgos laborales
- UNE 12193: Iluminación de instalaciones deportivas (Véase: Otras Normas relacionadas con el alumbrado: Nuevo marco jurídico de la iluminación en España y Europa)
- HE 5 – Aportación fotovoltaica mínima de energía eléctrica: prevé que en aquellos edificios donde no se pueda instalar un sistema de captación de energía solar por procedimientos fotovoltaicos, se debe proveer al edificio de un modo alternativo de ahorro eléctrico equivalente a la potencia fotovoltaica que se debería instalar. Entre los modos indicados en el CTE la gestión del alumbrado se considera como una forma para conseguirlo.

El CTE entró en vigor al día siguiente de su publicación en el BOE nº 74 con fecha 28 de marzo de 2006. En lo que respecta a los DB sobre Seguridad contra Incendios (SI) y Ahorro de Energía (HE), existe un periodo transitorio de aplicación de 6 meses, en los que se puede conceder licencias al amparo de las normas anteriores. En el caso de las obras a las que se conceda licencia de edificación y que se acojan a estos periodos transitorios (y por lo tanto no se adapten al CTE), tendrán un máximo de 3 meses para iniciar los trabajos de construcción. En caso contrario tendrá que rehacerse el proyecto.

Atendiendo a la evolución técnica y a la evolución de la sociedad se tendrán que elaborar propuestas, recomendaciones y medidas pertinentes en materia de sostenibilidad, innovación y calidad de la edificación. A tal fin, el Consejo de Ministros establece el RD 315/2006, del 17 de marzo, por el que se crea el Consejo para la Sostenibilidad, Innovación y Calidad de la Edificación (CSICE). Entre las funciones de este Consejo está impulsar el desarrollo y la permanente actualización del CTE, atendiendo a la evolución de la técnica y a las necesidades de la sociedad.

Hay que destacar que tras el CTE, se aprobará el reglamento de Certificación Energética de Edificios, donde estos se clasificarán en una escala según su eficiencia energética. En el escalón más bajo de esta clasificación estarán los edificios que se limiten a cumplir con los

INVESTIGACIÓN DE LOS FACTORES INCIDENTES EN LA EFICIENCIA ENERGÉTICA Y MANTENIBILIDAD DE LOS SISTEMAS DE ILUMINACIÓN INTERIOR DE EDIFICIOS

mínimos indicados en el CTE, por lo que se estimulará a mejorar estos mínimos con el uso de sistemas con una mayor eficiencia energética.

Este documento contiene las disposiciones del CTE que son de aplicación en el ámbito de la iluminación de edificios: las secciones SU4, HE3 y HE5. Tras una exposición introductoria a cada capítulo, se transcribe literalmente el texto publicado en el Boletín Oficial del Estado.

2.2 SU4 Seguridad frente al riesgo derivado de la iluminación inadecuada.

Esta sección recoge la seguridad frente al riesgo causado por iluminación, dentro de esta se recogen los niveles mínimos de alumbrado normal en zonas de circulación, medidos a nivel del suelo. Sin ser estos especialmente elevados, sí suponen un incremento respecto de la práctica habitual.

Sobre todo en zonas de uso común de vehículos y personas y en las escaleras.

En cada zona se dispondrá una instalación de alumbrado capaz de proporcionar como mínimo, el nivel de iluminación que se establece en esta tabla, medido a nivel de suelo.

En las zonas de los establecimientos de uso Pública Concurrencia en las que la actividad se desarrolla con un nivel bajo de iluminación se dispondrá una iluminación de balizamiento en las rampas y en cada uno de los peldaños de las escaleras.

Para estas zonas se exigirán unos niveles mínimos que marca la tabla 1.1 de esta sección.

SU4.1		ALUMBRADO NORMAL EN ZONAS DE CIRCULACIÓN		DB-SU4
1.1 NIVEL DE ILUMINACIÓN MÍNIMA	EXTERIOR	Exclusiva para personas	Escaleras	10 lux
			Resto de zonas	5 lux
		Para vehículos o mixtas		10 lux
		Factor de uniformidad media		40%
	INTERIOR	Exclusiva para personas	Escaleras	75 lux
			Resto de zonas	50 lux
		Para vehículos o mixtas		50 lux
		Factor de uniformidad media		40%
1.2 USO PÚBLICA CONCURRENCIA	Zonas en que la actividad se desarrolle con bajo nivel de iluminación	Iluminación de balizamiento	En rampas	OBLIGAT.
			En cada peldaño de escaleras	OBLIGAT.

Tabla 2.1: Niveles mínimos de iluminación. **Fuente** (DB-SU4)

2.3. H3 Eficiencia energética en instalaciones de iluminación.

Éste es sin duda el documento que supondrá un mayor avance en materia de iluminación de las edificaciones. Su ámbito de aplicación son las instalaciones de iluminación de interior en:

- Edificios de nueva construcción.
- Rehabilitación de edificios existentes con una superficie útil de más de 1.000 m², donde se renueve más del 25% de la superficie iluminada.
- Reformas de locales comerciales y edificios de uso administrativo donde se renueve la instalación de alumbrado.

Se excluyen específicamente:

- Edificios y monumentos de valor histórico, cuando la aplicación de estas exigencias suponga alteraciones inaceptables para ellos.
- Construcciones provisionales para menos de 2 años.
- Instalaciones Industriales, talleres y edificios agrícolas no residenciales.
- Edificios independientes de menos de 50 m².
- Interiores de viviendas.

Aún en estos casos, se deben adoptar soluciones, debidamente justificadas en el proyecto, para el ahorro de energía en la iluminación.

Para la aplicación de esta sección se establece un procedimiento de verificación, que debe incluir:

- Cálculo del valor de eficiencia energética de la instalación VEEI (según se explica más adelante).
- Comprobación de la existencia del sistema de control y regulación que optimice el aprovechamiento de la luz natural.
- Verificación de la existencia de un plan de mantenimiento.

Así mismo, debe incluirse en la memoria del proyecto, la siguiente documentación justificativa:

- Para cada zona figura junto con los cálculos justificativos la siguiente información: Índice el local (K) utilizado en el cálculo, número de puntos considerados, factor de mantenimiento previsto (Fm), Iluminancia media mantenida (Em), Índice de deslumbramiento unificado (UGR), Índice de rendimiento del color (Ra), el valor de eficiencia energética de la instalación (VEEI) y las potencias del los conjuntos lámpara más equipo auxiliar.
- Así mismo, debe justificarse en la memoria del proyecto para cada zona el sistema de control y regulación que corresponda.

A continuación se detalla la caracterización y cuantificación de estas exigencias:

2.3.1 Valor de eficiencia energética de la instalación (VEEI).

Este valor se define como:

Las unidades son, por tanto: W/m² por cada 100 Lux.

$$VEEI = \frac{P_T}{S} \times \frac{100}{E_m}$$

Donde la P_T es la potencia de la lámpara más el equipo auxiliar en (W), S es la superficie iluminada en m² y E_m la iluminancia media mantenida (lux).

Para este valor se establecen unos valores mínimos, diferenciándose en los edificios dos tipos de zonas: las de representación y las de no representación. Se entiende por zonas de representación aquellas donde el criterio de diseño, imagen o el estado anímico que se quiere transmitir al usuario con la iluminación, son preponderantes frente a los criterios de eficiencia energética. Por el contrario, zonas de no representación son aquellas donde los criterios como el nivel de iluminación, confort visual, seguridad y eficiencia energética son más importantes que cualquier otro criterio.

Los valores límite de exigencia energética (Tabla 2), incluyen la iluminación general y de acento pero no las instalaciones de iluminación de escaparates y zonas expositivas.

Analizando, los sistemas actualmente utilizados, para iluminación de los distintos espacios interiores, hay que prestar especial atención a:

Zonas de no representación:

- a) Iluminación general de oficinas, zonas de no representación: En general, las luminarias más comúnmente utilizadas, tanto con tubos fluorescentes T8 (siempre que sean gama 80 -trifósforo-), como con lámparas fluorescentes compactas, cumplen con los niveles mínimos de eficiencia exigidos. Únicamente determinadas soluciones con luminarias con sistemas de iluminación indirecta no cumplen con las exigencias mínimas de 3,5 W/m² por cada 100 Lux.

Siempre se ha de tener especialmente en cuenta que el alumbrado de acentuación se debe incluir en el cálculo de eficiencia aunque no es muy habitual su uso en zonas de no representación.

- b) Andenes de transporte: En este punto, también se cumplen habitualmente los niveles mínimos, siempre que se utilice fluorescencia gama 80 (trifósforo). Se tendrá que prestar más atención cuando se utilicen difusores opales en las luminarias, ya que en este caso, los valores de eficiencia energética, fácilmente se superarán los niveles mínimos exigidos.

- c) Pabellones de exposición o ferias: Las soluciones habitualmente utilizadas para la iluminación general de estos espacios, como las luminarias para lámparas de descarga (halogenuros metálicos o vapor de mercurio) así como las luminarias para fluorescencia lineal (siempre que incorporen reflector de aluminio y reactancia electrónica), cumplen sobradamente con los mínimos exigidos.
- d) Habitaciones de hospitales: En este tipo de instalaciones hay que prestar especial atención a la proporción de luz indirecta utilizada, así como al rendimiento de los difusores utilizados, ya que en muchos de los casos, las eficiencias obtenidas no llegarán a los mínimos exigidos. Las luminarias tipo “Cabecero de cama” deberán tener un estudiado diseño para maximizar su eficiencia y cumplir así con los mínimos requeridos.
- e) Zonas comunes: En estas zonas hay que prestar especial cuidado al uso abusivo de lámparas halógenas (para iluminación general), ya que harían imposible conseguir los mínimos exigidos de eficiencia. Si se utilizan este tipo lámparas, deben ser en todo caso para aportar luz de acentuación en puntos concretos, y utilizando las tecnologías más eficientes disponibles. Lámparas halógenas ahorradoras del tipo MASTER Line y utilizar transformadores electrónicos.

Zonas de representación:

En general, los niveles de eficiencia exigidos para las zonas de no representación son conseguidos con cierta facilidad, siempre que el alumbrado no se base en lámparas incandescentes o halógenas estándar. Este tipo de iluminación es todavía habitual en determinadas oficinas, galerías de exposiciones, pequeños comercios y hoteles. Para aumentar la eficiencia es importante utilizar lámparas con la mayor eficiencia posible, como las lámparas de bajo consumo.

En los hoteles y hostelería también es habitual la instalación de luminarias de diseño decorativo que incorporan difusores opales de vidrio o tela. Este tipo de luminarias no se deberá utilizar para hacer la iluminación general, ya que imposibilitará obtener las eficiencias mínimas exigidas. En todo caso ayudará el sustituir, en el interior de estas luminarias, cualquier fuente de luz halógena ó incandescente por lámpara fluorescentes compactas.

Grupo	Zonas de actividad diferenciada	VEEI límite
1 Zonas de no representación	almacenes, archivos, salas técnicas y cocinas	5
	zonas comunes (1)	4,5
	aparcamientos	5
	administrativo en general	3,5
	aulas y laboratorios (2)	4
	habitaciones de hospital (3)	4,5
	salas de diagnóstico (4)	3,5
	espacios deportivos (5)	5
	andenede estaciones de transporte	3,5
	pabellones de exposición o ferias	3,5
	recintos interiores asimilables a Grupo 1 no descritos en la lista anterior	4,5
2 Zonas de representación	zonas comunes (1)	10
	estaciones de transporte (6)	6
	zonas comunes en edificios residenciales	7,5
	administrativo en general	6
	religioso en general	10
	salones de actos, auditorios y salas de usos múltiples y convenciones, salas de ocio y espectáculo, salas de reuniones y salas de conferencias (7)	10
	habitaciones de hoteles, hostales, etc.	12
	hostelería y restauración (8)	10
	supermercados, hipermercados y grandes almacenes	6
	centros comerciales (excluidas tiendas) (9)	8
	tiendas y pequeño comercio	10
	bibliotecas, museos y galerías de arte	6
	recintos interiores asimilables a Grupo 2 no descritos en la lista anterior	10

Tabla 2.2: Valores límite de eficiencia energética de la instalación. **Fuente** (DB-SU4)

2.3.2 Sistemas de control y regulación.

Las instalaciones de iluminación deberán contar con un sistema de regulación y control.

Se prohíbe expresamente utilizar como único sistema de control el apagado y encendido en cuadros eléctricos, práctica muy habitual en la actualidad, por lo que se tendrá que instalar para cada zona, al menos, un sistema de encendido y apagado manual.

El sistema de control dispondrá, al menos de detección de presencia o temporización en zonas de uso esporádico. Esto implica la obligación de instalar estos sistemas en aseos, pasillos, escaleras, aparcamientos, etc.

Además los edificios que dispongan de una suficiente iluminación natural tendrán un sistema de regulación en las luminarias situadas a una distancia inferior a tres metros de la ventana y en todas situadas bajo un lucernario, de manera que se aproveche el aporte de luz natural.

Estos sistemas se aplicarán en los siguientes casos:

- a) En las zonas de los grupos 1 y 2 (Tabla 2), donde existan cerramientos acristalados al exterior y además cumplan simultáneamente las siguientes condiciones:

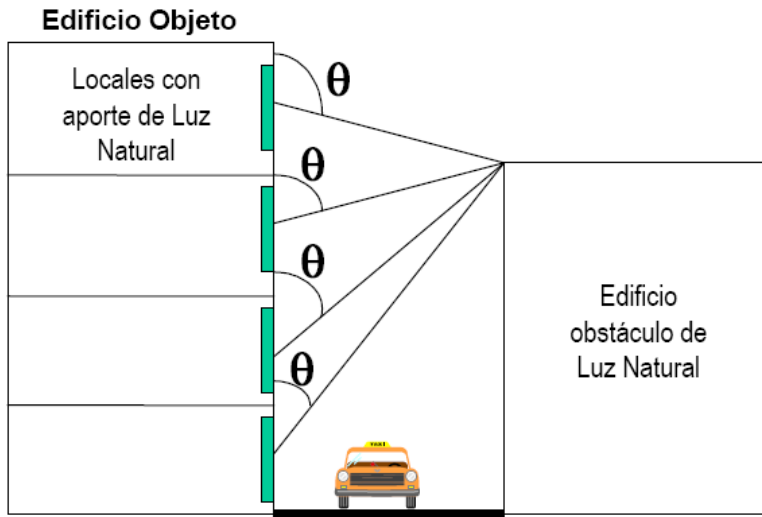


Figura 2.1: Edificios con cerramientos acristalados al exterior. Fuente (DB-SU4)

- Que el ángulo θ sea superior a 65° ($\theta > 65^\circ$), donde θ es el ángulo desde el punto medio del acristalamiento hasta la cota máxima del edificio obstáculo, medio en grados sexagesimales;
- Que se cumpla la expresión: $T(A_w/A) > 0,11$

Siendo:

- T: Coeficiente de transmisión luminosa del vidrio de la ventana del local en tanto por uno.
 - A_w : Área de acristalamiento de la ventana de la zona en m^2 .
 - A: Área total de las fachadas de la zona, con ventanas al exterior o al patio interior o al atrio en m^2 .
- a. En las zonas de los grupos 1 y 2 (Tabla 2), donde existan cerramientos acristalados a patios o atrios y además cumplan simultáneamente las siguientes condiciones:
- En el caso de que el patio no esté cubierto y cuando estos tengan una anchura (a_i) superior a 2 veces la distancia (h_i), siendo h_i la distancia entre el suelo de la planta donde se está realizando el estudio, y la cubierta del edificio.

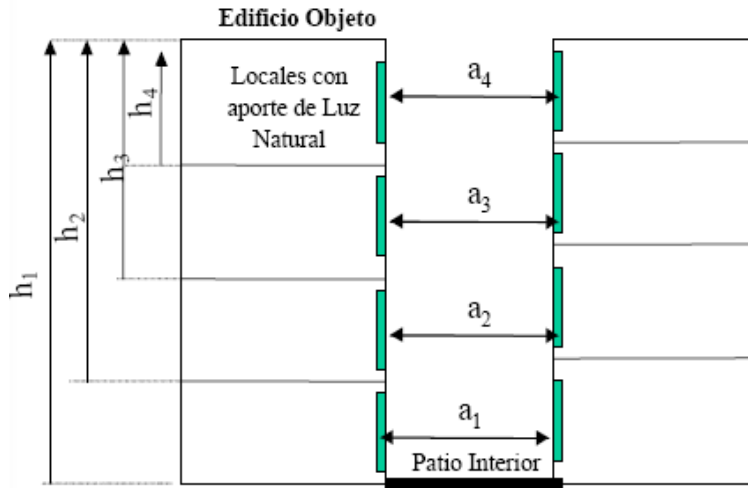


Figura 2.2: Edificios con cerramientos acristalados a patios o atrios. Fuente (DB-SU4)

- En el caso de que el patio esté cubierto por acristalamientos y cuando estos tengan una anchura (a_i) superior a $2/T_c$ veces la distancia (h_i), siendo h_i la distancia entre el suelo de la planta donde se está realizando el estudio, y la cubierta del edificio, y T_c el coeficiente de transmisión luminosa del vidrio de cerramiento del patio, expresado en %.

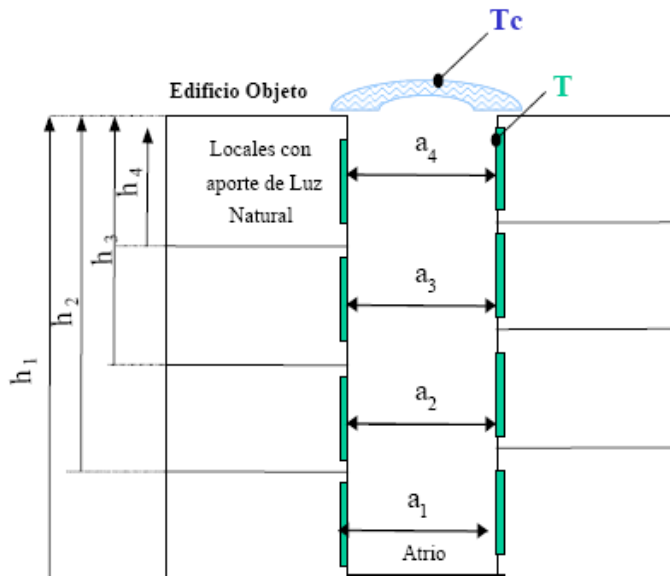


Figura 2.3: Edificios con cerramientos acristalados a patios o atrios cubiertos. Fuente (DB-SU4)

- Que se cumpla la expresión: $T(A_w/A) > 0,11$

Siendo:

- T: Coeficiente de transmisión luminosa del vidrio de la ventana del local en tanto por uno.
- A_w : Área de acristalamiento de la ventana de la zona en m^2 .
- A: Área total de las fachadas de la zona, con ventanas al exterior o al patio interior o al atrio en m^2 .

El CTE incluye las fórmulas que permiten calcular en qué tipo de edificios es obligatoria hacer esta regulación, en función de la superficie acristalada, respecto a la de la planta del edificio, la transmitancia del cerramiento acristalado y los posibles obstáculos exteriores al edificio, y que proyecten sombras sobre ellos. Se puede concluir que, en la mayoría de las configuraciones de los actuales edificios de oficinas, será necesaria su instalación. Así mismo, en muchos centros comerciales y polideportivos cubiertos se cuenta hoy en día con el suficiente aporte de luz natural.

Quedan explícitamente excluidas del requerimiento de regulación de los puntos a y b:

1. Las zonas comunes de edificios residenciales.
2. Las habitaciones de hospitales.
3. Las habitaciones de hoteles.
4. Tiendas y pequeños comercios.

2.3.3 Cálculo.

Datos previos.

Se establece que los parámetros de calidad de la instalación aceptados como mínimos, son los que se establecen en la norma UNE 12464-1, "Iluminación en lugares de trabajo. Parte I: Lugares de trabajo interiores", en la Guía Técnica para la evaluación y prevención de riesgos laborales.

Para determinar el cálculo y las soluciones luminotécnicas de las instalaciones de iluminación interior, se tendrán en cuenta parámetros tales como:

- a) el uso de la zona a iluminar;
- b) el tipo de tarea visual a realizar;
- c) las necesidades de luz y del usuario del local;
- d) el índice K del local o dimensiones del espacio (longitud, anchura y altura útil);
- e) las reflectancias de las paredes, techo y suelo de la sala;
- f) las características y tipo de techo;
- g) las condiciones de la luz natural;
- h) el tipo de acabado y decoración;
- i) el mobiliario previsto.

Método de cálculo.

Dentro de la norma UNE 12464-1, hay que prestar especial interés a los valores de deslumbramiento directo (UGR) e indirecto (límite de luminancia en luminarias con flujo hacia el hemisferio inferior; $cd/m^2 < 65^{\circ}$), ya que en las instalaciones actuales estos parámetros de calidad suelen no ser considerados.

Los parámetros mínimos de cálculo que se tienen que obtener para cada zona son:

- Valor de eficiencia energética de la instalación (VEEI).
- Iluminancia media mantenida (E_m) en el plano de trabajo.
- Índice de deslumbramiento unificado (UGR) para el observador.

Así mismo se deberán indicar el índice de rendimiento cromático (R_a) y las potencias de los conjunto lámparas – equipo auxiliar. El cálculo se puede realizar manualmente o bien mediante ordenador (por ejemplo con el programa Dialux).

2.3.4 Productos de construcción.

Se establecen en este punto unos valores mínimos de eficiencia de los equipos eléctricos asociados a las lámparas fluorescentes, halógenas de baja tensión y de descarga. Los valores exigidos para fluorescencia son los ya incluidos con anterioridad en el Real Decreto 838/2002.

Potencia nominal de la lámpara (W)	Potencia total del conjunto (W)		
	Vapor de mercurio	Vapor de sodio alta presión	Vapor de halogenuros metálicos
50	60	62	---
70	---	84	84
80	92	---	---
100	---	116	116
125	139	---	---
150	---	171	171
250	270	277	270 (2,15A) 277(3A)
400	425	435	425 (3,5A) 435 (4,6A)

Tabla 2.3: Lámparas de descarga. Fuente (DB-SU4)

Potencia nominal de la lámpara (W)	Potencia total del conjunto (W)
	Lámparas Halógenas de baja tensión
35	43
50	60
2*35	85
3*35	125
2*50	120

Tabla 2.4: Lámparas halógenas de baja tensión. Fuente (DB-SU4)

Para lámparas de descarga y halógenas de bajo voltaje, se exigen unos niveles inferiores a los que ofrecen algunos fabricantes en equipos convencionales. Utilizar reactancias y transformadores electrónicos garantiza el cumplimiento de este punto, en todos los casos.

2.3.5 Mantenimiento y conservación:

El CTE obliga a elaborar un plan de mantenimiento de las instalaciones de iluminación, de manera que se garantice el mantenimiento de los parámetros luminotécnicos adecuados y de la eficiencia energética.

Éste contemplará los periodos de reposición de las lámparas, los de la limpieza de luminarias, así como la metodología a emplear. Actualmente es práctica común hacer un mantenimiento puntual de las lámparas, lo cual impide garantizar las condiciones de calidad de la instalación.

2.4. HE 5 Aportación fotovoltaica mínima de energía eléctrica.

El CTE establece como obligatoria la instalación de un sistema de captación y transformación de energía solar por procedimientos fotovoltaicos en algunos tipos de edificaciones:

En los edificios en los que no sea posible su instalación porque el emplazamiento no cuente con suficiente aporte solar por barreras externas, o porque existan limitaciones derivadas de la normativa urbanística existente que imposibiliten instalar la superficie de captación necesaria, se justificarán en el proyecto la inclusión de medidas o elementos alternativos que produzcan un ahorro energético equivalente a la potencia que aportaría la instalación fotovoltaica. En estos casos, es especialmente interesante la incorporación de un sistema de gestión del alumbrado, con el que se puede conseguir aumentar la eficiencia de la instalación de iluminación en más de un 50%.

A continuación, reproducimos el texto íntegro de la Sección HE5 publicado en el B.O.E pero exclusivamente las partes que contienen aspectos relacionados con el Alumbrado.

2.4.1 Ámbito de aplicación.

- I. Los edificios que a continuación se detallan en la tabla 5 dispondrán de sistemas de captación y transformación de energía solar por procedimientos fotovoltaicos cuando superen los límites establecidos en esta tabla:

Tipo de uso	Límite de aplicación
Hipermercado	5.000 m ² construidos
Multitienda y centros de ocio	3.000 m ² construidos
Nave de almacenamiento	10.000 m ² construidos
Administrativos	4.000 m ² construidos
Hoteles y hostales	100 plazas
Hospitales y clínicas	100 camas
Pabellones de recintos feriales	10.000 m ² construidos

Tabla 2.5: Ámbito de aplicación. Fuente (DB-SU4)

- II. La potencia eléctrica mínima determinada en aplicación de exigencia básica que se desarrolla en esta Sección, podrá disminuirse o suprimirse justificadamente, en los siguientes casos:
 - a) cuando se cubra la producción eléctrica estimada que correspondería a la potencia mínima mediante el aprovechamiento de otras fuentes de energías renovables;
 - b) cuando el emplazamiento no cuente con suficiente acceso al sol por barreras externas al mismo y no se puedan aplicar soluciones alternativas;

- c) en rehabilitación de edificios, cuando existan limitaciones no subsanables derivadas de la configuración previa del edificio existente o de la normativa urbanística aplicable;
 - d) en edificios de nueva planta, cuando existan limitaciones no subsanables derivadas de la normativa urbanística aplicable que imposibiliten de forma evidente la disposición de la superficie de captación necesaria;
 - e) cuando así lo determine el órgano competente que deba dictaminar en materia de protección histórico-artística.
- III. En edificios para los cuales sean de aplicación los apartados b), c), d) se justificará, en el proyecto, la inclusión de medidas o elementos alternativos que produzcan un ahorro eléctrico equivalente a la producción que se obtendría con la instalación solar mediante mejoras en instalaciones consumidoras de energía eléctrica tales como la iluminación, regulación de motores o equipos más eficientes.

2.4.2 Procedimiento de verificación.

- I. Para la aplicación de esta sección debe seguirse la secuencia que se expone a continuación:
 - a) cálculo de la potencia a instalar en función de la zona climática cumpliendo lo establecido en el apartado 2.2;
 - b) comprobación de que las pérdidas debidas a la orientación e inclinación de las placas y a las sombras sobre ellas no superen los límites establecidos en la tabla 2.2;
 - c) cumplimiento de las condiciones de cálculo y dimensionado del apartado 3;
 - d) cumplimiento de las condiciones de mantenimiento del apartado 4.

Capítulo III. El Mantenimiento de las instalaciones de iluminación y sus consecuencias

3.1 Introducción.

Los diferentes sistemas de iluminación deben tener un adecuado mantenimiento para asegurar la calidad y cantidad de iluminación prevista, por razones estéticas y de seguridad. Por otro lado, los componentes de las instalaciones tienen una vida limitada y alguna vez deberán ser sustituidos. Factores como cambios en el funcionamiento de las lámparas, la suciedad que se va depositando en las luminarias, sobre las ventanas y superficies que forman la salas unido esto a la disminución de flujo luminoso que experimentan las lámparas a lo largo de su vida, hace que el nivel inicial de iluminación descienda sensiblemente.

Los cristales de las ventanas y las superficies que forman los techos y paredes deben ser limpiados periódicamente para mantener la transmisión de luz natural y la reflectancia de las mismas, en salas de pequeña superficie la limpieza o repintado de las paredes y techos es de mucha importancia y sobre todo si existen alumbrados indirectos.

De la misma manera las luminarias deben ser limpiadas regularmente, sobre todo las partes reflectoras y difusoras ya que son las encargadas de conducir la luz a los puntos previstos con su correspondiente rendimiento luminotécnico.

La carencia de mantenimiento puede tener un efecto negativo sobre la funcionalidad del alumbrado, es decir la reducción del nivel de iluminancia requerido para la necesidad en ese punto, rendimiento deficiente de la instalación y aspecto descuidado de la misma, además del coste energético que supone el funcionamiento de una instalación deficiente. El efecto combinado de la antigüedad del equipo y la suciedad de éste, puede reducir la iluminación entre un 25 y un 50%, o más, dependiendo de la aplicación o el equipo usado, lo que implica que se esté pagando la misma cantidad de electricidad por un peor servicio.

Para prever la disminución provocada por la suciedad, sería recomendable que existiese un intercambio de información entre proyectista y mantenedor, de tal manera, que el mantenedor aportase su experiencia en el día a día al proyectista, para que éste pudiese introducirla en la confección de los proyectos, es decir un aumento de la iluminancia inicial prevista para ese tipo de trabajo, ya que la relación entre la iluminancia mínima exigida y la iluminancia inicial se le denomina factor de pérdida de luz, y dependerá del grado de mantenimiento realizado, por lo que el mantenedor se deberá adecuar a los avances técnicos introducidos en los proyectos, comprometiéndose a mantener los parámetros proyectados.

3.2 Factor de mantenimiento.

El factor de mantenimiento, también llamado factor de conservación, es la relación entre la iluminancia media en el plano de trabajo, después de un periodo de tiempo de uso y la iluminancia media obtenida en las mismas condiciones el primer día.

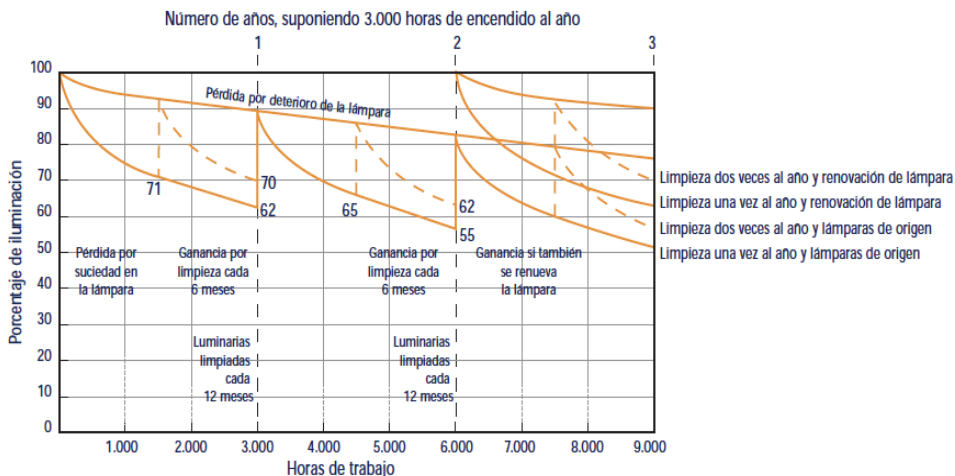


Figura 3.1: Factor de conservación. Fuente: (manual de iluminación INDAL)

En la figura 3.1 se observa la evolución que sufre el sistema con el tiempo. Por ejemplo, el porcentaje de iluminación disminuye hasta un 71% los primeros seis meses, si en este momento se limpia el conjunto, al cabo de un año, el porcentaje de iluminación será del 70%. En cambio, si la limpieza se realiza al año, el porcentaje baja hasta el 62%.

Para mantener el mínimo valor permitido establecido para el que se diseña el sistema, es necesario realizar un mantenimiento adecuado del sistema completo: limpiar el conjunto lámpara-luminaria o cambiar las lámparas que no funcionan con una cierta frecuencia, etc. Los periodos de mantenimiento, se acuerdan previamente en la etapa de diseño del proyecto.

3.2.1 Depreciación producida por la suciedad acumulada en la luminaria

La mayor pérdida de iluminación proviene de la suciedad que se deposita en la lámpara y luminaria, con el paso del tiempo, la suciedad que se va depositando sobre las ventanas, luminarias y superficies del local, unido a la disminución de flujo luminoso que experimentan las lámparas a lo largo del tiempo, hace que el nivel inicial de iluminación que se disfrutaba en ellas, descienda sensiblemente, por lo que disminuye también la reflexión y refracción en las superficies empleadas.

Los cristales de las ventanas y las superficies que forman techos y paredes deben ser limpiados periódicamente para mantener la transmisión de luz natural y la reflectancia de las mismas. La limpieza o repintado de las paredes y techos tendrá gran importancia en el caso de salas pequeñas y de alumbrados indirectos.

Las curvas de la figura 3.2, muestran la depreciación del flujo luminoso debido a la suciedad en distintos tipos de luminarias.

El polvo sobre estas, está afectado por el grado de ventilación, el Angulo de inclinación, el acabado de las superficies que forman las luminarias y el grado de contaminación del ambiente.

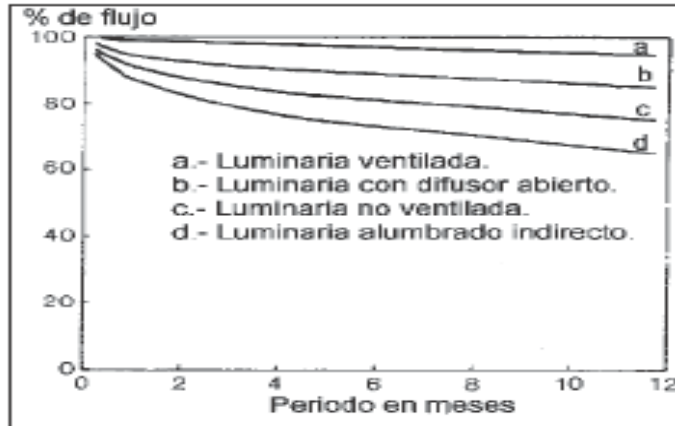


Figura 3.2: Depreciación producida por la suciedad en la luminaria. Fuente: (manual de iluminación INDAL)

Para aprovechar la mano de obra de la persona de mantenimiento y por tanto una ventaja económica el momento de limpieza de la luminaria debería de mantener una relación con el cambio de lámparas.

3.2.2 Depreciación producida por el flujo de las lámparas

La figura 3.3, muestra el tanto por ciento de depreciación del flujo de las lámparas fluorescentes y de descarga.

A medida que pasa el tiempo la lámpara envejece y por consiguiente se reduce el flujo luminoso de esta, aunque siga luciendo es aconsejable la sustitución de la misma.

El equipo de mantenimiento debe estar preparado para el cambio de la lámpara y a su vez estar completamente seguro de que efectivamente se trata de ella y no de los equipos que la acompañan.

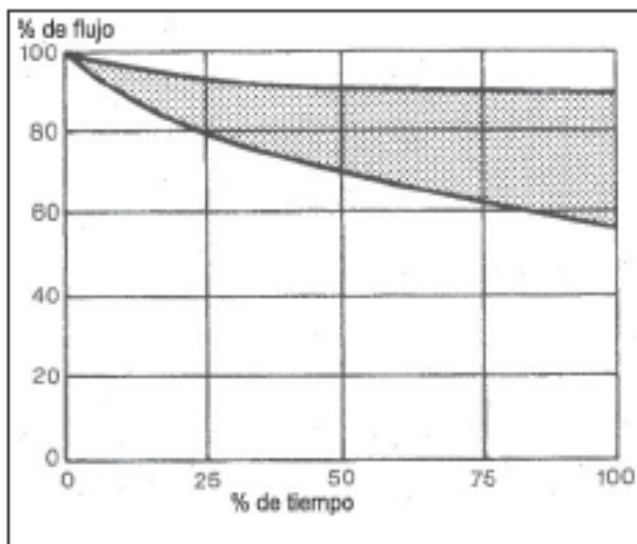


Figura 3.3: Depreciación producida por la suciedad en la luminaria. **Fuente:** (manual de iluminación INDAL)

La lámpara deberá ser la correspondiente a la luminaria que este instalada, es decir no será de potencia superior a la que permita esta, ya que se producirá sobrecalentamientos y esta puede dañar las propiedades de la pantalla reflectante, lo que conllevaría a la reducción del rendimiento luminotécnico.

3.2.3 Factores que influyen en las prestaciones técnicas del sistema de alumbrado.

Por otro lado cabe destacar los diferentes factores que influyen en las prestaciones o características técnicas del sistema de alumbrado una vez terminada su instalación, tanto para el que controla la luz natural como la artificial. Actualmente los sistemas de alumbrado modernos que disponen de controles electrónicos son capaces de crear una atmósfera atractiva. Al mismo tiempo tales sistemas pueden ser eficientes en energía. Pero hay que tener en cuenta que la electrónica puede fallar parcialmente o, más difícil de observar, funcionar mal.

Así, una vez que la instalación de alumbrado está en funcionamiento y los controles están configurados y sintonizados, se requiere un mantenimiento adecuado para mantenerla en funcionamiento como se espera. El mantenimiento regular conlleva un pequeño esfuerzo pero asegurará muchos años de servicio de la instalación.

Para aquellos sistemas de luz natural que tienen partes móviles, esto es más obvio que en alumbrado artificial. Para el alumbrado artificial no es suficiente sólo con reemplazar simplemente lámparas rotas. Como se comenta anteriormente las luminarias también han de ser limpiadas periódicamente y las lámparas han de ser reemplazadas después de su tiempo de vida económica debido a su depreciación del flujo luminoso.

Todas las cuestiones relativas al mantenimiento pueden ser descritas en detalle. En especial la limpieza y sustitución de lámparas estándar del alumbrado artificial y la relación con el coste y uso de energía están descritas en la mayoría de libros de alumbrado eléctrico. Aquí las observaciones fundamentalmente se hacen con respecto a temas específicos de mantenimiento para controles que responden a la luz natural.

Otro aspecto del uso de las instalaciones que varían con el tiempo es la necesidad de modificar algunas veces los parámetros de control o incluso adaptar la implantación para acomodar los cambios en las solicitudes del usuario. Este cambio puede ser en el tipo de trabajo o en la tarea visual, nueva colocación de muebles o un posicionamiento de espacios diferente.

Los componentes envejecerán y eventualmente fallarán. El mantenimiento regular apropiado compensará los efectos del envejecimiento y del fallo. Los sistemas de control de alumbrado en respuesta a la luz natural requieren un cuidado adicional en comparación con aquellos casos en los que no hay sistemas de control. Será necesario ser consciente de:

- Detectores de luz obstruidos o sucios.
- Mal funcionamiento de componentes.
- Envejecimiento y rotura de componentes.

La mayoría de los factores comunes con respecto a la flexibilidad son cambios en:

Las condiciones de alumbrado requeridas dentro de un espacio (la mayor parte debido a cambios en la tareas visuales o cambios en la ocupación).

La disponibilidad de luz natural, en la mayoría de los casos como resultado de la modificación de los obstáculos externos (por ejemplo, nuevas edificaciones y crecimiento/cambios de árboles).

El interior; tal como volver a situar tabiques de salas, nueva pintura en un color diferente, un nuevo mobiliario, etc.

En la figura 3.4, se aprecia el resumen del factor de mantenimiento, donde se puede apreciar que si actúan negativamente los diferentes factores anteriormente citados, la instalación puede llegar a funcionar en malas condiciones, hasta el extremo de no existir el ahorro energético que se pretende llegar, por lo que la inversión económica depositada en esta instalación es negativa.

INVESTIGACIÓN DE LOS FACTORES INCIDENTES EN LA EFICIENCIA ENERGÉTICA Y MANTENIBILIDAD DE LOS SISTEMAS DE ILUMINACIÓN INTERIOR DE EDIFICIOS



Figura 3.4: Factores que intervienen en una mala gestión de mantenimiento. **Fuente:** elaboración propia.

3.3 Comprobación de las instalaciones.

Es evidente que el sistema de control de alumbrado ha de funcionar como se espera después de la instalación. Por ello, es útil comprobar y documentar las prestaciones del sistema después de la instalación y repetir estas comprobaciones periódicamente figura 3.5.

Durante la instalación y en el periodo inicial de uso cabe la posibilidad de que otras personas distintas de las que se ocupan del servicio normal están a cargo de la instalación. Debido a estos cambios en el personal, la información y la documentación pueden perderse.

Un ejemplo de lo que podría ocurrir en un proyecto grande es el proyecto del “Palacio de Justicia” en Den Bosch, Holanda. Después de un año del uso actual del edificio los ocupantes han identificado el sistema de apantallamiento solar como la causa de varias reclamaciones, pero entonces fue difícil encontrar qué compañía instaló este sistema. Durante la fase de identificación un grupo de gestores responsables de la compañía constructora no vio la necesidad de pasar (como fue aparente después) la información crítica del sistema al usuario final. Cuando la documentación buena y una descripción de los sistemas y su realización están disponibles es posible comparar la realización real con las expectativas de diseño, tal y como se muestra en la figura 3.5.

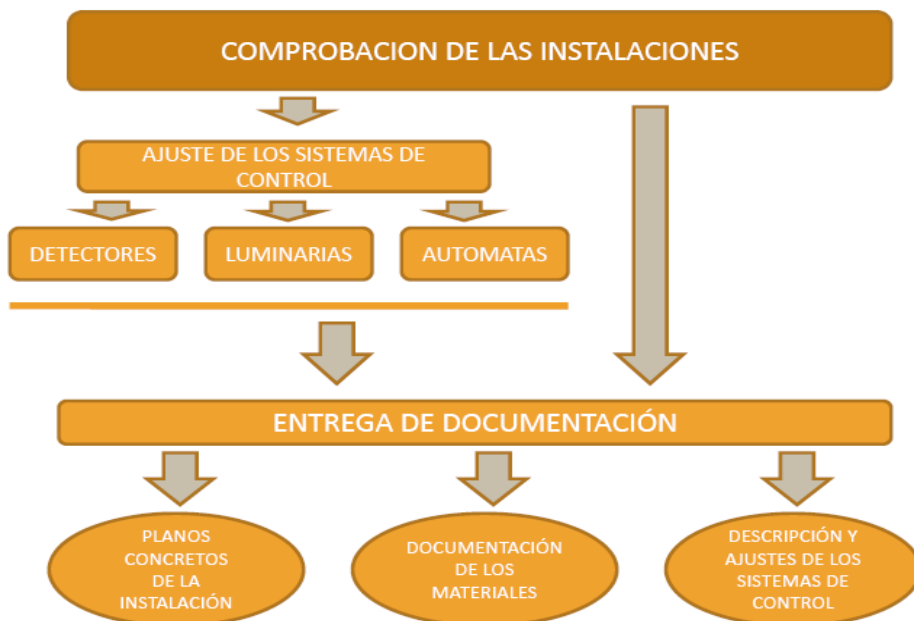


Figura 3.5: Comprobación de las instalaciones. Fuente: elaboración propia.

3.4 Reformas de distribución en el edificio.

Hoy en día las organizaciones cambian continuamente, lo que conduce a ajustes en el uso de espacios y a combinaciones o nuevos espacios. Por ejemplo, cuando los tabiques son cambiados, a veces han de hacerse nuevas disposiciones en los sistemas de control más complejos. En el caso de los sistemas basados en líneas bus estos cambios pueden requerir una acción especial. A menudo el sistema ha de ser reprogramado por personal capacitado para asegurar el funcionamiento apropiado. La reprogramación es necesaria para definir nuevos grupos de luminarias que sean controladas de acuerdo a los nuevos espacios o usuarios.

Los sistemas basados en luminarias podrían no necesitar ser cambiados.

3.4.1 Cambios en la reflectancia del espacio de trabajo.

Un problema especial es un cambio drástico en la reflectancia media de la superficie de trabajo bajo los detectores montados en el techo. Como se sabe estos detectores reaccionan a la luminancia media de la superficie de trabajo. Esto significa que los cambios en la reflectancia media influirán sobre la luminancia media del sistema de control de alumbrado. Así el sistema necesita ser recalibrado en caso de cambio significativo (> 10%) en la reflectancia media. Esto conlleva la medición de la iluminancia y el ajuste de los parámetros del sistema (en sistemas basados en iluminancia, a menudo el ajuste de los equipos; en otros sistemas, el ajuste de los parámetros del software en el software de control).

Los detectores montados en el techo no funcionarán correctamente con reflectancias extremadamente bajas. Esto puede ocurrir por ejemplo en un espacio con un suelo muy oscuro. Cuando la luz natural es muy poca y o la luz eléctrica es reflejada no puede verse una luminancia significativa por el detector y el sistema compensará esto con un flujo máximo (completo) y no se producirán regulaciones de flujo.

3.4.2 Redistribución de las luminarias por cambio de actividad.

En la práctica reciente, quejas sobre el alumbrado eléctrico en un espacio de trabajo han dado casos como el siguiente. El espacio de trabajo es una gran sala de dibujo. Originalmente el alumbrado de esta sala fue implantado para acomodar el dibujo en grandes tableros de dibujo, típicamente una tarea visual que solicita valores de iluminancia vertical elevada con el fin de ver pequeños detalles en las superficies inclinadas. Recientemente los tableros de dibujo han sido reemplazados por sistemas de dibujo basados en ordenador, equipados con pantallas de ordenador. Desde luego este entorno visual solicita iluminancias verticales mucho menores y luminarias que estén suficientemente apantalladas para evitar el deslumbramiento reflejado y directo. En esa situación la instalación de alumbrado de la 'sala de dibujo' ha de ser adaptada para la nueva tarea, reemplazando las luminarias (ópticas).

3.4.3 Diseño luminotécnico individual.

Aparte de tales cambios drásticos, pueden ser necesarias adaptaciones más sutiles del alumbrado. En muchos casos los niveles de alumbrado mantenidos necesitan ajustes. Hay veces que las personas prefieren más o menos luz. Grupos de conmutación de luminarias o alumbrado adicional (de tarea) o adaptar la configuración de referencia del sistema de control, son soluciones estructurales posibles. La complejidad del último ajuste depende del tipo de sistema y por tanto debe ser un elemento clave en la selección inicial del sistema.

Los controles en respuesta de la luz natural son a menudo parte de un sistema de control más extenso. Los sistemas basados en luminarias solicitan el ajuste físico del detector, a menudo en combinación con medidas de iluminancia.

En la figura 3.6, se muestra los pasos a seguir para un correcto reajuste del sistema de la instalación, por motivos descritos anteriormente.



Figura 3.6: Factores que influyen en una reforma del edificio. Fuente: elaboración propia.

3.5 Deterioro por envejecimiento de las luminarias, lámparas y equipos.

El envejecimiento de los componentes de un sistema de control de alumbrado que responde a la luz natural esta subdividido en dos partes, la primera es la instalación del alumbrado como es la lámpara o luminaria, y la segunda es el sistema de control, es decir el detector y controlador.

El componente más variable de la instalación es la lámpara. La vida de la lámpara es el número de horas que se espere que esta dure. El uso de un sistema de control puede influir en la vida de esta negativamente, por el mero hecho del numero de encendidos y apagados al que esté sometida, pero sin embargo este tipo de encendido puede ser menor que el manual.

El efecto de envejecimiento de las lámparas puede ser compensado mediante un sistema de control. Debido a la depreciación luminosa esperada de las instalaciones de alumbrado artificial, las instalaciones han de ser sobredimensionadas. Con un sistema de control y regulación del flujo de las lámparas, se reduce su flujo luminoso al comienzo, compensando así la potencia adicional instalada, y gradualmente se regulará su flujo luminoso total según se vayan depreciando con el tiempo. Con esta característica de "luxes constantes" se ahorrará energía.

Además del envejecimiento de los componentes, la instalación también puede verse influida por el envejecimiento y degradación de los detectores. Poco se sabe acerca del envejecimiento de los detectores, pero pueden extraerse algunas conclusiones:

Ciertos tipos de resistencias fotosensibles se degradan con el tiempo y en algunos casos se han registrado desviaciones de hasta el 50%. Las empleadas en los sistemas actuales se regeneran automáticamente. Esto requiere una cantidad de luz suficiente, por lo que en ambientes muy oscuros pueden presentarse algunos problemas con el tiempo.

Algunos problemas pueden ser causados por la degradación de ciertos tipos de plástico usado en los cierres de las células. Los fotodiodos son muy conocidos por ser muy estables en el tiempo.

En cuanto a la electrónica que controla las lámparas, generalmente su duración es mucho mayor que la de las propias fuentes de luz.

3.6 Funcionamiento de las lámparas y equipos.

Los fallos del sistema pueden tener muchas causas. Algunos fallos son difíciles de detectar, especialmente cuando el confort visual no se ve afectado. Este es el caso, por ejemplo, de la función de regulación del flujo luminoso en respuesta a la luz natural de una instalación de alumbrado eléctrico que no funciona: las luces permanecerán encendidas y así habrá suficiente luz. Sin embargo no se ahorrará energía.

Qué sucede si un circuito electrónico se estropea o un detector de luz es cortocircuitado o desconectado. Si el fallo en la electrónica causa una tensión constante de 10 V de salida en el detector, las luces se amortiguarán y eventualmente se desconectarán. Esto se observará rápidamente. En caso de cortocircuito el sistema de control responderá con la máxima emisión luminosa. En caso de desconexión, el controlador reacciona de acuerdo con el tipo de sistema como si el detector no estuviera presente. Entonces las quejas del usuario son menos probables.

3.7 Programa de mantenimiento.

Como se explico en anteriores puntos, los niveles de iluminación en cualquier instalación siempre experimentan una reducción progresiva como consecuencia de la depreciación de los componentes; esto es el envejecimiento de lámparas, equipos auxiliares y luminarias y además, por la acumulación de polvo y suciedad en las superficies de local. Este efecto se compensa de dos maneras, aumentando el nivel inicial e implementando un programa de mantenimiento.

Para elaborar el plan de mantenimiento hay que hacer un análisis de costos que permita determinar la frecuencia óptima de realización de las distintas operaciones:

- Limpieza de luminarias.
- Mantenimiento del local.
- Reemplazo de luminarias.
- Equipos auxiliares y componentes electrónicos.
- Ajustes del sistema de control y regulación.
- Re-enfoque de luminarias, etc.

Por supuesto, cuanto más espaciadas en el tiempo son estas operaciones, menor es el costo de mantenimiento lo que en muchos casos puede justificar la mayor inversión inicial que se necesita realizar. Sería interesante incluir también en este análisis, la influencia del deterioro de las condiciones de iluminación y visión sobre la productividad.

En la figura 3.1 se muestra la variación de iluminancia en una instalación donde se ha implementado un programa de mantenimiento. Los porcentajes indicados, aunque hipotéticos ya que no pertenecen a ningún caso en particular, son bastante realistas y demuestran la ventaja de programar el mantenimiento y el resultado de no tenerlo en cuenta.

Una cuestión a remarcar y que puede verse en la figura 3.1 es que el mantenimiento nunca restituye las condiciones iniciales por cuanto hay factores que son irre recuperables, por ejemplo, el aumento de opacidad y/o reducción de reflectividad en materiales ópticos de luminarias como consecuencia de la radiación ultravioleta de las fuentes luminosas.

Un aspecto muy importante del programa de mantenimiento es la definición de la estrategia para el reemplazo de lámparas. Esta puede ser: por grupos, individual o una combinación de ambas. En el primer caso todas las lámparas de la instalación o de un sector se recambian simultáneamente en un momento a definir y que se conoce como vida económica; mientras que en el segundo, se sustituyen a medida que las fuentes fallan. La decisión sobre cual estrategia conviene aplicar surge de una análisis económico-técnico-operativo, por ejemplo, el reemplazo por grupos puede ser el más económico, pero debido a exigencias del servicio de iluminación, de seguridad, estéticas, etc. Hay que recurrir a una estrategia combinada.

El mantenimiento es un factor de suma importancia para el objetivo de una iluminación eficiente y su problemática debe formar parte del proyecto de iluminación, es decir, comenzar a resolverse durante el diseño, por ejemplo, seleccionando equipos adecuados para las condiciones físicas y ambientales del local, simples de manipular para las

operaciones de mantenimiento (desarmado, limpieza, reemplazo de componentes, etc.) y en lo posible, prever su emplazamiento en lugares que sea fáciles de acceder y trabajar.

En la figura 3.7, nos muestra los factores que intervienen para la compensación de la depreciación de los componentes de una instalación de iluminación, por una parte tenemos el programa de mantenimiento que será el encargado de llevar a cabo la limpieza de las luminarias, mantenimiento de las mismas, ajustes del sistema de control, etc., y por la otra parte tenemos el aumento del nivel de iluminación inicial, este último se encarga de sobredimensionar el flujo luminotécnico.



Figura 3.7: Factores para la compensación de los componentes. Fuente: elaboración propia.

3.8 Sistemas para el servicio de mantenimiento.

Actualmente existen variados sistemas para encarar el servicio de mantenimiento de las instalaciones en operación. Algunos de ellos no solamente centran su atención en la tarea de corregir las fallas, sino que también tratan de actuar antes de la aparición de los mismos haciéndolo tanto sobre los bienes, tal como fueron concebidos, como sobre los que se encuentran en etapa de diseño, introduciendo en estos últimos, las modalidades de simplicidad en el diseño, diseño robusto, análisis de su mantenibilidad, diseño sin mantenimiento, etc. (figura 3.8). Estas estrategias de mantenimiento son:

- Mantenimiento Correctivo.
- Mantenimiento Preventivo.
- Mantenimiento Predictivo.
- Mantenimiento Proactivo.

En la práctica, normalmente coexisten varias de ellos, dependiendo de la política municipal en esta materia, la organización del mantenimiento y la capacidad del personal y de los talleres, la intensidad de empleo de los bienes, el costo del servicio o las posibilidades de aplicación. No obstante, los dos primeros son los habitualmente se utilizan en el mantenimiento en alumbrado público, aunque hay que señalar que la tendencia del mantenimiento va más en la línea de los últimos citados y de ahí su inclusión en la presente guía.

3.8.1 Mantenimiento correctivo.

Es aquel en el cual se interviene una vez se ha producido el fallo o el paro súbito de la instalación. (figura 3.8). Sólo en ese momento se decide realizar la reparación o reemplazo con el fin de reponer el servicio, aunque no quede eliminado el origen del fallo.

Dentro de este tipo de mantenimiento se pueden contemplar dos tipos de enfoques. Ambos tipos actúan sobre hechos ciertos, por lo que el mantenimiento consistirá en reparar el fallo.

- De emergencia (paliativo o no programado): La actuación se hará de forma inmediata una vez se ha originado el fallo, no admitiendo demoras, y tratando de resolver la incidencia y restablecer el servicio a la mayor brevedad posible.
- Programado: Las actuaciones pueden ser programadas con cierto margen de tiempo en función de aspectos como la urgencia del fallo o la disponibilidad de recursos.

Este mantenimiento implica las siguientes consecuencias (Cuesta, 2010):

- Paradas no previstas en el proceso productivo, disminuyendo las horas operativas.
- Afecta a las cadenas productivas, es decir, que los ciclos productivos posteriores se verán parados a la espera de la corrección de la etapa anterior.
- Presenta costos por reparación y repuestos no presupuestados, por lo que se dará el caso que por falta de recursos económicos no se podrán comprar los repuestos en el momento deseado.

- La planificación del tiempo que estará el sistema fuera de operación no es predecible.

El mantenimiento correctivo se justifica cuando los costes indirectos del fallo son mínimos, cuando los receptores de iluminación no son críticos para la producción ante paros eventuales y cuando la política de la empresa es una renovación frecuente del equipamiento (Macián *et al.*, 2007).

Ventajas

- No se requiere una gran infraestructura técnica ni elevada capacidad de análisis.
- Máximo aprovechamiento de la vida útil de los equipos.

Inconvenientes

- Las averías se presentan de forma imprevista lo que origina trastornos al operario y por tanto al trabajo que en ese momento este realizando.
- Baja calidad del mantenimiento como consecuencia del poco tiempo disponible para reparar.

Aplicaciones

- Cuando el coste total de las paradas ocasionadas sea menor que el coste total de las acciones preventivas.
- Esto sólo se da en sistemas secundarios cuya avería no afectan de forma importante a la producción.

3.8.2 Mantenimiento preventivo.

Este tipo de mantenimiento trata de anticiparse a la aparición de los fallos (figura 3.8). Consiste en programar revisiones de los equipos, basándose generalmente, en las horas de funcionamiento y apoyándose en el conocimiento de las instalaciones en función de la experiencia y los históricos obtenidos de las mismas.

Se confecciona un plan de mantenimiento para cada tipo de instalación, donde se realizaran las acciones necesarias. Se puede distinguir entre:

- Sistemático: Se efectúa según una escala establecida a partir de un número predeterminado de unidad de uso (ejemplo: horas de funcionamiento).
- Condicional (que se conoce como mantenimiento predictivo): Que se traduce por intervenciones de arreglo sobre puntos concretos al superar un límite establecido de degradación.
- De previsión: Intervenciones de puesta en estado, para paliar una avería grave o retrasarla.

Es el conocimiento de la vida útil del bien y sus componentes lo que nos facilita encarar el mantenimiento del tipo preventivo. Para los casos en que no se dispone de información sobre la historia o sobre la vida útil de nuestra instalación, la revisión periódica y la confección de un programa de reparaciones anticipadas, nos permiten actuar antes de que se produzcan muchos de los fallos.

Por lo tanto, este mantenimiento consiste en intervenciones periódicas, programadas con el objeto principal de inspeccionar, reparar y/o reemplazar componentes para disminuir la cantidad de fallos aleatorios. No obstante, éstos no se eliminan totalmente.

El mantenimiento preventivo, genera nuevos costes, pero se reducen aquellos relacionados con la reparación, que disminuyen en cantidad y complejidad.

Presenta las siguientes características (Cuesta, 2010):

- Se realiza en un momento en que no hay personal trabajando, por lo que se aprovecha las horas muertas para realizar estos trabajos.
- Se lleva a cabo siguiendo un programa previamente elaborado donde se detalla el procedimiento a seguir, y las actividades a realizar, a fin de tener las herramientas y repuestos necesarios “a la mano”.
- Cuenta con una fecha programada, además de un tiempo de inicio y de terminación preestablecido y aprobado por la directiva de la empresa.
- Está destinado a un área en particular y a ciertos equipos específicamente. Aunque también se puede llevar a cabo un mantenimiento generalizado de todos los componentes de la planta.
- Permite a la empresa contar con un historial de todos los equipos, además brinda la posibilidad de actualizar la información técnica de los equipos.
- Permite contar con un presupuesto aprobado por la directiva.

Ventajas

- Importante reducción de paradas imprevistas en los receptores de iluminación.
- Solo es adecuado cuando, por la naturaleza del equipo, existe una cierta relación entre probabilidad de fallos y duración de vida.

Inconvenientes

- No se aprovecha la vida útil completa del equipo.
- Aumenta el gasto y disminuye la disponibilidad si no se elige convenientemente la frecuencia de las acciones preventivas.

Aplicaciones

- Equipos de naturaleza eléctrica o electrónica sometidos a desgaste seguro.
- Equipos cuya relación fallo-duración de vida es bien conocida.

3.8.3 Mantenimiento predictivo.

Se define como el control del estado de funcionamiento de las instalaciones en servicio efectuado con instrumental de medición, para prevenir fallos o detectar cambios en sus condiciones físicas que requieran intervención (figura 3.8).

Este tipo de mantenimiento se basa en predecir los fallos antes de que se produzcan, adelantándose al mismo o al momento en que el equipo o elemento deja de trabajar en sus condiciones óptimas, para dar así tiempo a corregirlo sin perjuicios al servicio. Esto se consigue utilizando herramientas y técnicas de monitoreo de parámetros físicos.

Se trata de un mantenimiento también basado en la prevención, pero no a través de una programación rígida de acciones como en el mantenimiento preventivo. Aquí lo que se programa y cumple con obligación son las inspecciones, que pueden ser de dos tipos:

- Monitoreo discreto: Las inspecciones se realizan con cierta periodicidad, de forma programada.
- Monitoreo continuo: Se ejerce de forma constante, con aparatos instalados en los cuadros de mando. Tiene la ventaja de indicar la ejecución de la acción correctora lo más cerca posible al fin de su vida útil.

La mayoría de los fallos se producen lentamente y solamente en algunos casos, arrojan indicios evidentes de un futuro fallo, indicios que pueden advertirse de forma sencilla. En otros casos, es posible advertir la tendencia a entrar en fallo de un bien, mediante el monitoreo de condición, es decir, mediante la elección, medición y seguimiento de algunos parámetros relevantes que representan el buen funcionamiento del bien en análisis. En otras palabras, con este método se trata de acompañar o seguir la evolución de los parámetros que dan lugar a los fallos futuros.

Algunas de las técnicas utilizadas para la estimación del mantenimiento predictivo podrían ser (Cuesta, 2010):

- Termovisión (detección de condiciones a través del calor desplegado).
- Medición de parámetros de operación (voltaje, corriente, potencia, temperatura, etc.).

Ventajas

- Determinación óptima del tiempo para realizar el mantenimiento preventivo.
- Ejecución sin interrumpir el funcionamiento normal de equipos e instalaciones.
- Mejora el conocimiento y el control del estado de los equipos.

Inconvenientes

- Requiere personal mejor formado e instrumentación de análisis costosa.
- No es viable una motorización de todos los parámetros funcionales significativos, por lo que pueden presentarse averías no detectadas por el programa de vigilancia.
- Se pueden presentar averías en el intervalo de tiempo comprendido entre dos medidas consecutivas.

3.8.4 Mantenimiento proactivo.

Con esta estrategia de mantenimiento se pretende maximizar la vida útil operativa de las instalaciones y sus componentes, identificando y corrigiendo las causas que normalmente originan los fallos. Por ejemplo:

- Asegurando que las instalaciones funcionan bajo las condiciones de diseño.
- Comprobando que sus componentes son instalados correctamente.

Con esto, se puede asegurar una vida útil operativa más extendida y con menos fallos, que en otras instalaciones que no utilicen este sistema.

Es una metodología en la cual el diagnóstico y las tecnologías de orden predictivo son empleados para lograr aumentos significativos de la vida de los equipos y disminuir las tareas de mantenimiento, con el fin de erradicar o controlar las causas de fallos de los receptores. Mediante este mantenimiento lo que busca es la causa raíz de fallo, no solo el síntoma (Goel *et al.*, 2003; Mora, 2005), buscando un mayor rendimiento en el servicio (Bourne *et al.*, 2005; Oke, 2005) y una fiabilidad aceptable (Sun *et al.*, 2007).

Este mantenimiento tiene como fundamento los principios de solidaridad, colaboración, iniciativa propia, sensibilización, trabajo en equipo, de modo tal que todos los involucrados directa o indirectamente en la gestión del mantenimiento deben conocer la problemática del mismo, es decir que tanto técnicos, profesionales, ejecutivos y directivos deben estar conscientes de las actividades que se realizan para desarrollar las labores de mantenimiento (Cuesta, 2010).

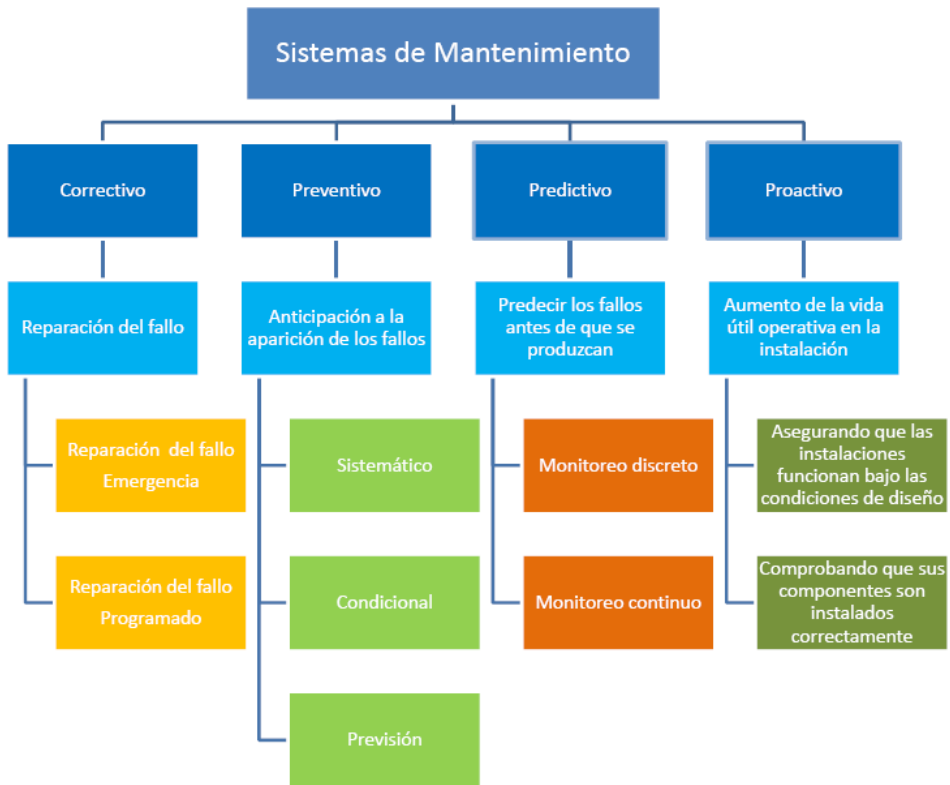


Figura 3.8: Proceso del sistema de mantenimiento. **Fuente:** elaboración propia.

Capítulo IV. Sistemas de eficiencia energética aplicados a la iluminación.

4.1 Introducción.

Los avances conseguidos en el desarrollo global de las sociedades han provocado un incremento general en el consumo de energía que implica la necesidad de plantear cambios en el uso de la misma. La posición a la hora de utilizar las fuentes energéticas, debe implicar los conceptos de eficiencia y responsabilidad para que este desarrollo sea sostenible.

La optimización en el uso de la energía se ha convertido en la actualidad en un objetivo primordial en todos los ámbitos tanto sociales como empresariales. Este uso racional tiene como consecuencia fuertes implicaciones en los marcos ambientales, económicos, técnicos, etc. Tomando como referencia las disposiciones del Protocolo de Kioto, el conjunto de políticas y medidas a adoptar pasan inevitablemente por el fomento de la eficiencia energética. Esta medida debe estar presente en las nuevas actuaciones adoptadas con el fin de obtener los resultados perseguidos.

Para aprovechar las oportunidades de eficiencia energética y de energías renovables es necesario realizar acciones en los puntos consumidores de energía, realizando una gestión particularizada para cada instalación de forma que se pueda optimizar las posibilidades de ahorro energético. Las prioridades energéticas de cada comunidad autónoma o municipio varían de acuerdo a su actividad y desarrollo económico, al impacto que el consumo de energía tiene en su economía y a los recursos energéticos de los que dispone.

La estrategia por parte de la Administración Pública para conseguir que los ciudadanos se sensibilicen y lleven acciones tendentes al uso racional de la energía es la de predicar con el ejemplo.

Con esta finalidad se ha realizado este estudio de Ahorro y Eficiencia Energética orientada a los grandes edificios siendo una de las mejores formas de difusión de las oportunidades de ahorro de energía a considerar.

Es indudable, que la aportación de los equipos descritos anteriormente, balastos electromagnéticos de doble nivel y reguladores estabilizadores en cabecera de línea en el campo del ahorro energético han sido importantes. Ambos tienen no obstante limitaciones, por dos conceptos básicos:

La baja eficiencia o rendimiento energético de los equipos y otros problemas derivados que afectan a la funcionalidad u operatividad.

Las tres vías o campos de intervención para mejorar la eficiencia energética en grandes edificios coinciden en ser:

- Los Hábitos de consumo: Las medidas más baratas, incluso gratuitas, y con mayor capacidad de reducir el gasto energético son las que tienen que ver con nuestros hábitos, ya que poniendo un ejemplo como puede ser las salas de reuniones en un edificio de oficinas, donde muy probablemente el uso de esta únicamente sea el tiempo que pueda durar una reunión, y por consiguiente el sistema de iluminación debería estar en funcionamiento acorde a este tiempo, pero desafortunadamente no siempre es así ya que una vez terminada la reunión el sistema de iluminación en la sala sigue en funcionamiento, de esta manera existe

un consumo de energía innecesario, acortamiento de la vida útil de las lámparas y luminarias, aumento en el coste de mantenimiento, no solo a nivel de luminaria si no también a nivel del resto de instalación, como puede ser los propios conductores, protecciones, lo que conlleva a un coste económico elevado.

Por otro lado cabe destacar las salas dedicadas a administración, donde generalmente tienen en más o menos cantidad el aporte de iluminación natural que no es aprovechado ya que el sistema de iluminación sigue funcionando a potencia nominal.

- Gestión: En algunos casos, la buena gestión y mantenimiento de los servicios permite reducir considerablemente la factura de energía, un ejemplo puede ser el contrato de electricidad y otro suministro a la misma compañía.
- Las Medidas Tecnológicas: Las aportaciones de la moderna tecnología al ahorro de energía y la eficiencia energética son muchas, pero a menudo suponen inversiones fuertes cuyo periodo de amortización hay que estudiar en cada caso.

No hay duda de que lo ideal es combinar el máximo de medidas de gestión, hábitos y tecnologías, para obtener los mejores resultados.

La iluminación muy a menudo está en funcionamiento al 100% durante todo el día, a pesar del aporte de luz natural existente y de la presencia o no de personas. Con soluciones eficientes, dependientes de la luz y de la presencia, sólo se proporciona la cantidad de luz necesaria, previamente prefijada por el usuario, y solo si hay personal presente.

Hay que utilizar únicamente la luz necesaria, el control de la luz y de la presencia ofrece grandes potenciales para el ahorro. Los grupos de luminarias se pueden controlar en función de la cantidad de luz disponible manteniendo siempre un mismo nivel de luz. Los usuarios pueden ajustar además estos niveles de iluminación a voluntad y en función de sus necesidades. La luz natural y artificial se complementan perfectamente por tanto, si se usa además un sensor de presencia los grupos de luminarias se encienden y se apagan cuando haya o no personal en la sala aumentando significativamente los ahorros.

Este capítulo se refiere a los controles de alumbrado en respuesta a la luz natural. La mayor parte de las veces el alumbrado eléctrico es controlado solamente cuando esta situación tiene un impacto evidente. Aunque la luz natural es una fuente cambiante, impredecible y poco constante, el control de la luz natural mediante dispositivos de apantallamiento, obturadores o cortinas o mediante otras formas de ajustar la abertura de entrada de la luz natural, puede ser deseable.

4.2 Factores de sistema de control.

Hay tres objetivos principales para el empleo de sistemas de control de alumbrado artificial en respuesta a la luz natural, que son:

- Ahorro de energía.
- Economía de costes.
- Confort del usuario.

4.2.1 Aporte de luz natural.

La luz natural está disponible gratis y es renovable. Los inconvenientes principales son la carga térmica que puede llevar a las ventanas y (en la mayor parte de los climas) su impredecibilidad. El ahorro total posible de energía en un edificio utilizando luz natural es una combinación de ahorros de energía “directos” sobre el alumbrado artificial:

- Reducción del flujo cuando hay bastante luz natural disponible.
- Disminución de los niveles iniciales de iluminación en nuevas instalaciones de alumbrado, que siempre están “sobredimensionadas”. Los nuevos equipos están típicamente sobredimensionados en un 10-25%, anticipando la depreciación normal; así, incluso sin tener en cuenta la regulación de flujo relacionada con la aportación de luz natural, puede conseguir-se un considerable ahorro de energía.
- Reducción de la carga de refrigeración, dando como resultado un ahorro de energía en refrigeración (si el edificio está equipado con un sistema de enfriamiento y acondicionamiento de aire), ya que se produce menos calor como consecuencia de la potencia consumida en los componentes de la instalación de iluminación.

Como ya hemos visto, en muchos casos el flujo luminoso de las lámparas puede ser regulado utilizando componentes electrónicos. La regulación de flujo conduce a una reducción del consumo de energía. Por ejemplo, la mayor parte de las lámparas fluorescentes populares (T8, T5 y lámparas de tipo compacto) son fácilmente regulables en su flujo con una reducción significativa en el uso de la energía. Pero la reducción de flujo luminoso y de consumo de energía no es lineal: un tubo fluorescente totalmente regulado puede tener un flujo luminoso del 2% del flujo luminoso máximo y aún requerirá el 25% del consumo de energía que precisa al 100 por 100 del flujo luminoso máximo. Esto es debido al consumo de energía del balasto y a la menor eficacia de la lámpara regulada.

4.2.2 Economía de costes.

El coste inicial, el coste del propietario, los costes de energía, etc., son otros elementos a tener en cuenta en una instalación de iluminación. Con los bajos precios actuales de energía el tiempo de amortización puede parecer largo; pero hay otros argumentos para invertir en instalaciones “caras”, como la flexibilidad, el confort y la calidad.

La reducción del consumo de electricidad en hora pico es un argumento económico “directo” importante; un diseño de consumo de energía típico muestra una coincidencia de bajas demandas de alumbrado artificial con las elevadas demandas de refrigeración.

Por esto, sistemas de control en respuesta a la luz natural pueden dar como resultado una demanda de pico considerablemente inferior. Sistemas baratos y simples con control del alumbrado en respuesta sólo a la luz natural ofrecen, por tanto, un periodo de retorno razonable.

La aceptación del sistema por el usuario es quizás el aspecto económico indirecto más importante. Si el sistema de control no es aceptado por el usuario será probablemente saboteado y la productividad de los trabajadores podría ser reducida. Una productividad ligeramente reducida de trabajadores insatisfechos puede despilfarrar todos los ahorros esperados.

Con los sistemas de bus de elevado nivel, el equipo de alumbrado puede ser fácilmente adaptado para otras tareas o usuarios. También dan la posibilidad de reconfigurar grupos controlados o comunicados en caso de cambios de implantación. Para grandes edificios con una elevada frecuencia de reconversión esto puede ser de gran interés económico.

4.2.3 Bienestar de las personas.

Las personas son el capital principal de la mayoría de las organizaciones y el confort de ellas es un factor clave en su éxito. Los beneficios de un buen alumbrado son a menudo subestimados, cuando hay múltiples investigaciones que muestran lo importante que es el alumbrado en el entorno de trabajo. Un sistema de control de alumbrado puede mejorar el confort, equilibrando las relaciones de luminancia en las salas. Además, los sistemas de control de alumbrado pueden ofrecer características adicionales, tales como el control automático y a distancia o posibilidades de escenario y alumbrado dinámico para los sistemas más complejos.

Se ha aceptado generalmente que hay una correlación entre el confort del usuario y la productividad, que hacen de la aceptación y confort también elementos económicos importantes. Añadir posibilidades de control a distancia da a los usuarios la sensación de un mayor control sobre su entorno.

4.3 Estrategias de control.

El concepto “control de alumbrado” cubre varios métodos diferentes que son usados en los sistemas de iluminación para cambiar el alumbrado en un espacio.

Un sistema de control puede ser manual (como un conmutador de corriente o un controlador a distancia) o automático (basado en la vigilancia mediante un sistema de detección o un reloj), y puede funcionar sobre parámetros diferentes de la instalación de alumbrado, como:

- El nivel de iluminación (iluminancia/luminancia) (cantidad de luz, regulación de flujo luminoso).
- La distribución de luz (control direccional).
- La distribución espectral (el color) (como en el alumbrado teatral).

Los sistemas de control que controlan el nivel de luz son los sistemas de uso más corriente. El control de alumbrado automático puede estar basado en uno o más de los siguientes criterios de control:

- Aportación de luz natural (la luz eléctrica es controlada por la cantidad de luz natural disponible). Son los denominados sistemas de control en respuesta a la luz natural.
- Ausencia de personas (la luz es automáticamente apagada en salas o habitaciones sin ocupar).
- Tiempo (como encendido y apagado automáticos de la luz a horas fijadas).

4.3.1 Principios de control.

El control del nivel de luz puede ser conseguido mediante la regulación de flujo continua, regulación de flujo por escalones o encendido/apagado.

De acuerdo con la posición del detector, los sistemas de regulación de flujo luminoso pueden ser divididos en dos categorías:

- Un sistema de control de “bucle abierto”, es un sistema de control predeterminado, que mide el nivel de luz natural (es decir, la iluminancia en el tejado o fachada) o una luminosidad relacionada con la luz natural (es decir, la iluminancia de dispositivos de apantallamiento solar o de visión a través de la ventana) y que, en función de esta, controla el alumbrado artificial usando algunos algoritmos predeterminados.
- Sistema de control de Bucle cerrado, es un sistema de control con realimentación, que mide el nivel de luminosidad completo del lugar de trabajo (suma de la luz natural mas la luz artificial), en distintos lugares de la sala, regulando la iluminación artificial en función de esta suma.

De acuerdo con el comportamiento de la regulación de flujo luminoso pueden distinguirse dos tipo de sistemas:

- Sistemas proporcionales, en los que la regulación de flujo luminoso es realizada proporcionalmente al nivel de la luz natural medido o al nivel de luz total en la sala.

- Sistemas de soporte constantes, en los que la regulación de flujo luminoso es realizada de tal modo que la suma de los niveles de luz natural y del nivel de luz artificial es constante. En la práctica, como el margen dinámico del nivel de luz natural es a menudo mucho mayor que el margen dinámico del nivel de luz artificial, el soporte constante es solamente posible dentro de un margen limitado de niveles de luz. Los sistemas de soporte constante son siempre sistemas de bucle cerrado.

4.3.2 Nivel de control.

Una instalación de alumbrado (así como los sistemas de luz natural) puede ser controlada en distintos niveles:

- Control individual, el alumbrado es controlado por un sistema de control basado en la luminaria (cada luminaria tiene su propio sistema de control, como las luminarias de puesto de trabajo individuales o las luminarias para alumbrado general de oficinas equipadas con un detector individual y un sistema de regulación de flujo luminoso o conmutación).
- Control de sala: todas las luminarias en el mismo circuito son controladas por una unidad de control.
- Principio maestro-esclavo: todas las luminarias pueden ser reguladas del mismo modo, pudiendo tener las lámparas en el interior de la sala un desfase, que conduce a una menor regulación de flujo.
- Sistema de control con base en la sala: el control es aplicado a todas las luminarias de una sala.
- Control de edificio o control con base en un edificio: varios grupos de un mismo edificio unidos en una sola red o un sistema de control central (luminarias con posiciones más o menos idénticas son controladas simultáneamente, como una fila de luminarias de ventana).

Los sistemas de control varían ampliamente de complejidad y capacidades.

- Los sistemas más simples consisten en un sistema de control en solitario que regula justo las lámparas de acuerdo con la luminancia de los alrededores de la luminaria.
- En el otro extremo del margen existen sistemas de gestión de edificio basados en bus de transmisión de datos complejos, que controlan no solamente el alumbrado sino también equipos tales como en la apantallamiento solar y HVAC y ofrecen la posibilidad de un control remoto, escenarios preajustados, conmutación/regulación de acuerdo con la ocupación, etc.

4.4 Sistemas de control para alumbrado artificial que responden a la luz natural.

Los sistemas de control para alumbrado artificial que responden a la luz natural son sistemas que actúan automáticamente controlando el alumbrado artificial como una función de la luz natural disponible en el espacio. Un sistema de control en respuesta a la luz natural se espera que mantenga el nivel de alumbrado en un nivel seleccionado por el usuario en cualquier circunstancia, sobre la superficie de trabajo designada, sin molestar al usuario, y de un modo preferiblemente inadvertido para el mismo. Además, debe permitir que la instalación de alumbrado funcione el tiempo necesario mientras haya ocupación de los espacios y no permanezca funcionando durante todo el día independientemente de la ocupación del edificio.

A la vista de los parámetros de control y de cómo poner en práctica dicho control, la idea realmente interesante de un sistema de control es su modularidad: la posibilidad de instalar un sistema de forma escalonada, partiendo de los módulos más básicos para llegar a los más completos, buscando, además de la instalación de iluminación, que ésta se integre con el resto de instalaciones de un edificio.

4.4.1 Principios de modularidad.

Estos sistemas pueden consistir en una infraestructura y distribución de alimentación básicas, tal como la representada esquemáticamente a continuación y comprendiendo:

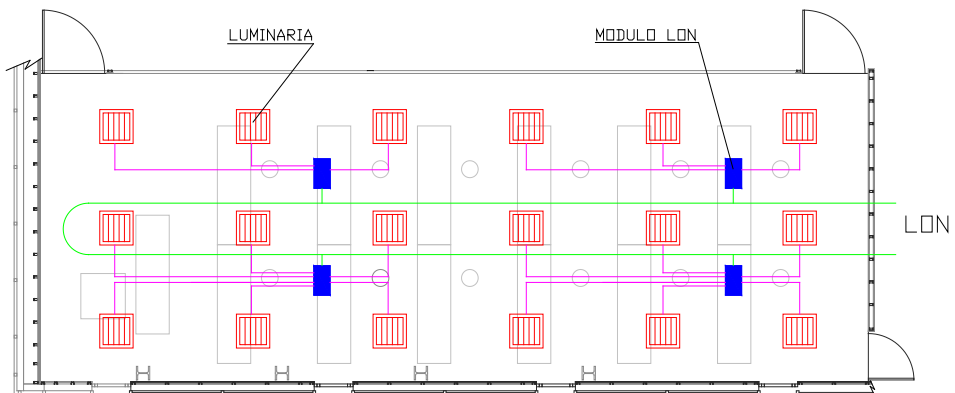


Figura 4.2: Sistema de modularidad básico. **Fuente:** Elaboración propia

- La unidad de mando: en esta versión básica puede ser automática, mediante un temporizador o una fotocélula, o manual, mediante pulsadores. En el caso de la fotocélula, ésta puede estar diseñada para ser montada en la luminaria, en el techo, en la pared interior, en la pared exterior o incluso en el tejado. En muchos casos la unidad debe ser sintonizada con el nivel de iluminancia requerida o intervalo de niveles (a veces esto se hace en fábrica).
- La unidad operativa. Ésta contiene una parte electrónica que puede ser individualmente ajustada a la sala. La unidad puede contener también el

elemento de regulación de flujo o conmutación, que está posicionado bien centralmente (para control de circuito) o bien dentro de la luminaria (para control individual).

- La unidad de comunicación, en este ejemplo pueden ser líneas de transmisión o bus de un sistema universal, tal como el LON. Light Máster LON es un sistema de gestión de alumbrado basado en el concepto de modularidad y escalabilidad, con la que el usuario final puede realizar diagnósticos, seguimientos, pruebas del alumbrado de emergencia y la reconfiguración del sistema. Gracias a este sistema es posible ahorrar hasta un 50% en costes de alumbrado.

En el modulo inmediatamente superior, o evolucionado, puede cederse el control a sensores o detectores, trasmisores y pulsadores, con lo que el esquema de la infraestructura sería el siguiente:

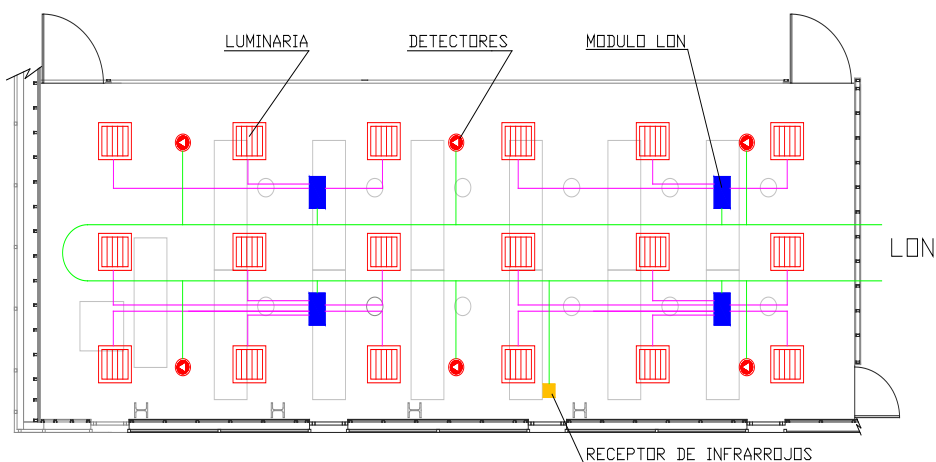


Figura 4.3: Sistema de modularidad evolucionado. **Fuente:** Elaboración propia

- La unidad de mando: en esta versión más evolucionada permite el control mediante la detección de movimiento, la regulación de flujo en función de la aportación de luz natural, el control remoto y los pulsadores.
- La unidad operativa. Ésta se basa en una inteligencia distribuida que proporciona funciones de control local con posibilidades de reconfiguración, permitiendo adaptarse a los diseños específicos de cada espacio.
- La unidad de comunicación. En este caso son también líneas de transmisión o bus de un sistema universal, tal como el LON.

Por último se llega al módulo más desarrollado, que integra la iluminación con los sistemas de ventilación, aire acondicionado y persianas.

INVESTIGACIÓN DE LOS FACTORES INCIDENTES EN LA EFICIENCIA ENERGÉTICA Y MANTENIBILIDAD DE LOS SISTEMAS DE ILUMINACIÓN INTERIOR DE EDIFICIOS

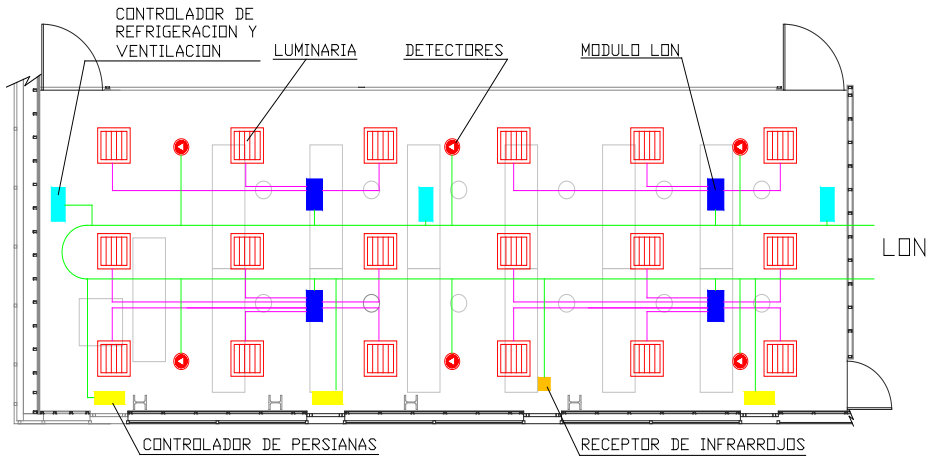


Figura 4.4: Sistema de modularidad más desarrollado. **Fuente:** Elaboración propia

- La unidad de mando: en esta versión, la más evolucionada, responde a los mismos principios que en el módulo anterior.
- La unidad operativa. También de inteligencia distribuida, para proporcionar todas las funciones de reconfiguración.
- La unidad de comunicación. En este caso completo todos los nudos de control están conectados a los bus de un sistema universal, tal como el LON, a los que también están conectados los sistemas de calefacción, ventilación, aire acondicionado y persianas, dando origen a una integración total.

En todos los módulos del sistema, la unidad de control interpreta la señal del detector y conmuta el alumbrado artificial de acuerdo con las condiciones de luz natural, presencia o ausencia de personas, etc. Los algoritmos usados en este proceso pueden ser más o menos complicados, permitiendo desde mantener un simple nivel de conmutación preajustado hasta controlar todo el sistema por ordenador (ya que, como ya se ha mencionado con los sistemas a base de bus, un sistema de gestión de edificios pueden hacer más que un simple control del alumbrado en respuesta a la luz natural).

Generalmente los sistemas de bucle cerrado necesitan algoritmos de control más simple que los sistemas de bucle abierto.

- Muchos sistemas de control basados en la sala y en edificio con sistemas de bucle abierto, que, a fin de evitar la insatisfacción del usuario, necesitan tener una acción de retardo.
- Los sistemas de control basados en la luminaria son siempre sistemas de bucle cerrado y pueden responder rápidamente.

En un sistema de control en respuesta a la luz natural que funciona bien se puede ahorrar de un 120 a un 150% en la energía de alumbrado. Las combinaciones disponibles reales con detectores de presencia, pueden mejorar fuertemente estos ahorros. Sin embargo, el ahorro real de energía mediante sistema de control en respuesta a la luz natural está bastante restringido, debido a que el consumo de equipos de alumbrado modernos y oficinas típicos, incluso sin controles, es menor que 10-15 W/m².

4.5 Sistemas de control en iluminación artificial.

A fin de conseguir la satisfacción del usuario y el ahorro máximo de energía, es importante que el sistema de control sea instalado de modo correcto para que funcione óptimamente. El mal funcionamiento del sistema puede conducir a quejas de los usuarios, a una reducción del ahorro de energía o a no ahorrar nada.

Este capítulo trata los puntos más importantes relativos a la instalación de los detectores para los diferentes tipos de sistemas de control, teniendo en cuenta también, que a fin de conservar el sistema funcionando correctamente después de la instalación, es necesario el “conocimiento del sistema” por el personal de mantenimiento y ocupantes.

4.5.1 Detectores en sistema bucle cerrado.

La mayoría de los sistemas de control de bucle cerrado que responden a la luz natural miden la combinación de la luz natural y el alumbrado artificial con un detector de luz montado en el techo o montado en la luminaria. Este detector “mira” hacia abajo, hacia el plano de trabajo. La salida del detector es una medida de la luz que se refleja hacia el techo desde el plano de trabajo y los alrededores inmediatos. Por tanto, el sistema de control no funcionará adecuadamente si:

- Hay una fuente de luz (por ejemplo una luminaria indirecta) que brilla directamente sobre el detector, o
- Hay luz reflejada (por ejemplo desde un coche aparcado fuera o una superficie brillante en un edificio cercano), o
- El detector “ve” una parte de la ventana, o
- El detector está bloqueado por objetos (por ejemplo, paneles divisorios, estanterías con libros, plantas, etc.).

En estos casos la lectura del detector no está relacionada directamente con la luminancia del plano de trabajo y el sistema de control no funcionará adecuadamente.

Los detectores disponibles actualmente no miden iluminancia (valores en lux) en el plano de trabajo, sino una especie de “luminancia media” de éste, que depende de las propiedades reflectantes de los materiales de la sala y de los muebles. Por ello existe la necesidad de poder adaptar el sistema con el fin de ajustar el “umbral” deseado de regulación de flujo para cada caso específico con reflectancias específicas y niveles de iluminancia (de noche) iniciales.

4.5.2 Detectores en sistema bucle abierto.

Los sistemas de control de bucle abierto que responden a la luz natural determinan la contribución de la luz natural al alumbrado en una sala midiendo el nivel de luz natural fuera del edificio y/o desde el interior de la sala y controlan el alumbrado artificial utilizando algoritmos predeterminados.

El detector exterior está situado en el tejado o en la fachada. En ambos casos debe tenerse cuidado porque la lectura del detector es representativa de la contribución de luz natural en la totalidad del edificio. No debe haber objetos sombreados u objetos muy

reflectantes “vistos” por el detector, ya que no influyen por igual sobre la contribución de luz natural en todas las partes del edificio. De ahí que si el edificio está rodeado por estructuras grandes, que llevan a un diseño de luz natural en las fachadas que no es uniforme, debe considerarse el colocar más de un detector externo.

El detector interno tendrá que “ver” sólo la ventana, por ello la mayor parte de las veces estará montado cerca del techo, “mirando” a la ventana. Debe tenerse cuidado de que no haya obstáculos o superficies reflectantes entre el detector y la ventana (excepto el dispositivo de apantallamiento), de manera que la lectura sea representativa de la luminancia de la ventana, incluyendo el dispositivo de apantallamiento.

4.6 Instalación de luminarias con detectores integrados.

La instalación de luminarias con detectores instalados en fábrica no se diferencian mucho de la instalación de luminarias normales y, además, no es necesario un cableado de control adicional. Por ello este tipo de sistema es adecuado para reemplazamientos o renovaciones. Después de que la luminaria sea colocada en su sitio la única labor que habrá de realizarse será medir la iluminancia en la superficie de trabajo bajo cada luminaria por la noche y durante el día, para comprobar que la iluminancia esté al nivel deseado.

Si las unidades tienen ajustes de instalación previamente configurados por el fabricante, hay que tener en cuenta que estos ajustes están basados en los factores de reflexión medios en una sala de oficina típica. Una vez que el sistema ha sido instalado puede ser necesario hacer algunos ajustes. Esto puede ser comprobado midiendo los niveles de luz en diferentes localizaciones para ver que se dan las prestaciones requeridas. Si los niveles combinados son demasiado elevados, es porque la reflectancia de las superficies situadas debajo de los detectores (escritorio) o la altura del techo puede diferir de las condiciones supuestas por el fabricante; ajústese la configuración del detector hasta que se consiga el nivel de alumbrado deseado.

Con algunos sistemas la colocación de un detector en la propia lámpara puede ser ajustado para mejorar las prestaciones. Por ejemplo, un detector que puede ver la pared conduce a un comportamiento de control diferente que cuando está situado en otro extremo de la lámpara y solo ve el suelo. Tales procesos de sintonización fina pueden requerir alguna prueba y error para optimizar el sistema para un contexto particular.

En la figura 4.5, se aprecia el porcentaje de ahorro significativo que genera este tipo de regulación, que aproximadamente puede ser un 20 % en el consumo total de energía del sistema de iluminación (Control de iluminación Integrado (ETAP).

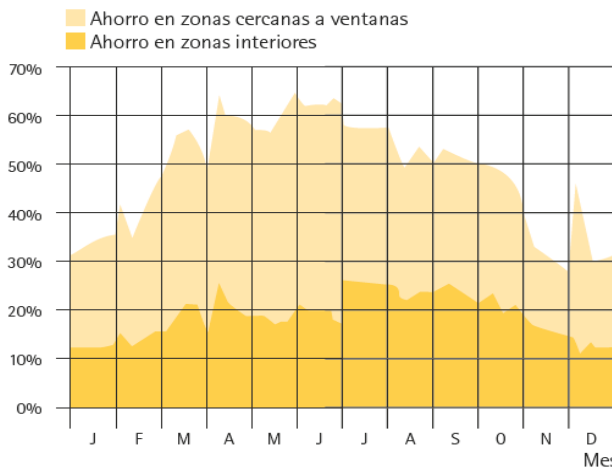


Figura 4.5: Porcentaje de ahorro energético de una luminaria con estabilizador electrónico regulable. Fuente (ETAP)

La medición y regulación basada en la luminancia provoca que, incluso en una sala específica con un alumbrado uniforme en términos de luminancia, se presentará un distribución de luminancia no uniforme (debido a diferentes colores, por ejemplo de muebles), conduciendo a diferentes ajustes para diferentes luminarias. Por ello es necesario un cierto margen de regulación. De ahí que todos los fabricantes ofrezcan esta característica en sus sistemas, aunque sistemas diferentes ofrezcan diferentes posibilidades. Los posibles sistemas son:

- Cambiar de lentes con transmisión óptica diferente (filtros de colores): en su mayoría se dispone de tres lentes (coloreadas) que dan la posibilidad de obtener tres umbrales de regulación. Así se obtienen tres niveles de iluminancia para reflectancias normales. Estos sistemas no permiten la sintonización continua, sino que se sintoniza en saltos o escalones de aproximadamente un 50 %.
- Sintonizar con un potenciómetro analógico: da la posibilidad de sintonizar y ajustar continuamente umbrales de niveles de regulación, incluso para reflectancias anormales o no uniformes.
- Sintonizar mediante una regulación mecánica de abertura o ángulo de aceptación del paso de luz: da también la posibilidad de sintonización continua.
- Eliminar mediante control remoto de infrarrojos la necesidad de abrir la luminaria o manipular la luminaria después de cerrarla. Evita el problema de que el instalador bloquee el detector cuando lo ajusta.

El mejor modo para sintonizar una instalación es:

- Comenzar en una sala o parte representativa de la sala con todos los detectores con igual configuración (algunos fabricantes entregan detectores con una configuración de fabricante específica).
- Medir iluminancias iniciales (de noche o con ventanas cubiertas, o un día no demasiado luminoso) en unos pocos puntos representativos (por ejemplo, en el escritorio, mesa de conferencia, etc.)
- Sintonizar los detectores; algunos fabricantes dan reglas simples para ello (por ejemplo, variaciones del umbral de regulación de flujo del 10% cada vez, en un dispositivo de regulación).
- Basándose en los resultados de esta experiencia, presintonizar todos los detectores.

Es importante observar que los denominados “soportes constantes” requieren una sintonización más precisa que los sistemas que compensan parcialmente (es decir el 50%) para luz natural incidente.

4.7 Instalaciones de sistemas basados en la sala o habitaciones.

La posición de montaje del detector es crítica cuando hay un detector de luz natural que controla múltiples luminarias en una zona o sala única. La mayoría de los tipos de detectores están situados en el techo y miran hacia abajo. Otras posiciones más inusuales del detector, en la pared o en la superficie de trabajo, no son consideradas aquí.

El detector:

- Debe ver una parte de la sala que sea representativa, para que el alumbrado asegure que la iluminación es controlada en el sitio correcto (por ejemplo, situado sobre una superficie de trabajo y no sobre el suelo).
- Debe tener una superficie en el campo de visión con un área relativamente grande; de lo contrario será difícil predecir si el sistema de control funcionará.
- No debe ser capaz de “mirar hacia fuera”, porque la señal adicional de un área incontrolada (fuera, o de otras lámparas que no son controladas por el detector) conducirá a un funcionamiento incorrecto del sistema de control de bucle cerrado.
- Debe ser situado donde no reciba luz directa de lámparas dirigidas hacia arriba, cuando se usa el alumbrado indirecto (alumbrado indirecto o suspendido), ya que esto podría conducir a un comportamiento oscilante del sistema.

A diferencia de las unidades autónomas (en las que el detector está instalado en cada luminaria) será necesario proporcionar cableado adicional entre el detector y las luminarias. La corriente puede ser suministrada al controlador o directamente a las luminarias. Si los cables para corriente y control están situados próximos entre sí puede haber interferencias eléctricas entre ellos, así que debe tenerse cuidado en separar los cables apropiadamente.

Una vez que la instalación esté completa, deben tomarse mediciones de niveles de iluminancia en la sala por la noche (o en otra situación de baja contribución de luz natural) y durante el día, en distintas situaciones requeridas. Si es necesario, el detector debe ajustarse para proporcionar los niveles deseados.

Algunos sistemas permiten al usuario elegir sus iluminancias personales dentro de un cierto margen o incluso almacenar valores preajustados en la memoria del controlador.

4.8 Instalación de sistemas basados en el edificio.

En sistemas basados en edificios, el detector de luz natural que controla el alumbrado puede ser situado fuera o dentro de alguna de todas las salas cuyo alumbrado controla.

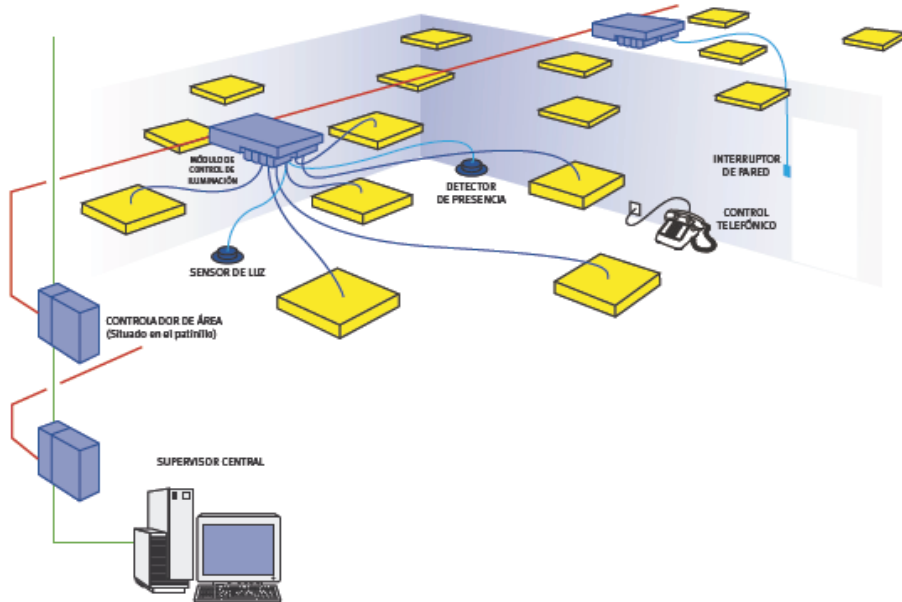


Figura 4.5: Esquema de instalaciones en edificios. Fuente Philips

Situación en el interior.

Si un detector está situado en cada sala, la instalación del sistema es similar a la instalación de un sistema basado en la sala, excepto en que los componentes son conectados a un sistema de línea de transmisión de datos o bus.

Si el detector es situado en una sala representativa que controla el alumbrado en otras salas similares, debe preguntársele al cliente para que sea él el que determine la sala representativa apropiada. Debe tenerse cuidado de que la sala representativa tenga la misma contribución de luz natural que las otras salas, y de que no existan diseños de apantallamiento en la fachada que produzcan desviaciones. Si hay diferencias, han de calcularse las correcciones para asegurar el alumbrado correcto en las diferentes salas.

Situación en el exterior.

Un detector montado en el exterior estará normalmente situado en el tejado del edificio, aunque es posible que los detectores también se sitúen en la fachada o fachadas del edificio. Como ya hemos visto, estos sistemas o distribución de luminancia exterior (incluida la posición del sol) en una cierta cantidad de alumbrado para cada sala interior. De ahí que el efecto de los edificios adyacentes (por ejemplo, su reflejo) y obstáculos (por ejemplo apantallamientos) deba tenerse en cuenta durante la colocación del detector o durante la programación.

La dirección de visión del detector depende del tipo de sistema que se instale. Como estos sistemas están fuera de las salas que controlan, el efecto de los dispositivos de apantallamiento interior no es tenido en cuenta, a menos que se instale un detector adicional detrás de las persianas o que el sistema de control también controle las persianas. Casi en cada situación se requiere la ayuda profesional para la colocación y calibración apropiadas del detector.

Otra variación de los sistemas basados en edificios tiene lugar cuando el sistema de control de alumbrado está conectado o integrado con un Sistema de Gestión de Edificios. En este caso es posible que el ordenador central (BMS) vigile el control de alumbrado o acoplar la iluminación con otros sistemas del edificio. Esto puede ser útil cuando, por ejemplo, las luces son apagadas en periodos de vacaciones o las prestaciones de los sistemas de calefacción y alumbrado son ajustados para complementarse entre sí. En términos de instalación, esto significa que todos los sistemas del edificio pueden necesitar cableado adicional para conectarlos al BMS, compartiendo, el sistema de control de alumbrado y el BMS, la misma línea bus. Por todo esto, es obvio que los sistemas de gestión de edificios requieren la supervisión de personal cualificado.

El control de apantallamiento automático es también una forma de control basado en el edificio, cuando las pantallas o toldos exteriores son ajustados automáticamente por controladores. Algunas veces este tipo de control automático es también utilizado para un apantallamiento interior que está localizado en una posición de difícil acceso, tal como en una claraboya o en ventanas altas.

4.9 Conocimiento del sistema.

Un aspecto importante de la instalación, pero a menudo pasado por alto, es la formación del personal de mantenimiento y ocupantes del edificio en el funcionamiento y propósito de los sistemas de control que responden a la luz natural. Aunque la mayoría de los fabricantes proporcionan soporte técnico durante la instalación y por un periodo siguiente a la misma, es más fácil, y probablemente más económico, si la mayoría de los problemas pueden ser solucionados por las propias personas que gestionan y ocupan los edificios.

Los gestores del edificio y de las instalaciones necesitan ser conscientes de cómo funciona el sistema y ajustarlo consiguientemente. Deben ser formados para responder preguntas que pueden llegarles de los ocupantes. Necesitan ser conscientes de las prestaciones normales del sistema y de cómo afrontar problemas típicos asociados con su control. Para sistemas simples esta información es encontrada en los manuales de funcionamiento. Para sistemas más complejos son necesarias sesiones de formación especial de los fabricantes (la mayoría de los fabricantes proporcionarán algún soporte técnico).

Los ocupantes del edificio deben recibir información sobre el propósito del sistema. Una buena forma de conseguirlo puede ser colocar tal información en documentos normalmente encontrados en cada oficina, tal como el listín telefónico de la compañía o el libro de personal. Lo siguiente es un ejemplo del texto utilizado para explicar las luminarias con un sistema comercializado:

Las luminarias en su área son completamente inteligentes y se ajustarán ellas mismas automáticamente de acuerdo con el nivel de luz ambiental y se encenderán por detección de movimiento, si el área está ocupada. Algunas luminarias podrían tener más luminancia que otras. Esto es normal, ya que las condiciones de luz ambiental podrían diferir. Algunas luminarias pueden apagarse completamente ya que nadie ocupa el área o hay suficiente luz natural disponible. Cualesquiera otras cuestiones relacionadas con el alumbrado en su área deben ser comunicadas a la persona encargada de las instalaciones.

Capítulo V. Estudio caso de aplicación.

5.1 Introducción.

Como se comenta anteriormente el alumbrado de un edificio representa el mayor porcentaje de la energía eléctrica consumida, es por ello que cualquier medida de ahorro energético en iluminación tendrá una repercusión importante en los costes de funcionamiento del edificio.

Se estima que podrían lograrse reducciones de entre el 30% y el 50% en el consumo eléctrico de alumbrado, merced a la utilización de componentes más eficaces, al empleo de sistemas de control y a la integración de la luz natural.

Además puede haber un ahorro adicional si el edificio tiene aire acondicionado, ya que la iluminación de bajo consumo energético presenta una menor emisión de calor.

Por otro lado, el ahorro energético en iluminación no debe estar reñido con la calidad del servicio y los sistemas de iluminación del edificio han de proporcionar el nivel luminoso adecuado para cada actividad, creando un ambiente agradable y una buena sensación de confort. Para ello se aconseja seguir las recomendaciones de la Norma Española UNE-EN 12464-1 y su tabla 5.36 sobre establecimientos educativos – Edificios educativos sobre iluminación en colegios.

Nº ref.	Tipo de interior, tarea y actividad	\bar{E}_m lx	UGRL	Uo	Ra	Requisitos específicos
5.36.1	Aulas, aulas tutoría	300	19	0,60	80	La iluminación debería ser controlable
5.36.2	Aulas para clases nocturnas y educación de adultos	500	19	0,60	80	La iluminación debería ser controlable
5.36.3	Auditorio, sala de lectura	500	19	0,60	80	La iluminación debería ser controlable para colocar varias A/V necesarias
5.36.4	Pizarras negras, verdes y blancas	500	19	0,70	80	Deben evitarse las reflexiones especulares El presentador/profesor debe iluminarse con la iluminación vertical adecuada
5.36.5	Mesa de demostraciones	500	19	0,70	80	En salas de lectura 750 lx
5.36.6	Aulas de arte	500	19	0,60	80	
5.36.7	Aulas de arte en escuelas de arte	750	19	0,70	90	5 000 K ≤ TCP < 6 500 K
5.36.8	Aulas de dibujo técnico	750	16	0,70	80	
5.36.9	Aulas de prácticas y laboratorios	500	19	0,60	80	
5.36.10	Aulas de manualidades	500	19	0,60	80	

INVESTIGACIÓN DE LOS FACTORES INCIDENTES EN LA EFICIENCIA ENERGÉTICA Y MANTENIBILIDAD DE LOS SISTEMAS DE ILUMINACIÓN INTERIOR DE EDIFICIOS

5.36.11	Talleres de enseñanza	500	19	0,60	80	
5.36.12	Aulas de prácticas de música	300	19	0,60	80	
5.36.13	Aulas de prácticas de informática (guiado por menú)	300	19	0,60	80	Trabajo con EPV, véase el apartado 4.9
5.36.14	Laboratorio de lenguas	300	19	0,60	80	
5.36.15	Aulas de preparación y talleres	500	22	0,60	80	
5.36.16	Vestíbulo de entrada	200	22	0,40	80	
5.36.17	Áreas de circulación, pasillos	100	25	0,40	80	
5.36.18	Escaleras	150	25	0,40	80	
5.36.19	Aulas comunes de estudio y aulas de reunión	200	22	0,40	80	
5.36.20	Salas de profesores	300	19	0,60	80	
5.36.21	Biblioteca: estanterías	200	19	0,60	80	
5.36.22	Biblioteca: áreas de lectura	500	19	0,60	80	
5.36.23	Almacenes de material de profesores	100	25	0,40	80	
5.36.24	Salas de deportes, gimnasios, piscinas	300	22	0,60	80	Véase la Norma EN 12193 para las condiciones de entrenamiento
5.36.25	Cantinas escolares	200	22	0,40	80	
5.36.26	Cocina	500	22	0,60	80	

Figura 5.1: Los parámetros de iluminación recomendados para las distintas dependencias de un centro docente

Fuente: (Norma Española UNE-EN 12464-1).

5.2 Estudio de Aplicación.

El estudio está realizado en un edificio destinado a colegio “Los Dominicos”, situado en Valencia, actualmente la iluminación de este se encuentra totalmente desfasada, teniendo unos costes económicos elevados, por el consumo eléctrico y el mantenimiento que esta requiere, a continuación se detalla los resultados de acciones relativas a la mejora de la eficiencia energética en iluminación así como ver las características de fiabilidad de la instalación en sectores críticos de este tipo de edificios, durante las visitas e inspecciones realizadas entre los meses de Septiembre de 2011 a Junio de 2012.



Figura 5.2: Fotografía aérea del edificio. Fuente elaboración propia



Figura 5.3: Fotografía fachada principal del edificio. Fuente elaboración propia

En el diseño de edificios escolares y específicamente en aulas, es de fundamental importancia considerar la existencia de las posibles ventanas, ya que los mismos huecos de estas deben aportar niveles adecuados de iluminación natural en el interior, de manera tal de garantizar el confort visual a sus ocupantes, así como favorecer el ahorro de energía eléctrica en iluminación artificial. El confort visual tiene fundamental importancia al analizar los parámetros de confort en los ambientes.

El documento está compuesto por dos apartados principales: Estudio de acciones de eficiencia Energética y Estudio de Fiabilidad.

5.2.1 Estudio de acciones de eficiencia energética.

El alcance del estudio energético engloba a los equipos e instalaciones de iluminación y eléctricas y cubren los siguientes objetivos:

- Realización de diagnóstico energético con el objeto de:
 - Fijar las bases sobre las que se ha realizado el estudio (condiciones de funcionamiento).
 - Conocer la distribución de consumos del edificio entre los diferentes equipos consumidores.
 - Diseño adecuado. Disponer de algún sistema de aportación de luz natural hacia el interior.
 - Utilizar luminarias con diseño y siempre de máxima eficiencia energética, y lámparas de alumbrado de bajo consumo, alta duración, y alto rendimiento.
 - Considerar la instalación de luminarias para espacios exteriores que funcionen con placas fotovoltaicas.

- Utilizar sistemas de control, regulación automática y programación de los sistemas de iluminación
- Analizar los estados de operación de determinados equipos desde el punto de vista del rendimiento energético de la instalación
- Presentar las oportunidades de ahorro energético y económico detectadas con el objeto de:
 - Reducir el coste económico que supone la iluminación actualmente existente en el edificio que permita conocer el impacto a nivel de ahorro económico asociado a dicha acción
 - Definir un sistema de medida que permita realizar un seguimiento sobre las acciones asociadas a consumos residuales y seguimiento de acciones de mejora realizadas.
 - Definir acciones de ahorro energético en cuanto a volumen de ahorro e inversión, que permitan decidir sobre la ejecución del proyecto en cuestión.

5.2.2 Estudio de fiabilidad.

El Estudio de Fiabilidad presenta las valoraciones, análisis y recomendaciones realizadas en relación con los equipos eléctricos, las redes eléctricas y la organización de la actividad de mantenimiento. El contenido del estudio de fiabilidad se basa en la información recopilada en el edificio durante las diversas visitas técnicas realizadas y tiene por objeto evaluar el rendimiento básico de la instalación de iluminación y ofrecer mejoras para cubrir las necesidades luminotécnicas del colegio.

5.3 Datos necesarios para el estudio.

Para la realización del presente estudio, han sido necesarios datos de diferentes parámetros, que han sido obtenidos por diferentes cauces:

- Datos provenientes de diversas reuniones con la dirección del colegio, en los que en base a su conocimiento de las instalaciones y procesos se pueden estimar diversos regímenes de trabajo o funcionamiento.
- Datos de la facturación eléctrica, tomados telemáticamente por la compañía suministradora de electricidad (Iberdrola) en periodos cuarto-horarios en seis periodos.
- Medidas realizadas mediante analizador de redes sobre diversos equipos e instalaciones.
- Medición mediante luxómetro de diversos valores medios de iluminación (lux), para establecer un nivel óptimo de eficiencia lumínica.

5.4 Metodología del estudio.

Después de las primeras visitas al edificio se realizó un estudio previo superficial, donde se detectaron una serie de deficiencias a nivel luminotécnico, las cuales son verdaderamente perjudiciales para el sistema de la eficiencia energética, esto implica a realizar un estudio profundo del sistema actual de alumbrado y de las instalaciones eléctricas que son de mucha importancia ya que estas son las encargadas de transportar la energía eléctrica hasta el punto de iluminación y por consiguiente pueden estar afectadas por el mal comportamiento de las luminarias actuales.

Por otro lado existe la costumbre por parte de los participantes de haber un gran porcentaje de aulas con la iluminación en funcionamiento en plena luz del día, sin haber actividad ni personal en ella, bien sea por el tiempo de descanso, o bien por la hora de comida o incluso haber terminado las clases a las 17,00 horas y seguir en funcionamiento hasta las 20,00 ó 21,00 horas que el conserje apaga totalmente todo el edificio, como observaremos más adelante el horario de presencia de personal en las aulas no supera las cinco horas diarias, por lo que con esta filosofía y teniendo en cuenta el número de aulas, esto genera un gasto de energía eléctrica anual considerable.

Se observa que la mayor parte de iluminación esta realizada con lámparas y luminarias deficientes, como puede ser fluorescencia con balastos electromagnéticos, este tipo de equipos son perjudiciales para la vida de la lámpara, empeoran el factor de potencia de la instalación y por consiguiente aumentan el consumo de energía reactiva de la misma y además no permiten la regulación del su flujo luminoso esto implica a estudiar la posibilidad de cambiar los equipos y lámparas o incluso la luminaria completa, ya que esta también juega un gran papel en función al reflector que esta disponga, teniendo en cuenta que este es uno de los factores más importantes para conseguir un gran rendimiento de la luminaria.

No existe en el edificio ningún tipo de regulación en función al aporte de luz natural disponible, así como detectores de presencia para pasillos, aseos, vestuarios, etc., el control es imprescindible para una eficaz eficiencia energética.

El mantenimiento es muy limitado, únicamente entra en acción cuando deja de funcionar cualquier punto de la instalación, y el objetivo es simplemente sustituir o reparar la lámpara o equipo en mal estado por uno nuevo, en ningún momento se llevan a cabo los puntos que se especifican el capítulo III de este estudio.

La metodología del estudio se basa en el seguimiento y estudio del edificio teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

- Estudiar el consumo eléctrico destinado a la iluminación de todo el edificio.
- Estudiar el tipo de luminarias adecuadas para las diferentes estancias que componen el colegio en función a la actividad que estén sometidas y la cantidad de aporte de luz natural.
- Estudiar las horas de funcionamiento de las diferentes estancias, sobre todo las aulas, ya que pueden ser las más conflictivas en cuanto al consumo inadecuado.
- Estudiar la disposición más adecuada de las luminarias a sustituir para evitar deslumbramientos en el plano de trabajo.

INVESTIGACIÓN DE LOS FACTORES INCIDENTES EN LA EFICIENCIA ENERGÉTICA Y MANTENIBILIDAD DE LOS SISTEMAS DE ILUMINACIÓN INTERIOR DE EDIFICIOS

- Estudiar el aporte de luz natural en cada una de las estancias y dependiendo de esta combinarla con la luz artificial.
- Determinar en cualquier caso las estancias donde el personal hace uso de ellas muy puntualmente, como puede ser almacenes, archivos, etc.
- Estudiar y optar por los diferentes tipos de control que se puedan aplicar a la instalación la cual se esté estudiando, en función a su actividad, aporte de luz natural, al tipo de luminaria, etc.
- Realizar mediciones luminotécnicas y verificar que efectivamente se está cumpliendo con la normativa vigente y reglamentaciones, es decir con el Código Técnico de la Edificación, definido en el Capítulo II de este estudio.
- Verificar que el factor de potencia en la instalación a mejorado favorablemente y justificar que efectivamente el consumo de energía reactiva a menguado considerablemente, lo cual nos indica un ahorro de energía eléctrica.
- Estudiar la viabilidad de un plan de mantenimiento, para evitar que el nivel de iluminación de origen disminuya considerablemente con el paso del tiempo, además las instalaciones pueden estar funcionando en mal estado y esto provocar un gasto económico innecesario.
- Informar a la plantilla de los resultados que se van obteniendo con los mecanismos de regulación y control, la falta de información traerá consigo la indiferencia, y no se alcanzaran los potenciales niveles de ahorro previstos.

5.5 Procedimiento del estudio.

En primer lugar una vez analizado el consumo eléctrico del edificio, se aprecia que el mayor porcentaje es el de alumbrado, siendo este un 65% del total (figura 5.4).

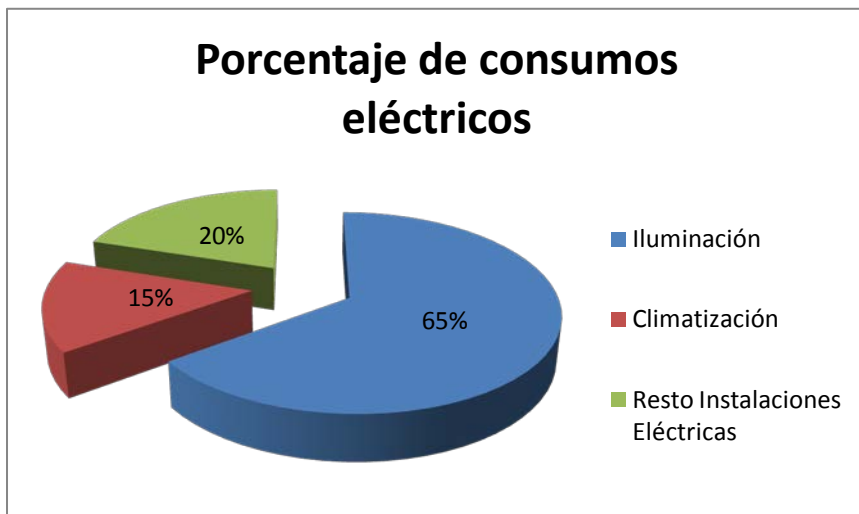


Figura 5.4: Porcentaje de consumos eléctricos del edificio. Fuente elaboración propia

5.5.1 Elementos básicos de un sistema de alumbrado.

Vista en la figura 5.4, se observa que el mayor consumo es el de iluminación, por lo que se toman medidas para llevar a cabo el estudio de eficiencia energética con respecto al alumbrado de este edificio, los elementos básicos de un sistema de alumbrado son:

- Fuente de luz o lámpara, es el elemento destinado a suministrar la energía lumínica.
- Luminaria, es el aparato cuya función principal es distribuir la luz proporcionada por la lámpara.
- Equipo auxiliar, muchas fuentes de luz no pueden funcionar con conexión directa a la red, y necesitan dispositivos que modifiquen las características de la corriente de manera que sean aptas para su funcionamiento.

Estos tres elementos constituyen la base del alumbrado y de ellos va a depender esencialmente su eficiencia energética.

No obstante además de estos tres elementos, hay que tener muy en cuenta además los factores que se indican en la figura 5.5, y que a continuación se detallan.

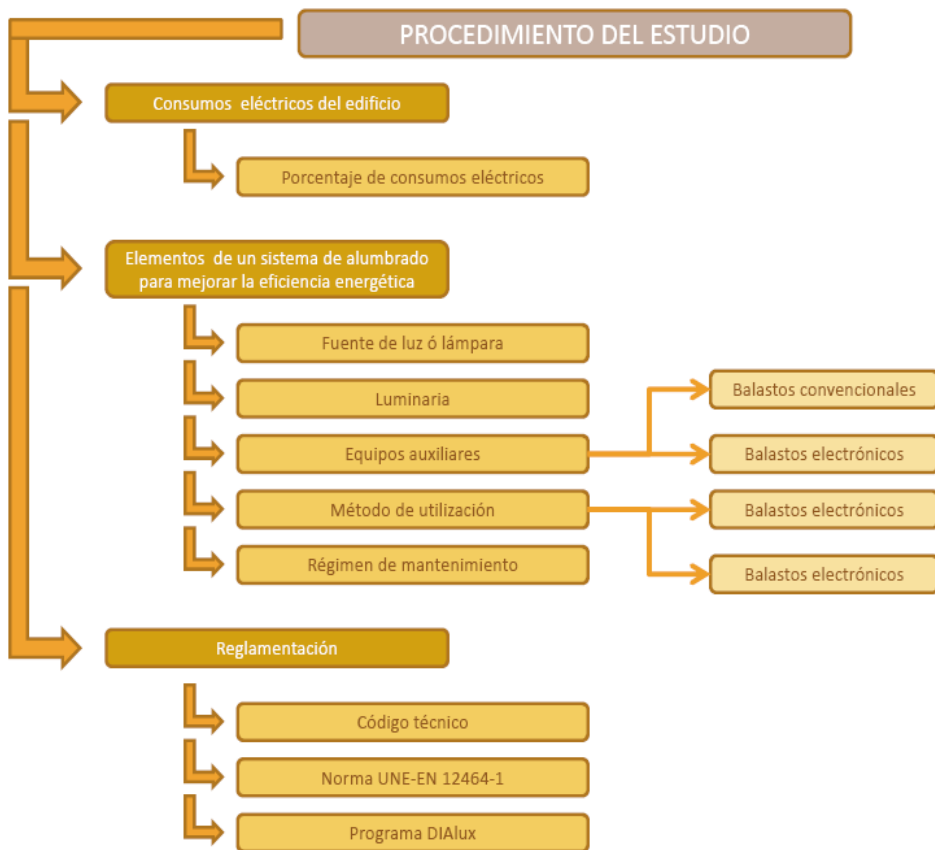


Figura 5.5: Procedimiento del estudio. Fuente elaboración propia

Como se comenta en apartados anteriores el consumo energético de una instalación de alumbrado depende de tres factores:

- La eficiencia de los diferentes componentes del sistema: lámparas, luminarias y balastos.
- La manera como se utiliza estos sistemas, muy influenciada por los sistemas de control y la disponibilidad de luz natural.
- El régimen de mantenimiento.

Así pues, para optimizar el consumo de alumbrado en un colegio es necesario además de utilizar lámparas y equipos eficientes, conocer y controlar dicho consumo para poder saber en cada momento como corregir el consumo innecesario.

5.5.2 Medidas adoptadas para el estudio.

Para reducir el consumo energético de una instalación de alumbrado existe una serie de medidas ya mencionadas en el capítulo anterior, el colegio en cuestión es un edificio existente y de avanzada edad, por lo que esto limita a realizar una instalación de mejora

amplia, sobre todo a nivel económico, no obstante se estudian los métodos más adecuados para la situación que nos ocupa, y siempre aprovechando al máximo lo estudiado para conseguir el mejor rendimiento y eficiencia energética con el menor coste posible y el menor tiempo de amortización, así como de un mantenimiento lo más reducido posible pero eficaz, tal y como se comenta en apartados anteriores.

Para la realización del estudio se ha tenido en cuenta lo estipulado en el Código Técnico de la Edificación en su sección HE 3 (Eficiencia Energética de las Instalaciones de Iluminación), así como la Norma Española UNE-EN 12464-1 (Iluminación de los Lugares de trabajo), el programa de iluminación DIALux y los diferente fabricantes de lámparas y luminarias que existen en el mercado.

El colegio es un edificio de seis plantas (Planta sótano, planta baja y plantas 1ª, 2ª, 3ª y 4ª) distribuidas de la siguiente forma:

PLANTA SOTANO	GIMNASIO TATAMI CAPILLA SALON DE ACTOS CUARTO CABINA ALMACENES BIBLIOTECA ASEOS TALLER ARCHIVO BIBLIOTECA AULA TECNOLOGIA AULA INFORMATICA AULA AUDIOVISUALES PASILLO DESPACHOS
PLANTA BAJA	SALAS VISITAS 1-7 ASEOS VESTUARIOS NIÑOS VESTUARIOS NIÑAS REPROGRAFIA ADMINISTRACION DIRECCION HALL INFANTIL PATIO
PLANTAS 1ª - 4ª	SALA PROFESORES AULAS 1-11 ASEOS

Para el estudio nos centramos en un aula tipo, ya que parece que sea la más desfavorable en cuanto a consumo y además como se puede observar en la figura anterior el colegio dispone de cuarenta y cuatro aulas iguales, lo que nos lleva a un apreciación del ahorro que se puede conseguir con los métodos que a continuación aplicaremos.

De las diferentes modalidades que existen para este tipo de estudio y teniendo en cuenta lo dicho anteriormente en cuanto al estado del edificio, se ha llevado el siguiente criterio:

(figura 5.6)

Iluminación Actual, se ha realizado un estudio luminotécnico de un aula tipo con el fin de verificar la cantidad de Lux que actualmente dispone, por otro lado el número de luminarias y lámparas así como la suma de potencias y de esta manera conocer el consumo energético actual, para que este se pueda comparar con los nuevos métodos de estudio, también se ha analizado aunque ahora no es de gran importancia ya que se pretende cambiar la instalación, la verificación del cumplimiento con las normas anteriormente citadas.

El siguiente paso es analizar el procedimiento de los métodos a estudiar, en primer lugar se estudia la sustitución de las luminarias y lámparas, la luminaria es el elemento donde va instalada la lámpara y su función principal es la de distribuir la luz producida por la fuente, en la forma más adecuada a las necesidades, hoy en día las luminarias contienen sistemas reflectores diseñados para dirigir la luz de las lámparas en la dirección deseada, por ello sustituyendo las luminarias antiguas por unas de elevado rendimiento conlleva a un ahorro energético, así como una mejora de las condiciones visuales.

Por lo tanto las nuevas luminarias a estudiar son de menor consumo, mayor rendimiento y con una gran vida útil de la lámpara.

En la iluminación actual se observa que las luminarias están compuestas por balastos electromagnéticos o bien llamados convencionales, lo que esto supone un incremento de energía activa y energía reactiva, por lo que estas nuevas luminarias serán con lámparas fluorescentes con balastos electrónicos.

Lámparas Fluorescentes con Balastos Electrónicos, Las lámparas fluorescentes son generalmente las más utilizadas para las zonas donde precisa una buena calidad de iluminación, este tipo de lámpara de descarga, necesita un equipo auxiliar (reactancia ó balasto) que regule la intensidad de paso de la corriente.

El balasto convencional que se ha estado utilizando en la mayoría de luminarias es de tipo electromagnético, que consiste en un gran número de espiras de hilo de cobre arrolladas sobre un núcleo y que por su concepción tiene elevadas pérdidas térmicas, lo que se traduce en un consumo energético, que a veces puede alcanzar el 50% de la potencia de la lámpara, sin embargo los balasto electrónicos no tienen pérdidas a la inducción ni al núcleo, por lo que el consumo energético es bastante inferior.

Este tipo de balastos permite la regulación de la intensidad de la lámpara, lo cual a su vez permite adaptar el nivel de iluminación a las necesidades, con la consiguiente optimización del consumo energético. Esta posibilidad resulta interesante en sistemas de iluminación con control fotosensible que permite ajustar el nivel de iluminación en función de la luz natural.

Con los balastos electrónicos se consiguen los siguientes puntos:

- Mejoran la eficiencia de la lámpara y del sistema.
- Optimizar el factor de potencia.

- Proporcionar un arranque instantáneo.
- Incrementar la vida de la lámpara.
- Permite una buena regulación del flujo luminoso de la lámpara.
- No producen zumbidos ni otros ruidos.

Se estudia también con luminarias tipo Leds que como su nombre lo indica es un diodo semiconductor que emite luz, estos han sido usados en diversas aplicaciones tales como aviación e iluminación automotriz (específicamente para luces traseras direccionales e indicadores), también en aplicaciones de tráfico como las señales luminosas de los semáforos, las pantallas LED que se utilizan para avisos publicitarios. Actualmente se están diseñando para alumbrado interior en los edificios, consiguiendo un gran ahorro energético, pero poco rendimiento luminotécnico, esto implica el elevado número de luminarias que se deben instalar para cumplir los Lux necesarios según la norma UNE-EN 12464-1, lo cual el coste de instalación es elevado.

Aprovechamiento de la Luz Natural, una vez decididas los tipos de luminarias a estudiar, se define la parte del aprovechamiento de luz natural, el uso de este tipo de iluminación tiene un impacto considerable en el aspecto del espacio iluminado, y puede tener implicaciones considerables a nivel de la eficiencia energética. Los ocupantes de un edificio generalmente prefieren un espacio bien iluminado con luz diurna, siempre que se eviten los problemas de deslumbramiento y de calentamiento.

Hay que tener en cuenta que para un buen aprovechamiento de la luz natural es importante asegurar que la iluminación eléctrica se apague o disminuya cuando la luz diurna suministra una iluminación adecuada.

Para el estudio se ha tomado medidas luminotécnicas a base de un luxómetro en el aula tipo y se ha llegado a la conclusión que el aporte de luz natural ahorra aproximadamente un media del 35% de la iluminación artificial, llegando a momentos puntuales del día en algunas aulas al 60% y 70%, dado que la superficie del aula no es excesiva, la luz natural afecta a prácticamente toda la superficie, por lo que se decide que las luminarias sean todas con regulador de iluminación.

Sistemas de Control y Regulación, el sistema de control estudiado será a base de detectores de presencia, de esta manera aseguramos que el funcionamiento de las luminarias sea únicamente cuando en la sala se encuentre personal, esto conlleva a que las horas de funcionamiento al día bajen considerablemente, y en consecuencia el consumo energético.

El sistema de regulación lo llevara incorporado las propias luminarias, ya que este tipo de luminarias dispone de un sensor regulador luminotécnico que su función es bajar de rendimiento luminotécnico la luz artificial de la luminaria en función a la cantidad de lux que aporte la luz natural.

En sistemas de gestión de iluminación en función de la luz del día y la presencia, la luz natural en un aula es suplementada por luz artificial desde luminarias equipadas con equipos electrónicos regulables.

Los sensores de luz detectan el nivel de luminosidad comprendido entre luz artificial y luz natural. Los grupos de luminarias son controlados según su posición en el aula y la

cantidad de luz natural disponible de modo que el nivel de luminosidad predefinida se mantenga.

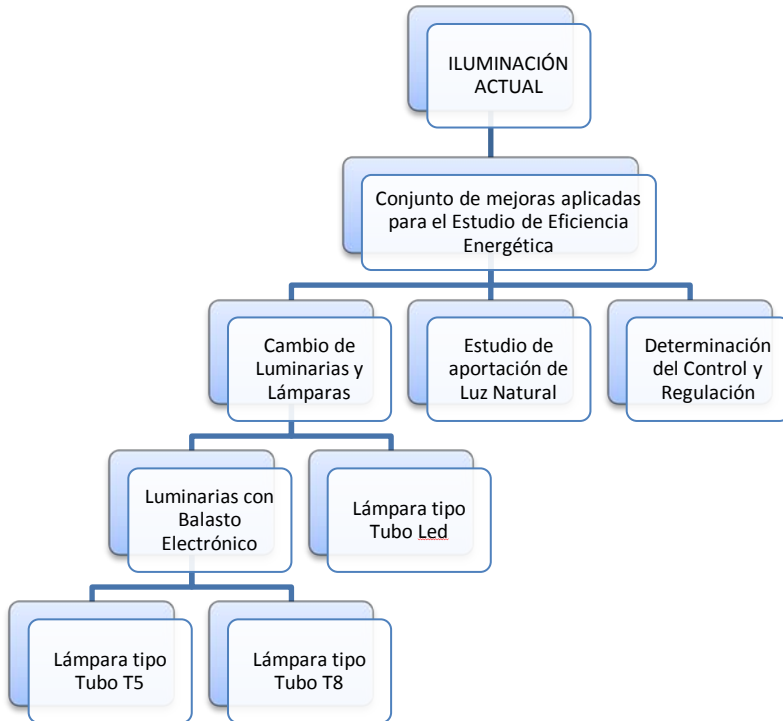


Figura 5.6: Diagrama medidas adoptadas para el estudio del ahorro de energía.

Fuente elaboración propia

5.6 Estudio iluminación actual.

En primer lugar se realiza el estudio luminotécnico del estado actual con el programa DIALux (el estudio se encuentra en el anexo), y acompañado de una hoja de Excel (elaboración propia), se obtienen los resultados que a continuación se detallan, para posteriormente compararlos con los nuevos métodos considerados.

Los datos necesarios de la sala para trabajar en el programa del cálculo luminotécnico y obtener los resultados adecuados a esta son los siguientes:



Figura 5.7: Diagrama de datos necesarios para el cálculo luminotécnico. **Fuente:** elaboración propia

Una vez calculada la sala obtenemos los resultados, los cuales se verificarán que cumplan con las normativas vigentes (Código Técnico de la edificación; Norma UNE-EN 12.464-1), los resultados obtenidos son los siguientes:

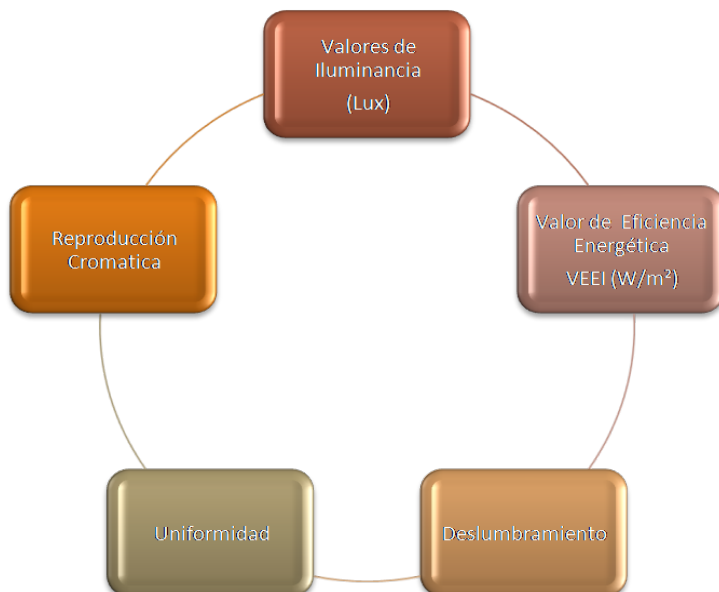


Figura 5.8: Diagrama de resultados luminotécnicos. **Fuente:** elaboración propia

En los resultados que se observan a continuación únicamente figura el Valor de eficiencia energética (VEEI), no obstante el estudio completo se encuentra en el anexo del presente estudio.

A continuación pasamos a exponer el estudio obtenido de eficiencia energética de la sala existente:

La sala tiene una superficie de 50,37 m² y cuenta actualmente con cuatro luminarias tipo regleta con lámparas tipo tubo fluorescente de 36 W. y con balasto convencional (electromagnético), como se puede apreciar en la tabla 5.9 de datos y resultados, el consumo del balasto convencional es de 25 W. es decir que la potencia de la lámpara esta incrementada en un 25% de su potencia nominal, además como se comenta en apartados anteriores esto conlleva a un consumo considerable de energía reactiva.

DATOS		RESULTADOS	
Nivel de Iluminancia (Lux)	334,00	KWH consumo/día	5,86
Potencia de la lámpara (W)	36,00	KWH consumo/mes	128,83
Potencia lámpara + Equipo (W)	61,00	VEEI	2,90
Nº Lámparas por luminaria	2,00	Potencia total luminaria (W)	122,00
Nº Luminarias	4,00	Potencia total Instalada (W)	488,00
Nº Horas/día funcionamiento	12,00		
Nº Días al mes	22,00		
Superficie del local m ²	50,37		
Precio del KWH	0,16		

Tabla 5.1: Tabla de datos y resultados. **Fuente:** elaboración propia

La tabla 5.10, nos muestra el consumo y gasto acumulado anual de la sala, teniendo en cuenta las conversaciones mantenidas con el personal del edificio, nos indicaban que en el mes de Junio, las clases se reducían en un 50% aproximadamente, y en los meses de Julio y Agosto por motivos de mantenimiento del edificio o incluso clases esporádicas a personal mayor, las instalaciones estaban en funcionamiento al 30% aproximadamente, dados estos datos se obtienen los siguiente resultados:

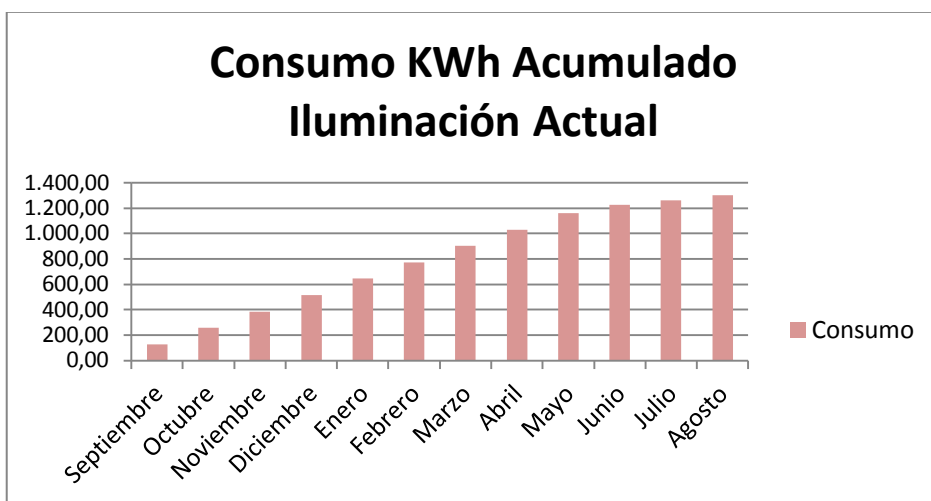
TABLA DE RESULTADOS ACUMULADOS DE CONSUMOS Y GASTOS

MES	CONSUMO Kwh	GASTO (€)
Septiembre	128,83	20,61
Octubre	257,66	41,23
Noviembre	386,50	61,84
Diciembre	515,33	82,45
Enero	644,16	103,07
Febrero	772,99	123,68
Marzo	901,82	144,29
Abril	1.030,66	164,90
Mayo	1.159,49	185,52
Junio	1.223,90	195,82
Julio	1.262,55	202,01
Agosto	1.301,20	208,19

Tabla 5.2: Tabla de resultados acumulados de consumos y gastos. **Fuente** elaboración propia

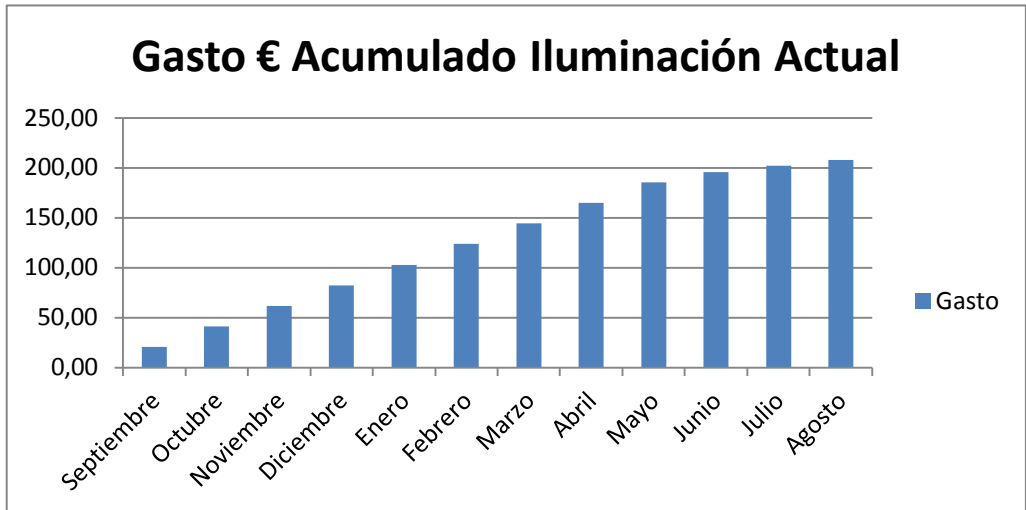
Este sería el consumo y gasto del aula en estudio durante el periodo de un año, teniendo en cuenta que está en funcionamiento doce horas diarias de lunes a viernes.

A continuación se muestra la gráfica obtenida con los resultados del consumo en KWh acumulados de la iluminación actual.



Gráfica 5.1: Consumo KWh acumulado de la iluminación actual. **Fuente** elaboración propia

La siguiente gráfica nos muestra el gasto acumulado que genera durante el periodo de un año la iluminación actual del aula en estudio.



Gráfica 5.2: Gasto KWh acumulado de la iluminación actual. Fuente elaboración propia

Las políticas de mejora de la eficiencia energética abarcan a la totalidad del sistema energético -incluyendo la transformación y el uso final de la energía-, y constituyen, una importante aportación a la protección medioambiental y al desarrollo económico sostenible.

El hecho de que la producción, transporte y uso de la energía lleve asociado algún tipo de impacto ambiental, implica que todas aquellas medidas dirigidas a mejorar la eficiencia energética tengan pues una repercusión positiva desde este punto de vista.

Es más, una de las razones que justifican la necesidad de establecer una Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética viene determinada por motivos de protección del medio ambiente. Nos referimos al cumplimiento de los compromisos asumidos frente al Protocolo de Kioto.

El cambio climático constituye actualmente la mayor amenaza ambiental de este siglo, un hecho hoy día reconocido por gobiernos, científicos, empresas y organizaciones de todo tipo. Aunque la variación del clima constituye un fenómeno natural, el problema al que nos enfrentamos es que esta variación se está viendo acelerada como consecuencia del aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) originadas por la actividad humana.

El principal gas de efecto invernadero emitido por el hombre es el dióxido de carbono o CO₂, procedente en su mayor parte de la quema de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas) y utilizados principalmente en la producción de energía y en el transporte. Las emisiones globales de CO₂ se incrementaron un 80% entre 1970 y 2004 y representaron un 77% de las emisiones totales de gases de efecto invernadero de origen antrópico en 2004.

Según estimaciones del IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía), al ritmo de crecimiento actual sólo tardaremos 35 años en duplicar el consumo mundial de energía y menos de 55 años en triplicarlo. Afrontar el desafío del cambio climático supone, por lo tanto, reducir drásticamente las emisiones de CO₂ asociadas al consumo energético, para lo cual resulta imperativo revertir el crecimiento desmesurado del consumo de energía registrado en los últimos años y empezar a asentar las bases de una cultura energética, basada en el ahorro, el uso de tecnologías más eficientes y en el desarrollo de las fuentes de energía renovables.

La mejora de la eficiencia energética en nuestro país supondrá una menor emisión de gases de efecto invernadero, fundamentalmente CO₂ y metano, que es necesario que se produzca habida cuenta del objetivo establecido de no superar el 15% de incremento de emisiones de gases de efecto invernadero en 2008-2012, respecto a las emisiones de 1990.

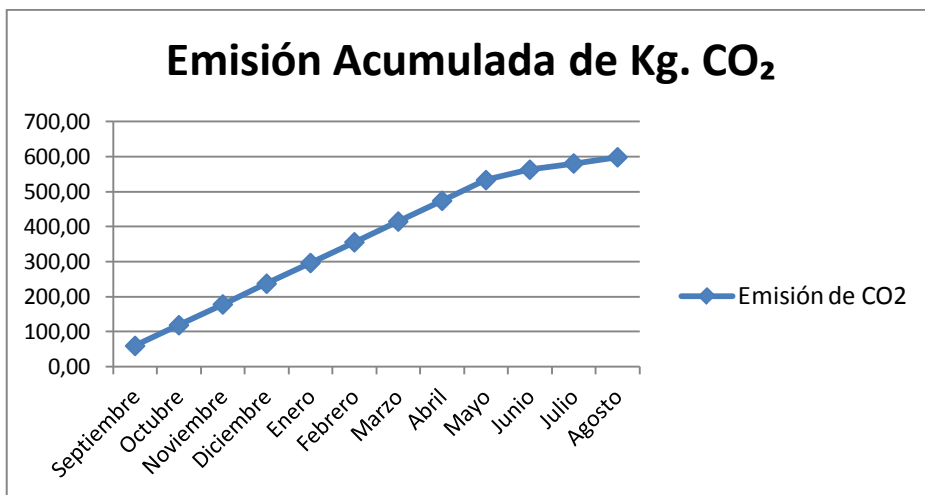
En la tabla 5.3, se muestra la emisión de CO₂, emitido por el consumo de la sala en estudio con la iluminación actual, se aprecia que siendo un consumo elevado es evidentemente que la emisión también lo es.

EMISIÓN DE CO₂

MES	CONSUMO Kwh	Kg de CO ₂
Septiembre	128,83	59,26
Octubre	257,66	118,53
Noviembre	386,50	177,79
Diciembre	515,33	237,05
Enero	644,16	296,31
Febrero	772,99	355,58
Marzo	901,82	414,84
Abril	1.030,66	474,10
Mayo	1.159,49	533,36
Junio	1.223,90	563,00
Julio	1.262,55	580,77
Agosto	1.301,20	598,55

Tabla 5.3: Tabla de resultados emisión de CO₂. Fuente elaboración propia

La siguiente gráfica nos muestra la emisión acumulada de Kg. de CO₂ en función al consumo que genera durante el periodo de un año la iluminación actual del aula en estudio.



Gráfica 5.3: Emisión acumulada de Kg. CO₂. Fuente elaboración propia

5.7 Estudios propuestos de iluminación.

A continuación se describen los diferentes tipos propuestos de iluminación, para la mejora de eficiencia energética que se pretende realizar, el estudio se realiza con tres tipos de lámparas distintas, siendo la tipo fluorescente T5, la tipo fluorescente T8 y el tipo led, una vez calculado el estudio luminotécnico del aula y justificar que cumple con todas las normativas vigentes, y sabiendo la cantidad de luminarias que debe de disponer el aula para cumplir el mínimo de lux exigido según la norma UNE-EN 12464-1 en su tabla 5.36 (Establecimientos educativos-Edificios educativos), se procede al cálculo de cada una de las lámparas obteniendo como resultados el consumo, gasto, ahorro y emisión de CO₂, así como el periodo de amortización de la nueva instalación, estos estudios se realizaran de tres formas diferente, siendo la primera con balasto electrónico, la segunda con balasto electrónico y regulación, es decir con aporte de luz natural y la tercera con balasto electrónico, regulación y detectores de presencia, de esta manera únicamente estará en funcionamiento la instalación cuando en el aula haya personal.

De las diferentes tecnologías de alumbrado que existen, se ha optado por estos tres tipos, ya que actualmente son los más eficientes que existen en el mercado para este tipo de instalaciones.

El sistema T5 no sólo ofrece las mejores condiciones en luminarias súper compactas, orientadas a nuevos diseños, sino que, sobre todo, son también las luminarias más potentes con un grado óptimo de eficacia para la iluminación directa e indirecta o para techos muy altos. Las principales áreas de utilización para las modernas luminarias T5 son, por tanto:

- Oficinas y edificios de administración y enseñanza.
- Iluminación de naves en la industria.

Las lámparas fluorescentes T5 pueden funcionar únicamente con Equipos de Conexión electrónicos. Por lo tanto, las lámparas están diseñadas para conseguir el óptimo flujo luminoso y la vida de la lámpara. Las lámparas T8 en cambio, pueden funcionar tanto con equipo electrónico como con balasto convencional.

El flujo máximo de las lámparas T5 se consigue a 35º C, lo que varía respecto las lámparas T8, cuyo flujo máximo se consigue a 25º C.

Las lámparas T5 cuentan con la singular tecnología, proporcionando muy buena reproducción cromática y de forma uniforme sobre todo el espectro cromático. Pero no sólo se ofrece la reproducción cromática de Ra= 80-89.

Comparación lúmenes entre lámparas T8 y T5

T8 (26mm de diámetro)

600mm	900mm	1.200mm	1.500mm
18W	30W	36W	58W
1.350lm	2.400lm	3.350lm	5.000lm

Flujo luminoso a 25°C.

T5 HE (16mm de diámetro)

550mm	850mm	1.150mm	1.450mm
14W	21W	28W	35W
1.200lm	1.900lm	2.600lm	3.300lm

Flujo luminoso a 25°C.

T5 HO (16mm de diámetro)

550mm	850mm	1.150mm	1.450mm
24W	39W	54W	49/ 80W
1.750lm	3.100lm	4.450lm	4.300/ 6.150lm

Flujo luminoso a 25°C.

Los Leds son fuentes de luz de muy reducido peso y dimensiones. Su pequeño tamaño puede ser una ventaja para el diseño de fuentes de luz compactas.

A diferencia de la mayoría de las lámparas, los Leds no suelen sufrir “fallos catastróficos” (es decir, fallos que hacen que la lámpara deje de funcionar súbitamente). El fin de la vida de un Led, se produce cuando con el paso del tiempo, el flujo lumínico emitido se reduce hasta un determinado límite.

Dado que el tiempo que tarda un Led en disminuir su flujo luminoso de forma que deje de ser útil, puede ser incluso de años, se establece como vida útil el tiempo que tarda en disminuir su cantidad de luz a la mitad de la que tenía en un principio. Incluso con este método, el tiempo de vida de un Led bajo condiciones nominales de trabajo puede llegar a ser de hasta 150.000 horas (17 años).

En la actualidad son necesarios unos 21 Leds blancos para duplicar la luz producida por una bombilla incandescente de 100 W. No obstante, el consumo de potencia sería de solo 45 W. Una bombilla fluorescente, consumiría en el rango de los 20 a 25 W para producir la

misma cantidad de luz. Se puede decir, por tanto, que en la actualidad son capaces de ofrecer eficientes alternativa en algunas, pero no todas las aplicaciones.

5.8 Estudio iluminación con tubo T5.

Las luminarias que se estudian son de tipo superficial con dos lámparas cada una de ellas del modelo T5 con una potencia por lámpara de 28 W. y balasto electrónico.

ESTUDIO ILUMINACION CON TUBO TIPO T5

5.8.1 Estudio tubo T5 sin regulación y sin detector de presencia.

ESTUDIO CON ILUMINACIÓN TUBO TIPO 5 SIN REGULACIÓN Y SIN DETECTOR DE PRESENCIA

Como se ha comentado anteriormente, el calculo que observamos a continuación es únicamente con balasto electrónico, aquí no se tiene en cuenta la regulación por aporte de luz natural ni detectores de presencia.

DATOS		RESULTADOS	
Nivel de Iluminancia (Lux)	496,00	KWH consumo/día	4,32
Potencia de la lámpara (W)	28,00	KWH consumo/mes	95,04
Potencia lámpara + Equipo (W)	30,00	VEEI	1,44
Nº Lámparas por luminaria	2,00	Potencia total luminaria (W)	60,00
Nº Luminarias	6,00	Potencia total Instalada (W)	360,00
Nº Horas/día funcionamiento	12,00		
Nº Días al mes	22,00		
Superficie del local m ²	50,37		
Precio del KWH	0,16		

Tabla 5.4: Tabla de datos y resultados. Fuente elaboración propia

Como podemos observar el nivel de iluminancia en Lux esta dentro de los parámetros exigidos por la norma UNE-EN 12464 o lo que es lo mismo en la tabla 5.4, por otro lado el valor de eficiencia energética (VEEI) está dentro de los límites que nos muestra la Tabla 2.2 (Valores límite de eficiencia energética de la instalación) en función a la zona de actividad diferenciada.

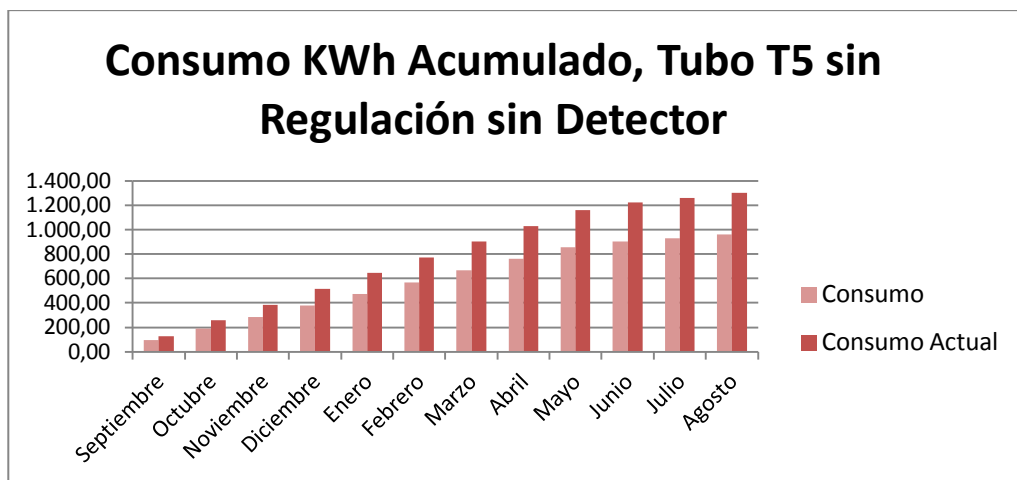
En la tabla 5.5, podemos observar el consumo y el gasto con este tipo de lámpara y su forma de instalación, si los comparamos con la instalación actual (tabla 5.3), se justifica que el gasto es menor, por lo tanto se demuestra que existe un ahorro acumulado anual.

TABLA DE RESULTADOS ACUMULADOS DE CONSUMOS, GASTOS Y AHORRO

MES	CONSUMO Kwh	GASTO (€)	AHORRO (€)
Septiembre	95,04	15,21 €	5,41
Octubre	190,08	30,41 €	10,81
Noviembre	285,12	45,62 €	16,22
Diciembre	380,16	60,83 €	21,63
Enero	475,20	76,03 €	27,03
Febrero	570,24	91,24 €	32,44
Marzo	665,28	106,44 €	37,85
Abril	760,32	121,65 €	43,25
Mayo	855,36	136,86 €	48,66
Junio	902,88	144,46 €	51,36
Julio	931,39	149,02 €	52,99
Agosto	959,90	153,58 €	54,61

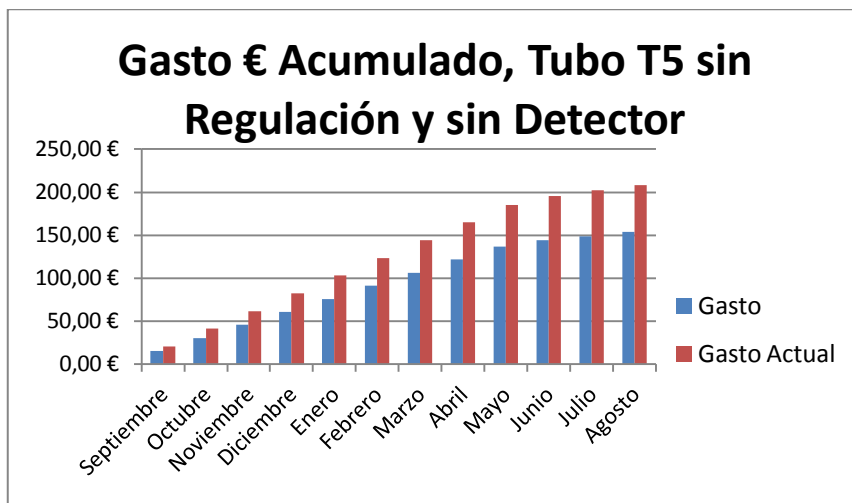
Tabla 5.5: Tabla de resultados acumulados de consumo, gastos y ahorro. **Fuente** elaboración propia

En la gráfica 5.4, se aprecia la diferencia de consumos entre la iluminación actual y la iluminación propuesta.



Gráfica 5.4: Consumo KWh acumulado de la iluminación tubo T5. **Fuente** elaboración propia

En la gráfica 5.5, se aprecia la diferencia de gastos entre la iluminación actual y la iluminación propuesta.



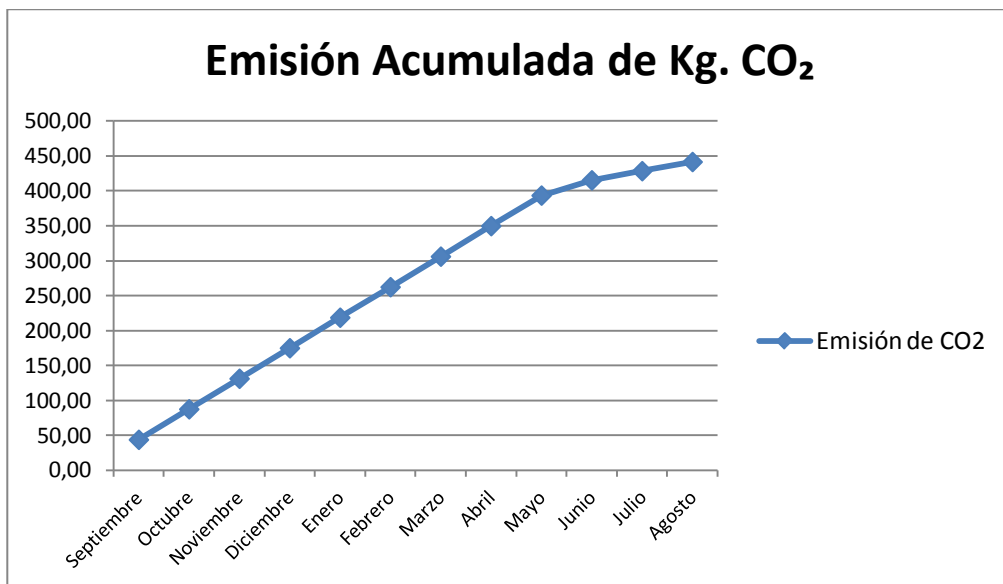
Gráfica 5.5: Gasto euros acumulado de la iluminación tubo T5. Fuente elaboración propia

En la tabla 5.6, se muestra la emisión de CO₂, emitida por la sala en estudio, con la iluminación actual, se aprecia que a medida que sube el consumo evidentemente aumenta la emisión.

EMISIÓN DE CO ₂		
MES	CONSUMO Kwh	Kg de CO ₂
Septiembre	95,04	43,72
Octubre	190,08	87,44
Noviembre	285,12	131,16
Diciembre	380,16	174,87
Enero	475,20	218,59
Febrero	570,24	262,31
Marzo	665,28	306,03
Abril	760,32	349,75
Mayo	855,36	393,47
Junio	902,88	415,32
Julio	931,39	428,44
Agosto	959,90	441,56

Tabla 5.6: Tabla de resultados emisión de CO₂. Fuente elaboración propia

La gráfica 5.6, nos muestra la emisión acumulada de Kg. de CO₂ en función al consumo que genera durante el periodo de un año la iluminación tipo T5 con el método de instalación asignado.



Gráfica 5.6: Emisión acumulada de Kg. CO₂. Fuente elaboración propia

Es muy importante saber el periodo de amortización de la inversión, de esta manera se confirma si la instalación que se pretende instalar es viable, ya que el punto económico de esta suele ser muy elevado.

PERIODO DE AMORTIZACIÓN DE LA INVERSIÓN

Nº Luminarias T5	6,00	Inversión por Sala Materiales	480,00 €
Precio Luminaria T5 sin Regulación	80,00 €	Inversión con Mano de Obra de la Sala	606,18 €
Precio Mano de Obra/Luminaria	21,03 €		
PERIODO DE AMORTIZACION DE LA INVERSION		11,10	Años

Tabla 5.7: Periodo de amortización de la inversión. Fuente elaboración propia

También es de gran importancia saber la vida útil de la lámpara, ya que cabe la posibilidad de que se agote la vida de esta sin haber vencido el periodo de amortización, que como podemos observar es lo que sucede con esta lámpara en función a su método de instalación.

VIDA DE LA LÁMPARA

Horas de Funcionamiento	2.676,00	Horas/Año
Vida Útil de la Lámpara	18.000,00	Horas
Horas de vida después de la Amortización	-11.705,20	Horas
Años de vida después de la amortización		- 4,37 Años

Tabla 5.8: Años de vida de la lámpara después de la amortización. **Fuente** elaboración propia

5.8.2 Estudio tubo T5 con regulación y sin detector de presencia.

ESTUDIO CON ILUMINACIÓN TUBO TIPO 5 CON REGULACIÓN Y SIN DETECTOR DE PRESENCIA

Seguimos con el mismo tipo de lámpara, la diferencia con el apartado anterior es que en este tipo de instalación sí que contamos con el aporte de luz natural por medio de ventanas existentes en el aula.

DATOS		RESULTADOS	
Nivel de Iluminancia (Lux)	496,00	KWH consumo/día	2,81
Potencia de la lámpara (W)	28,00	KWH consumo/mes	61,78
Potencia lámpara + Equipo (W)	30,00	VEEI	1,44
Nº Lámparas por luminaria	2,00	Potencia total luminaria (W)	60,00
Nº Luminarias	6,00	Potencia total Instalada (W)	360,00
Nº Horas/día funcionamiento	12,00		
Nº Días al mes	22,00		
Superficie del local m2	50,37		
Precio del KWH	0,16		

Tabla 5.9: Tabla de datos y resultados. **Fuente** elaboración propia

Después de un estudio de medidas luminotécnicas a base de un luxómetro tomadas en el aula tipo, se ha llegado a la conclusión de que el aporte de luz natural ahorra aproximadamente una media del 35% de la iluminación artificial, llegando a momentos puntuales del día en algunas aulas al 60% y 70%, no obstante para realizar el cálculo se ha escogido el porcentaje más desfavorable, dado que la superficie del aula no es excesiva, la luz natural afecta a prácticamente toda la superficie, por lo que se decide que las luminarias sean todas con regulador de iluminación.

REGULACIÓN

35%

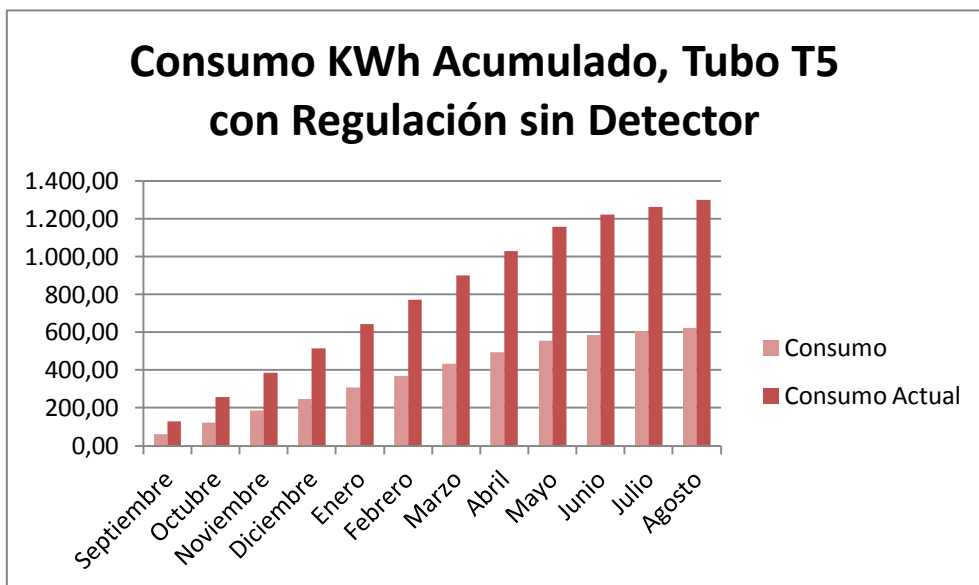
TABLA DE RESULTADOS ACUMULADOS DE CONSUMOS, GASTOS Y AHORRO

MES	CONSUMO Kwh	GASTO (€)	AHORRO (€)
Septiembre	61,78	9,88 €	10,73
Octubre	123,55	19,77 €	21,46
Noviembre	185,33	29,65 €	32,19
Diciembre	247,10	39,54 €	42,92
Enero	308,88	49,42 €	53,64
Febrero	370,66	59,30 €	64,37
Marzo	432,43	69,19 €	75,10
Abril	494,21	79,07 €	85,83
Mayo	555,98	88,96 €	96,56
Junio	586,87	93,90 €	101,93
Julio	605,40	96,86 €	105,14
Agosto	623,94	99,83 €	108,36

Tabla 5.10: Tabla de resultados acumulados de consumo, gastos y ahorro. **Fuente** elaboración propia

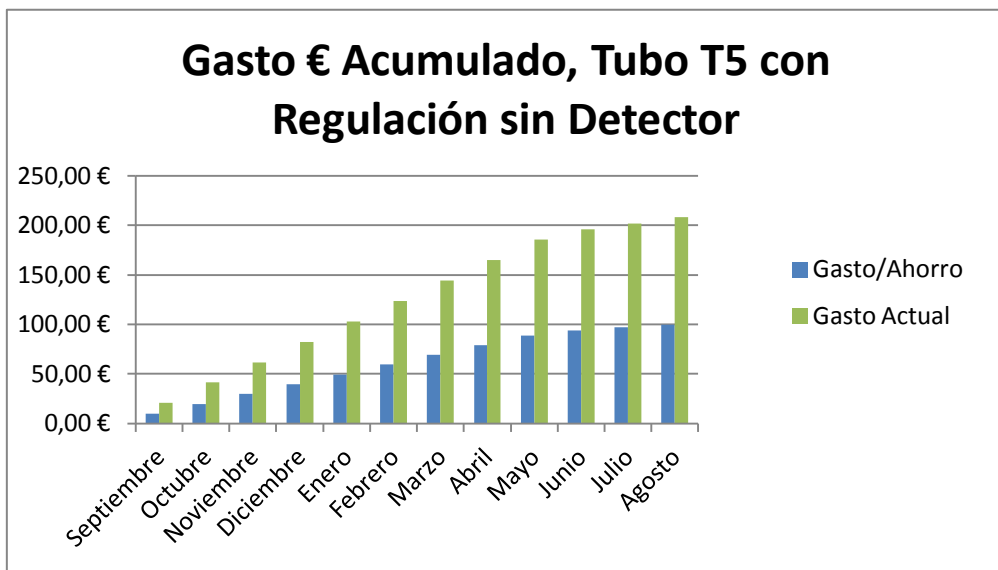
En la tabla 5.10, se puede apreciar el importante ahorro que supone el aporte de luz natural, este tipo de luminarias con regulación automática, reducen la intensidad luminosa de la lámpara en función al aporte de luz natural que exista en ese momento, y evidentemente esto ocasiona un gran ahorro económico y alarga la vida útil de la lámpara.

En la gráfica 5.7, podemos observar la diferencia que existe de consumo entre la iluminación actual y la propuesta con balasto electrónico y la regulación a base de aporte de luz natural.



Gráfica 5.7: Consumo KWh acumulado de la iluminación tubo T5. **Fuente** elaboración propia

De la misma forma se observa en esta gráfica 5.8, la diferencia del gasto entre la iluminación actual y la propuesta.



Gráfica 5.8: Gasto euros acumulado de la iluminación tubo T5. **Fuente** elaboración propia

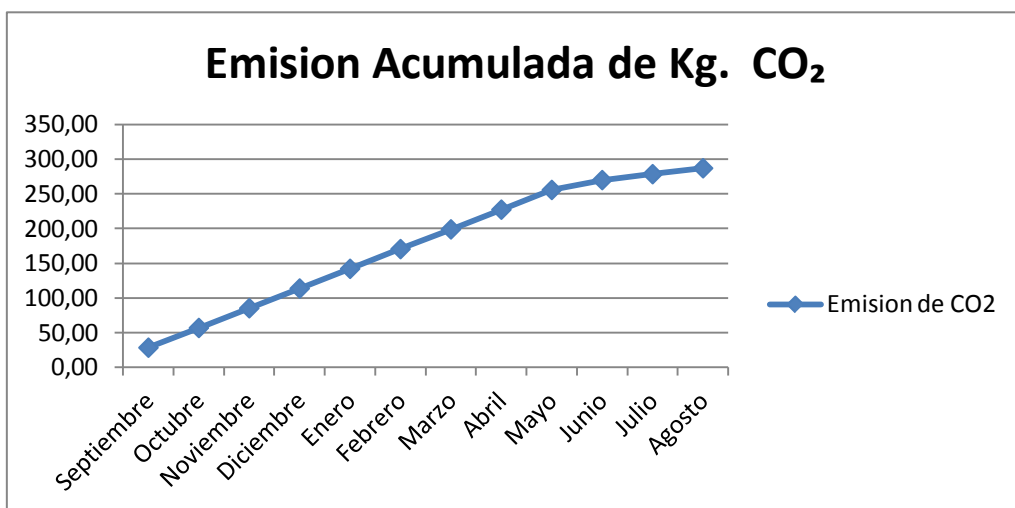
Como se puede observar en la tabla 5.11, a medida que existe menos consumo la emisión de CO₂ baja considerablemente

EMISIÓN DE CO₂

MES	CONSUMO Kwh	Kg de CO2
Septiembre	61,78	28,42
Octubre	123,55	56,83
Noviembre	185,33	85,25
Diciembre	247,10	113,67
Enero	308,88	142,08
Febrero	370,66	170,50
Marzo	432,43	198,92
Abril	494,21	227,34
Mayo	555,98	255,75
Junio	586,87	269,96
Julio	605,40	278,49
Agosto	623,94	287,01

Tabla 5.11: Tabla de resultados emisión de CO₂. Fuente elaboración propia

La gráfica 5.9, nos muestra la emisión acumulada de Kg. de CO₂ en función al consumo que genera durante el periodo de un año la iluminación tipo T5 con el método de instalación asignado.



Gráfica 5.9: Emisión acumulada de Hg. CO₂. Fuente elaboración propia

PERIODO DE AMORTIZACIÓN DE LA INVERSIÓN

Nº Luminarias T5	6,00	Inversión por Sala Materiales	900,00 €
Precio Luminaria T5 sin Regulación	150,00 €	Inversión con Mano de Obra de la Sala	1.026,18 €
Precio Mano de Obra/Luminaria	21,03 €		
PERIODO DE AMORTIZACION DE LA INVERSION		9,47	Años

Tabla 5.12: Periodo de amortización de la inversión. **Fuente** elaboración propia

Como se puede apreciar a mayor ahorro menor periodo de amortización.

VIDA DE LA LÁMPARA

Horas de Funcionamiento	2.676,00	Horas/Año
Vida Útil de la Lámpara	18.000,00	Horas
Horas de vida después de la Amortización	-7.341,40	Horas
Años de vida después de la amortización	-2,74 Años	

Tabla 5.13: Años de vida de la lámpara después de la amortización. **Fuente** elaboración propia

A menor periodo de amortización mas años de vida de la lámpara después de este, con este tipo de lámpara y su método de instalación, se observa también que se agota la vida de esta sin haber vencido el periodo de amortización.

5.8.3 Estudio tubo T5 con regulación y con detector de presencia.

ESTUDIO CON ILUMINACIÓN TUBO TIPO 5 CON REGULACIÓN Y CON DETECTOR DE PRESENCIA

Seguimos con el mismo tipo de lámpara, la diferencia con los apartados anteriores es que en este tipo de instalación sí que contamos con el aporte de luz natural por medio de ventanas existentes en el aula y con detectores de presencia, los cuales van a ser los encargados de tener en funcionamiento la instalación únicamente cuando exista personal dentro del aula, esto implica a que en vez de estar las luminaria en funcionamiento doce horas, solo estarán seis horas, es decir el tiempo justo de clase.

DATOS		RESULTADOS	
Nivel de Iluminancia (Lux)	496,00	KWH consumo/día	1,40
Potencia de la lámpara (W)	28,00	KWH consumo/mes	30,89
Potencia lámpara + Equipo	30,00	VEEI	1,44

(W)		Potencia total luminaria (W)	60,00
Nº Lámparas por luminaria	2,00	Potencia total Instalada (W)	360,00
Nº Luminarias	6,00		
Nº Horas/día funcionamiento	6,00		
Nº Días al mes	22,00		
Superficie del local m ²	50,37		
Precio del KWH	0,16		

Tabla 5.14: Tabla de datos y resultados. Fuente elaboración propia

Por lo tanto en este cálculo se ha tenido en cuenta la regulación por aporte de luz natural y seis horas únicamente de funcionamiento, por mediación del detector de presencia.

REGULACIÓN	35%
------------	-----

HORAS DE FUNCIONAMIENTO CON DETECTOR DE PRESENCIA	6 Horas
---	---------

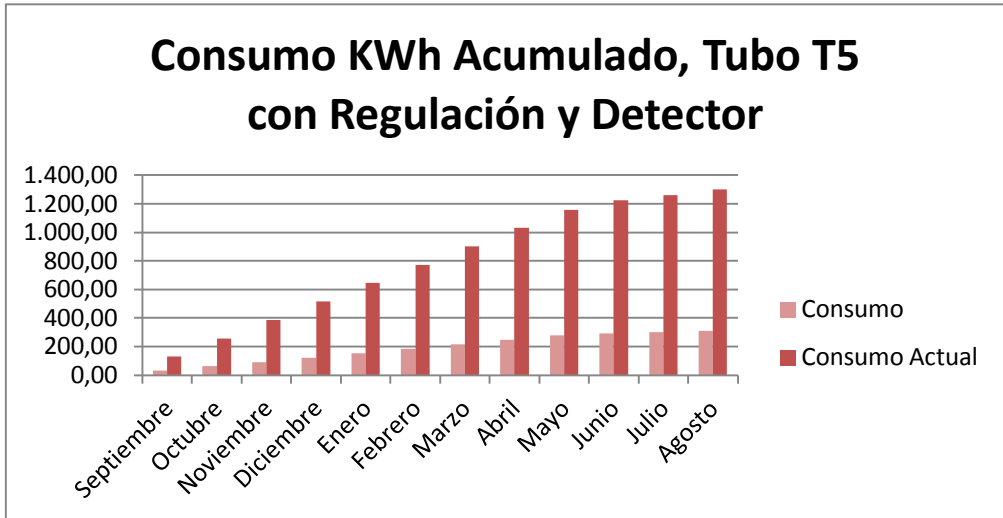
Como se observa en la tabla 5.15, a medida que incluimos mejoras en la instalación para mejorar el ahorro energético, los resultados son cada vez más atractivos, es decir tenemos menos consumo, menos gasto y por consiguiente mas ahorro con respecto a la iluminación actual.

TABLA DE RESULTADOS ACUMULADOS DE CONSUMOS, GASTOS Y AHORRO

MES	CONSUMO Kwh	GASTO (€)	AHORRO (€)
Septiembre	30,89	4,94	15,67
Octubre	61,78	9,88	31,34
Noviembre	92,66	14,83	47,01
Diciembre	123,55	19,77	62,68
Enero	154,44	24,71	78,36
Febrero	185,33	29,65	94,03
Marzo	216,22	34,59	109,70
Abril	247,10	39,54	125,37
Mayo	277,99	44,48	141,04
Junio	293,44	46,95	148,87
Julio	302,70	48,43	153,58
Agosto	311,97	49,92	158,28

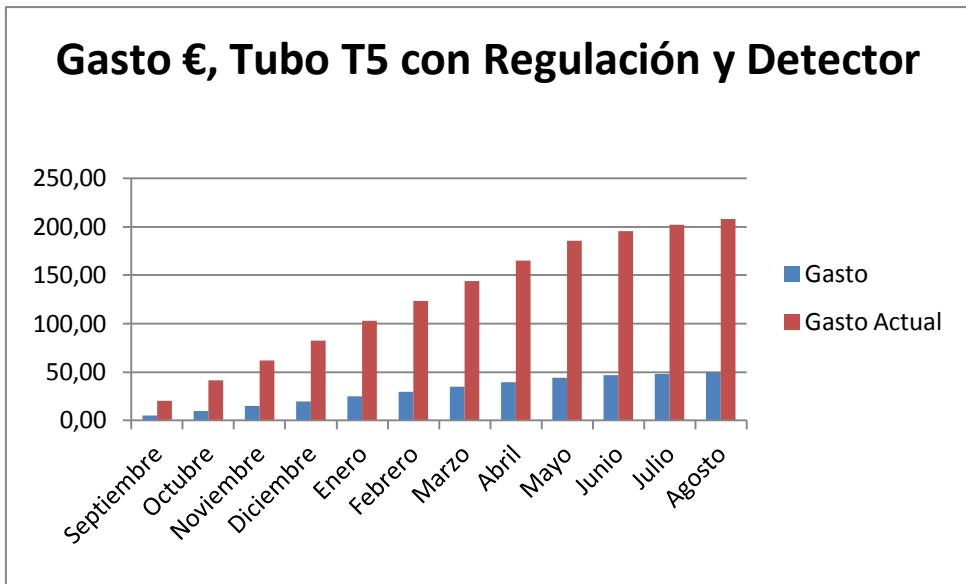
Tabla 5.15: Tabla de resultados acumulados de consumo, gastos y ahorro. Fuente elaboración propia

En la gráfica 5.10, se aprecia la diferencia de consumo entre la iluminación actual y la propuesta con el método de instalación asignado, es decir luminarias equipadas con balasto electrónico, con regulación en cuanto a aporte de luz natural y por otro lado detectores de presencia para el adecuado y preciso funcionamiento.



Gráfica 5.10: Consumo KWh acumulado de la iluminación tubo T5. **Fuente** elaboración propia

De la misma forma se observa en la gráfica 5.11, la diferencia del gasto entre la iluminación actual y la propuesta.

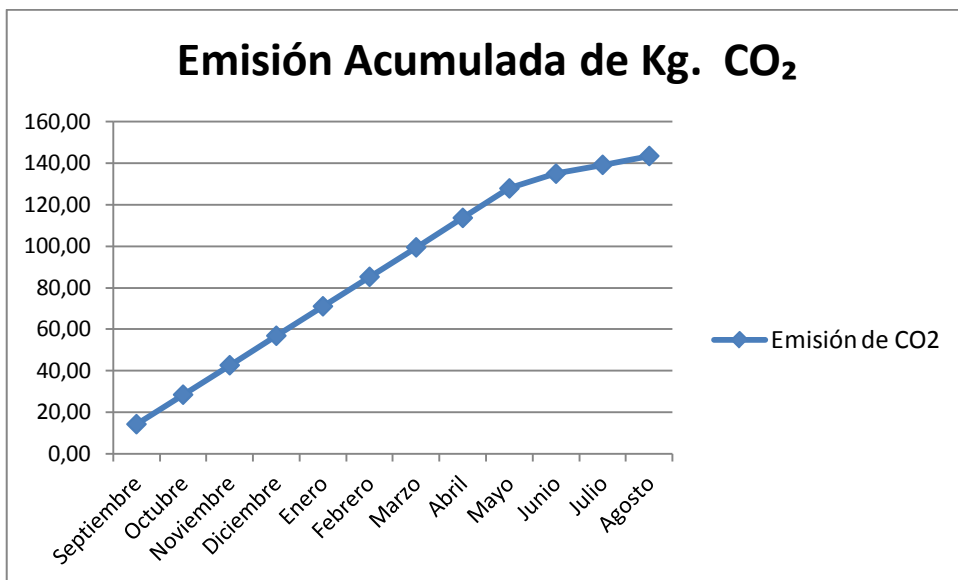


Gráfica 5.11: Gasto euros acumulado de la iluminación tubo T5. **Fuente** elaboración propia

EMISIÓN DE CO ₂		
MES	CONSUMO Kwh	Kg de CO ₂
Septiembre	30,89	14,21
Octubre	61,78	28,42
Noviembre	92,66	42,63
Diciembre	123,55	56,83
Enero	154,44	71,04
Febrero	185,33	85,25
Marzo	216,22	99,46
Abril	247,10	113,67
Mayo	277,99	127,88
Junio	293,44	134,98
Julio	302,70	139,24
Agosto	311,97	143,51

Tabla 5.16: Tabla de resultados emisión de CO₂. Fuente elaboración propia

Se observa la gran reducción de emisión de CO₂ con respecto a la iluminación actual, es decir aproximadamente un 75% menos.



Gráfica 5.12: Emisión acumulada de Hg. CO₂. Fuente elaboración propia

PERIODO DE AMORTIZACIÓN DE LA INVERSIÓN

Nº Luminarias T5	6,00		Inversión por Sala Materiales	675,00 €
Precio Luminaria T5 con Regulación	105,00 €		Inversión con Mano de Obra de la Sala	811,70 €
Precio Detector de Presencia	45,00 €			
Precio Mano de Obra/Luminaria	21,03 €			
Precio Mano de Obra/Detector	10,52 €			
PERIODO DE AMORTIZACIÓN DE LA INVERSIÓN			5,13 Años	

Tabla 5.17: Periodo de amortización de la inversión. **Fuente** elaboración propia

Como se comenta en el apartado anterior se puede apreciar que a mayor ahorro menor periodo de amortización.

VIDA DE LA LÁMPARA

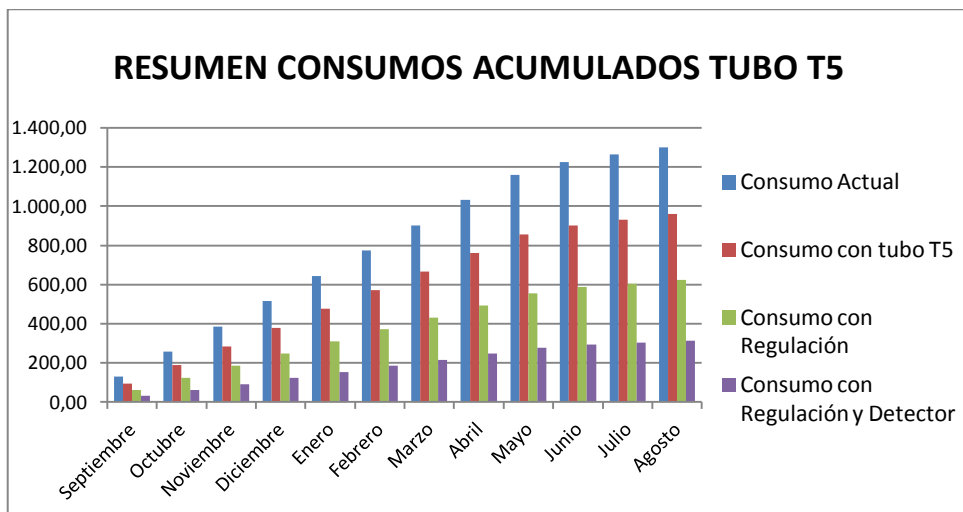
Horas de Funcionamiento	1.338,00	Horas/Año
Vida Útil de la Lámpara	18.000,00	Horas
Horas de vida después de la Amortización	11.138,29	Horas
Años de vida después de la amortización		8,32 Años

Tabla 5.18: Años de vida de la lámpara después de la amortización. **Fuente** elaboración propia

A menor periodo de amortización mas años de vida de la lámpara después de este periodo, con este tipo de lámpara y su método de instalación, se observa también que ocurre todo lo contrario a los métodos anteriores, ya que con este método podemos disfrutar de la lámpara ocho años una vez pasado el periodo de amortización.

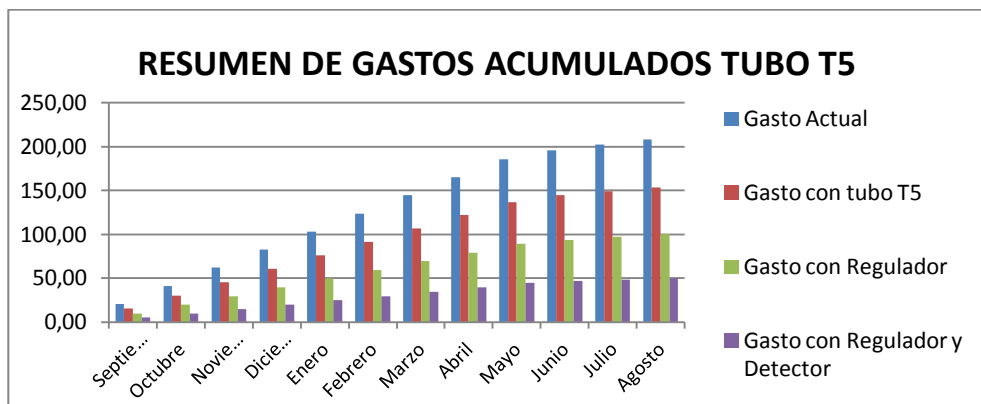
5.8.4 Resumen de la iluminación con tubo T5.

En primer lugar tenemos la gráfica 5.13, donde se refleja los consumos acumulados en un año, con la iluminación de tubo tipo T5, así como la luminaria equipada con balasto electrónico y regulación automática en función al aporte de luz natural, como se observa tenemos los cuatro métodos de instalación, es decir la instalación actual, instalación con balasto electrónico, instalación con balasto electrónico y regulación de la luminaria e instalación con balasto electrónico, regulación y detectores de presencia.



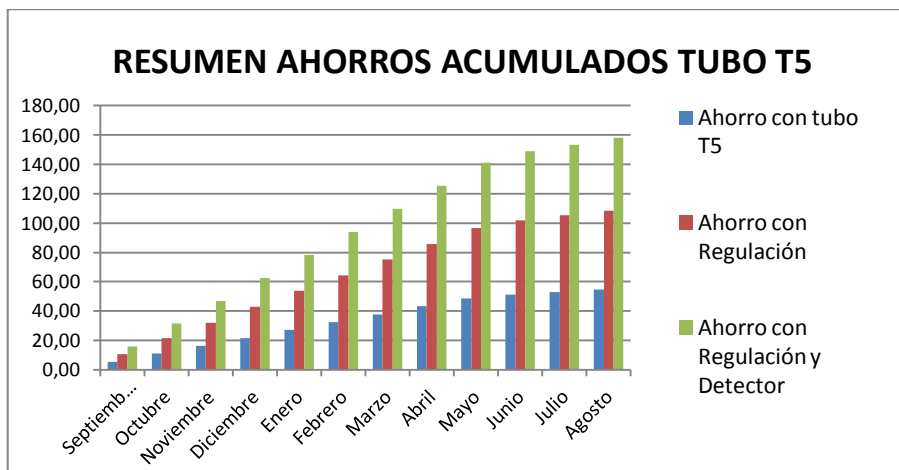
Gráfica 5.13: Resumen consumos acumulados con tubo T5. **Fuente** elaboración propia

Como se comentaba anteriormente a medida que en la instalación se incluyen mejoras para el ahorro energético se observa que los consumos bajan considerablemente, de tener un consumo de 1.301 KWh con la iluminación actual a tener un consumo de 312 KWh, esto implica un ahorro de aproximadamente el 76%, si esto se lo aplicamos a las cuarenta y cuatro aulas, el ahorro es muy considerable.



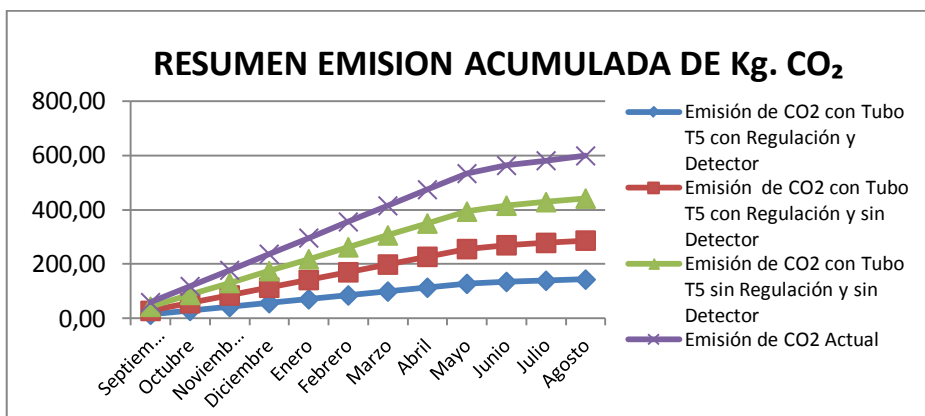
Gráfica 5.14: Resumen gastos acumulados con tubo T5. **Fuente** elaboración propia

De la misma forma ocurre con los gastos, existe un ahorro de 158,27 euros anuales por aula, lo que implica para cuarenta y cuatro aulas un ahorro anual de 6.963,88 euros.



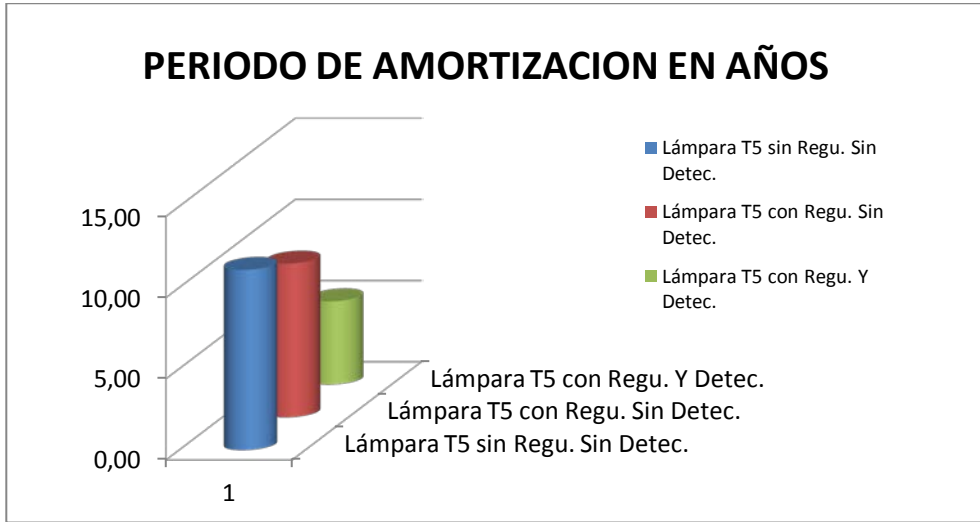
Gráfica 5.15: Resumen ahorros acumulados con tubo T5. Fuente elaboración propia

En la gráfica 5.16 se observa la emisión de Kg. de CO₂ de los cuatro tipos de instalación estudiada y como se puede apreciar a medida que se reduce el consumo baja muy considerablemente la emisión, es decir de 598,55 Kg. a 143,51 Kg.



Gráfica 5.16: Resumen emisión acumulada de Kg. CO₂ con tubo T5. Fuente elaboración propia

A medida que aumenta el ahorro disminuye el periodo de amortización.



Gráfica 5.17: Periodo de amortización en años con tubo T5. **Fuente** elaboración propia

5.9 Estudio iluminación con tubo tipo T8.

Las luminarias que se estudian son de tipo superficial con dos lámparas cada una de ellas del modelo T5 con una potencia por lámpara de 36 W. y balasto electrónico.

ESTUDIO ILUMINACION CON TUBO TIPO T8

5.9.1 Estudio tubo T8 sin regulación y sin detector de presencia.

ESTUDIO CON ILUMINACIÓN TUBO TIPO 8 SIN REGULACIÓN Y SIN DETECTOR DE PRESENCIA

Como se ha comentado en el apartado del tubo tipo T5, el calculo que observamos a continuación es únicamente con balasto electrónico, aquí no se tiene en cuenta la regulación por aporte de luz natural ni detectores de presencia.

DATOS		RESULTADOS	
Nivel de Iluminancia (Lux)	402,00	KWH consumo/día	5,47
Potencia de la lámpara (W)	36,00	KWH consumo/mes	120,38
Potencia lámpara + Equipo (W)	38,00	VEEI	2,25
Nº Lámparas por luminaria	2,00	Potencia total luminaria (W)	76,00
Nº Luminarias	6,00	Potencia total Instalada (W)	456,00
Nº Horas/día funcionamiento	12,00		
Nº Días al mes	22,00		
Superficie del local m2	50,37		
Precio del KWH	0,16		

Tabla 5.19: Tabla de datos y resultados. Fuente: Elaboración propia

Como podemos observar el nivel de iluminancia en Lux esta dentro de los parámetros exigidos por la norma UNE-EN 12464 o lo que es lo mismo en la tabla 5.19 por otro lado el valor de eficiencia energética (VEEI) está dentro de los límites que nos muestra la Tabla 2.2 (Valores límite de eficiencia energética de la instalación) en función a la zona de actividad diferenciada.

En la siguiente tabla podemos observar el consumo y gasto con este tipo de lámpara y su forma de instalación, si los comparamos con la instalación actual se demuestra el ahorro

acumulado anual, con este tipo de lámpara el ahorro no es tan elevado como en el tubo T5, ya que la potencia de esta lámpara es de 36 W., igual que la iluminación actual, pero al tener el balasto electrónico se consigue un mínimo ahorro.

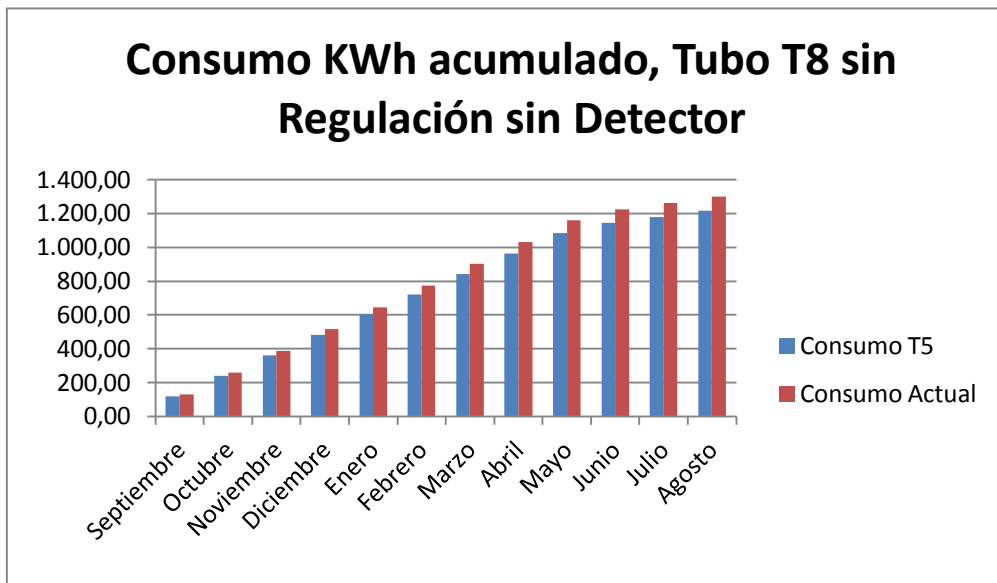
TABLA DE RESULTADOS ACUMULADOS DE CONSUMOS Y GASTOS

MES	CONSUMO Kwh	GASTO (€)	AHORRO (€)
Septiembre	120,38	19,26 €	1,35
Octubre	240,77	38,52 €	2,70
Noviembre	361,15	57,78 €	4,06
Diciembre	481,54	77,05 €	5,41
Enero	601,92	96,31 €	6,76
Febrero	722,30	115,57 €	8,11
Marzo	842,69	134,83 €	9,46
Abril	963,07	154,09 €	10,81
Mayo	1.083,46	173,35 €	12,17
Junio	1.143,65	182,98 €	12,84
Julio	1.179,76	188,76 €	13,25
Agosto	1.215,88	194,54 €	13,65

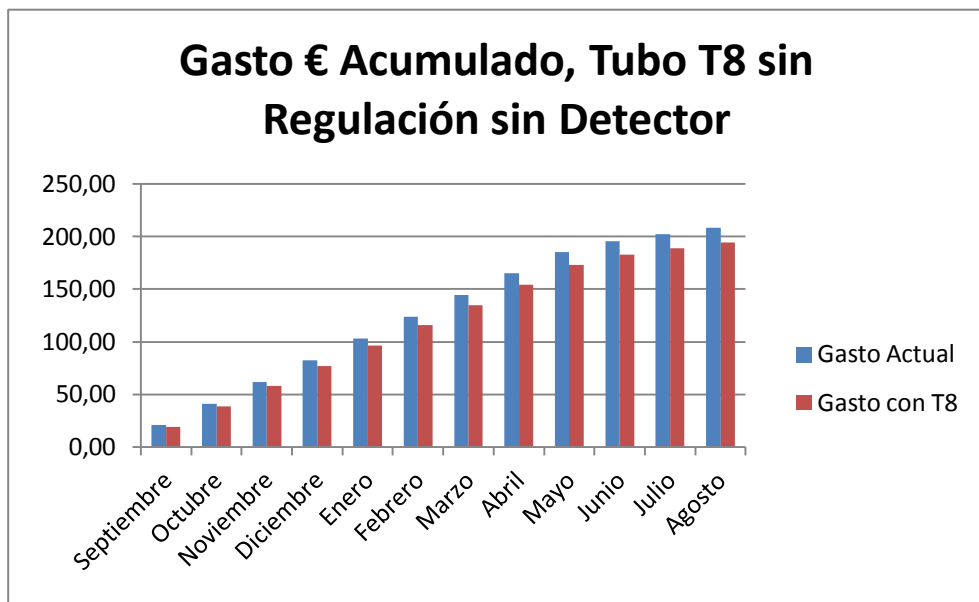
Tabla 5.20: Tabla de resultados acumulados de consumos, gastos y ahorro. **Fuente** elaboración propia

Este sería el consumo y gasto del aula en estudio durante el periodo de un año, teniendo en cuenta que está en funcionamiento doce horas diarias de lunes a viernes.

A continuación se muestran las gráficas 5.18 y 5.19, obtenidas de los resultados del consumo en KWh y gastos acumulados de la iluminación actual y la iluminación con tubo T8, se aprecia que la diferencia de consumos no es muy elevada, como se comenta anteriormente la diferencia de la potencia instalada de la iluminación actual y el tubo T8 es mínima ya que los dos tubos son de 36 W., la pequeña diferencia es a causa del balasto electrónico donde su consumo es de 2 W., muy inferior al balasto convencional que es de 25 W.



Gráfica 5.18: Consumo KWh acumulado de la iluminación tubo T8. Fuente elaboración propia



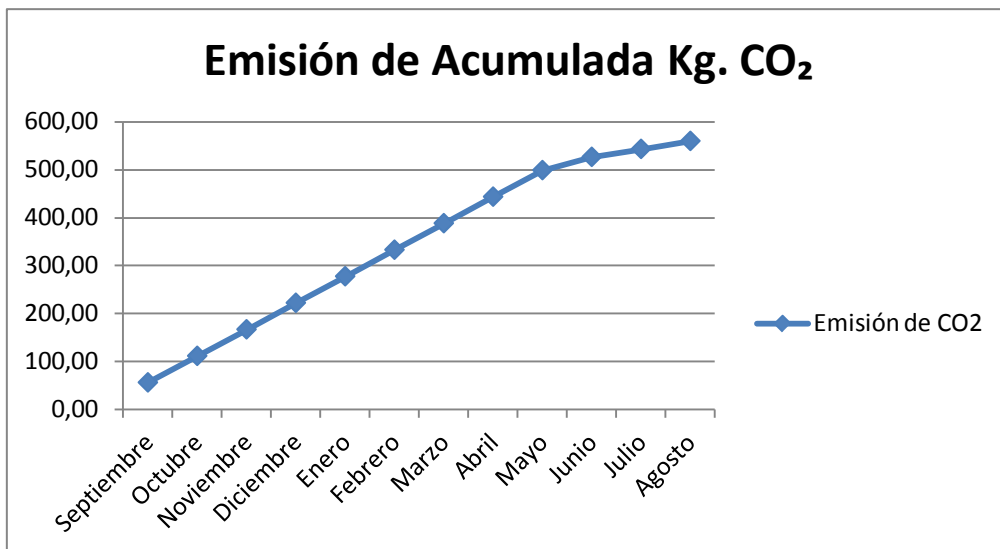
Gráfica 5.19: Gasto euros acumulado de la iluminación tubo T8. Fuente: Elaboración propia

EMISIÓN DE CO₂

MES	CONSUMO Kwh	Kg de CO ₂
Septiembre	120,38	55,38
Octubre	240,77	110,75
Noviembre	361,15	166,13
Diciembre	481,54	221,51
Enero	601,92	276,88
Febrero	722,30	332,26
Marzo	842,69	387,64
Abril	963,07	443,01
Mayo	1.083,46	498,39
Junio	1.143,65	526,08
Julio	1.179,76	542,69
Agosto	1.215,88	559,30

Tabla 5.21: Tabla de resultados emisión de CO₂. Fuente: Elaboración propia

Se observa que no hay gran reducción de emisión de CO₂ con respecto a la iluminación actual, es decir aproximadamente un 6,55% menos.



Gráfica 5.20: Emisión acumulada de Hg. CO₂. Fuente: Elaboración propia

PERIODO DE AMORTIZACIÓN DE LA INVERSIÓN

Nº Luminarias T8	6,00	Inversión por Sala Materiales	480,00 €
recio Luminaria T8 sin Regulación	80,00 €	Inversión con Mano de Obra de la Sala	606,18 €
Precio Mano de Obra/Luminaria	21,03 €		
PERIODO DEAMORTIZACION DE LA INVERSION	44,40 Años		

Tabla 5.22: Periodo de amortización de la inversión. **Fuente:** Elaboración propia

Como se comenta en el apartado anterior se puede apreciar que cuando se consigue muy poco ahorro el periodo de amortización es mayor, en este caso es muy elevado.

VIDA DE LA LÁMPARA

Horas de Funcionamiento	2.676,00	Horas/Año
Vida Útil de la Lámpara	16.200,00	Horas
Horas de vida después de la Amortización	-102.620,79	Horas
Años de vida después de la amortización	- 38,3 Años	

Tabla 5.23: Años de vida de la lámpara después de la amortización. **Fuente:** elaboración propia

A mayor periodo de amortización menos años de vida de la lámpara después de este periodo, con este tipo de lámpara y su método de instalación, se observa que a los seis años de amortización se deberán cambiar las lámparas.

5.9.2 Estudio tubo T8 con regulación y sin detector de presencia.

ESTUDIO CON ILUMINACIÓN TUBO TIPO 8 CON REGULACIÓN Y SIN DETECTOR DE PRESENCIA

Seguimos con el mismo tipo de lámpara, la diferencia con el apartado anterior es que en este tipo de instalación sí que contamos con el aporte de luz natural por medio de ventanas existentes en el aula.

DATOS		RESULTADOS	
Nivel de Iluminancia (Lux)	402,00	KWH consumo/día	3,56
Potencia de la lámpara (W)	36,00	KWH consumo/mes	78,25
Potencia lámpara + Equipo (W)	38,00	VEEI	2,25
Nº Lámparas por luminaria	2,00	Potencia total luminaria (W)	76,00
Nº Luminarias	6,00	Potencia total Instalada (W)	456,00
Nº Horas/día funcionamiento	12,00		
Nº Días al mes	22,00		
Superficie del local m2	50,37		
Precio del KWH	0,16		

Tabla 5.24: Tabla de datos y resultados. Fuente elaboración propia

Se mantiene la regulación correspondiente a aporte de luz natural ya que como se comenta anteriormente después de un estudio lumínico realizado en el aula tipo se ha llegado a la conclusión de que el aporte de luz natural ahorra aproximadamente una media del 35% de la iluminación artificial.

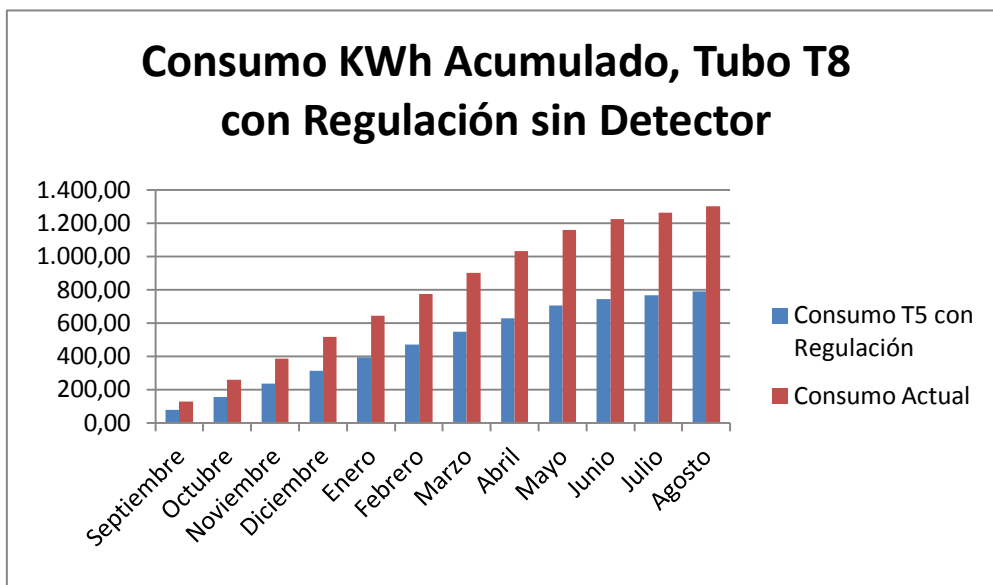
REGULACIÓN	35%
------------	-----

TABLA DE RESULTADOS ACUMULADOS DE CONSUMOS Y GASTOS

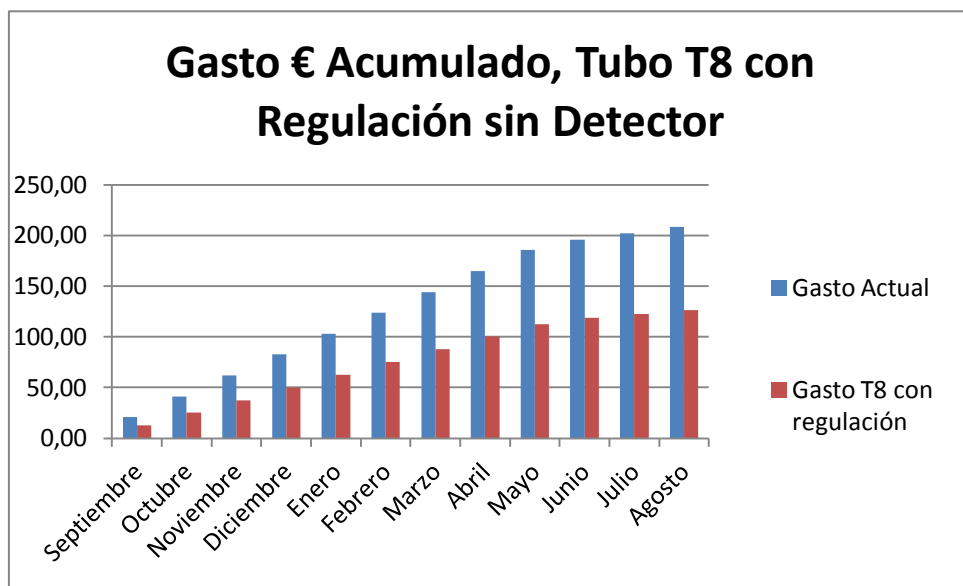
MES	CONSUMO Kwh	GASTO (€)	AHORRO (€)
Septiembre	78,25	12,52	8,09
Octubre	156,50	25,04	16,19
Noviembre	234,75	37,56	24,28
Diciembre	313,00	50,08	32,37
Enero	391,25	62,60	40,47
Febrero	469,50	75,12	48,56
Marzo	547,75	87,64	56,65
Abril	626,00	100,16	64,75
Mayo	704,25	112,68	72,84
Junio	743,37	118,94	76,89
Julio	766,85	122,70	79,31
Agosto	790,32	126,45	81,74

Tabla 5.25: Tabla de resultados acumulados de consumos, gastos y ahorro. Fuente elaboración propia

Se puede apreciar la gran importancia que tiene el aporte de luz natural, ya que se demuestra que cuando hacemos uso de esta iluminación el ahorro aumenta considerablemente.



Gráfica 5.21: Consumo KWh acumulado de la iluminación tubo T8. Fuente elaboración propia



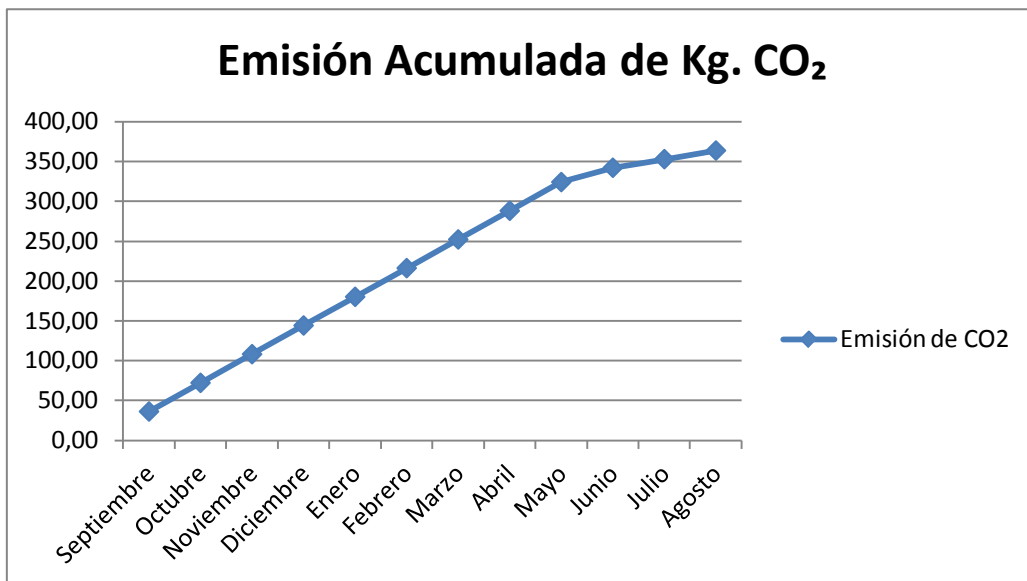
Gráfica 5.22: Gasto euros acumulado de la iluminación tubo T8. Fuente elaboración propia

EMISIÓN DE CO₂

MES	CONSUMO Kwh	Kg de CO ₂
Septiembre	78,25	35,99
Octubre	156,50	71,99
Noviembre	234,75	107,98
Diciembre	313,00	143,98
Enero	391,25	179,97
Febrero	469,50	215,97
Marzo	547,75	251,96
Abril	626,00	287,96
Mayo	704,25	323,95
Junio	743,37	341,95
Julio	766,85	352,75
Agosto	790,32	363,55

Tabla 5.26: Tabla de resultados emisión de CO₂. Fuente elaboración propia

Se observa que al disminuir el consumo disminuye la emisión de CO₂ con respecto al apartado anterior y a la iluminación actual.



Gráfica 5.23: Emisión acumulada de Hg. CO₂. Fuente elaboración propia

PERIODO DE AMORTIZACIÓN DE LA INVERSIÓN

Nº Luminarias T5	6,00	Inversión por Sala Materiales	630,00 €
Precio Luminaria T5 con Regulación	150,00 €	Inversión con Mano de Obra de la Sala	756,18 €
Precio Mano de Obra/Luminaria	21,03 €		
PERIODO DE AMORTIZACIÓN DE LA INVERSIÓN		9,25 Años	

Tabla 5.27: Periodo de amortización de la inversión. **Fuente** elaboración propia

Como se puede apreciar en la tabla 5.27, el periodo de amortización es muy inferior al apartado anterior, esto es debido a que ha aumentado el ahorro y por consiguiente se mejora los años de amortización de las nuevas instalaciones.

VIDA DE LA LÁMPARA

Horas de Funcionamiento	2.676,00	Horas/Año
Vida Útil de la Lámpara	16.200,00	Horas
Horas de vida después de la Amortización	-8.555,43	
Años de vida después de la amortización	-3,20 Años	

Tabla 5.28: Años de vida de la lámpara después de la amortización. **Fuente** elaboración propia

A menor periodo de amortización mas años de vida de la lámpara después de este periodo, con este tipo de lámpara y su método de instalación, se observa que a los seis años de amortización se deberán cambiar las lámparas.

5.9.3 Estudio tubo T8 con regulación y con detector de presencia.

ESTUDIO CON ILUMINACIÓN TUBO TIPO 8 CON REGULACIÓN Y CON DETECTOR DE PRESENCIA

Seguimos con el mismo tipo de lámpara, la diferencia con los apartados anteriores es que en este tipo de instalación sí que contamos con el aporte de luz natural por medio de ventanas existentes en el aula y con detectores de presencia, los cuales van a ser los encargados de tener en funcionamiento la instalación únicamente cuando exista personal dentro del aula, esto implica a que en vez de estar las luminaria en funcionamiento doce horas, solo estarán seis horas, es decir el tiempo justo de clase.

DATOS		RESULTADOS	
		KWH consumo/día	1,78
Nivel de Iluminancia (Lux)	402,00	KWH consumo/mes	39,12
Potencia de la lámpara (W)	36,00	VEEI	2,25
Potencia lámpara + Equipo (W)	38,00	Potencia total luminaria (W)	76,00
Nº Lámparas por luminaria	2,00	Potencia total Instalada (W)	456,00
Nº Luminarias	6,00		
Nº Horas/día funcionamiento	6,00		
Nº Días al mes	22,00		
Superficie del local m2	50,37		
Precio del KWH	0,16		

Tabla 5.29: Tabla de datos y resultados. **Fuente** elaboración propia

Por lo tanto en este cálculo se ha tenido en cuenta la regulación por aporte de luz natural y seis horas únicamente de funcionamiento, por mediación del detector de presencia.

REGULACIÓN 35%

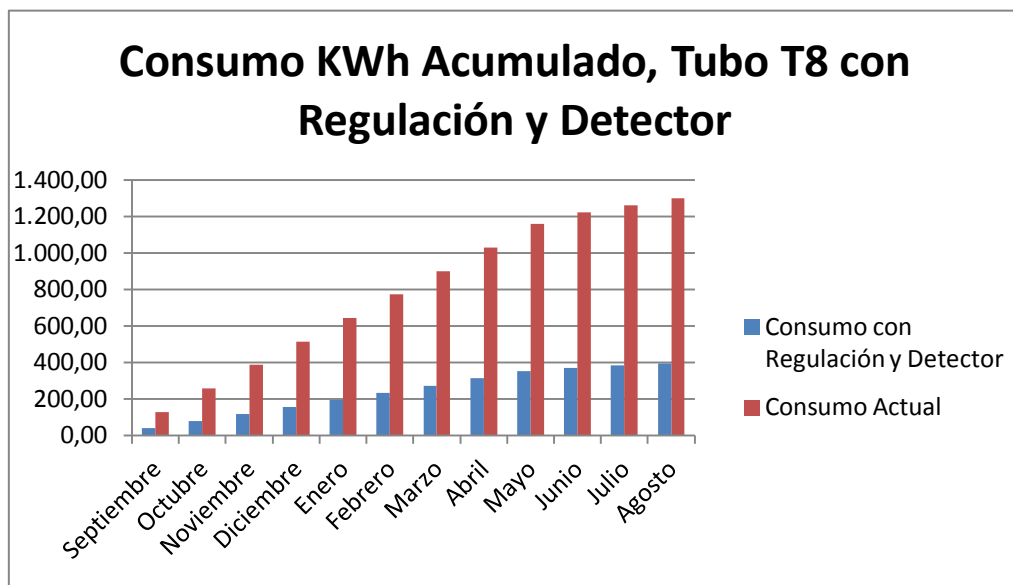
HORAS DE FUNCIONAMIENTO CON DETECTOR DE PRESENCIA 6 Horas

Como se observa en la tabla 5.30, a medida que incluimos mejoras en la instalación para mejorar el ahorro energético, los resultados son cada vez más atractivos, es decir tenemos menos consumo, menos gasto y por consiguiente mas ahorro con respecto a la iluminación actual.

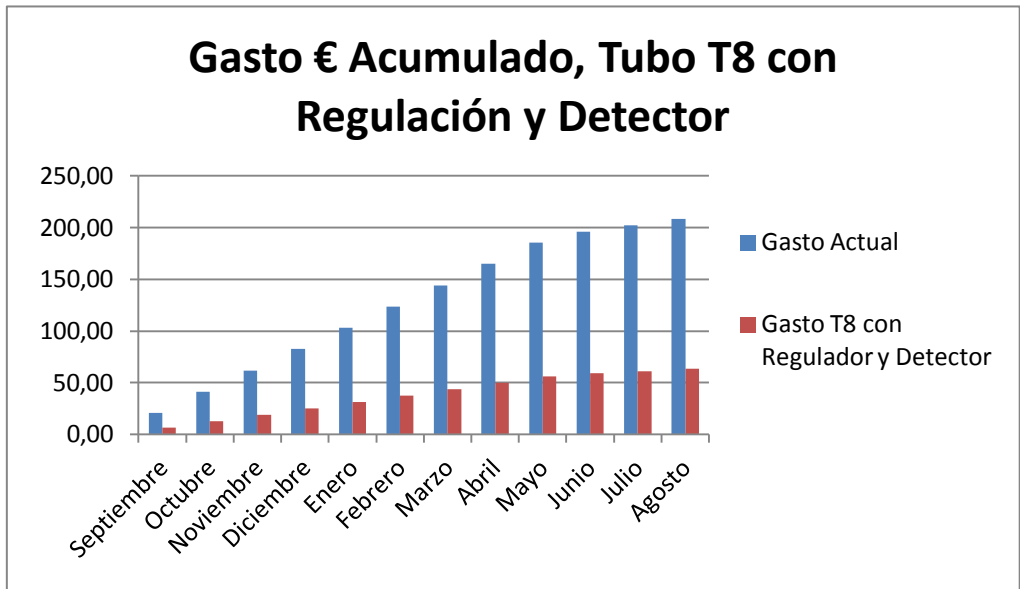
TABLA DE RESULTADOS ACUMULADOS DE CONSUMOS, GASTOS Y AHORRO

MES	CONSUMO Kwh	GASTO (€)	AHORRO (€)
Septiembre	39,12	6,26	14,35
Octubre	78,25	12,52	28,71
Noviembre	117,37	18,78	43,06
Diciembre	156,50	25,04	57,41
Enero	195,62	31,30	71,77
Febrero	234,75	37,56	86,12
Marzo	273,87	43,82	100,47
Abril	313,00	50,08	114,83
Mayo	352,12	56,34	129,18
Junio	371,69	59,47	136,35
Julio	383,42	61,35	140,66
Agosto	395,16	63,23	144,97

Tabla 5.30: Tabla de resultados acumulados de consumo, gastos y ahorro. **Fuente** elaboración propia



Gráfica 5.24: Consumo KWh acumulado de la iluminación tubo T8. **Fuente** elaboración propia



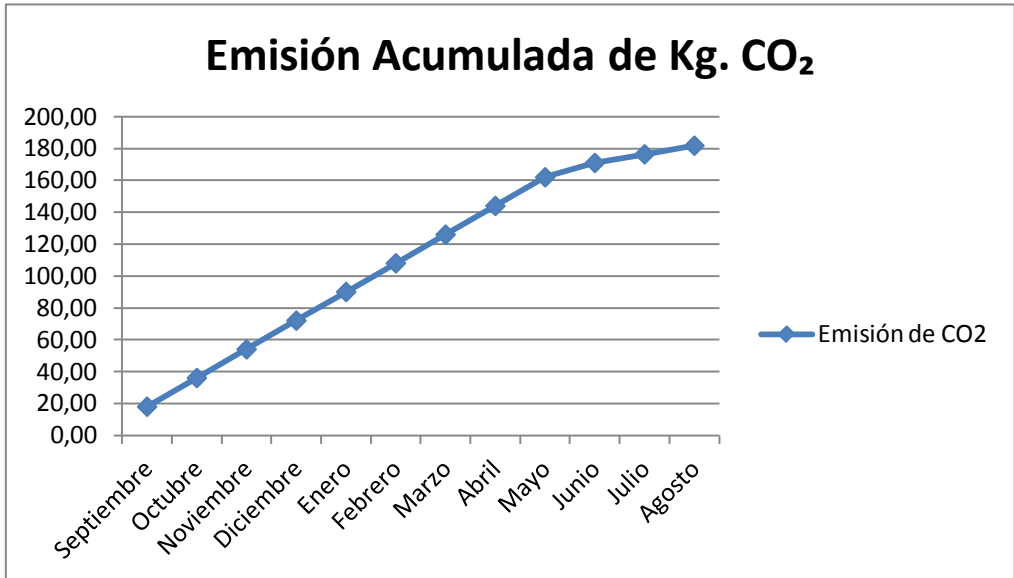
Gráfica 5.25: Gasto euros acumulado de la iluminación tubo T8. **Fuente** elaboración propia

En las gráficas 5.24 y 5.25, se aprecia la diferencia de consumo y gasto entre la iluminación actual y la propuesta con el método de instalación asignado, es decir luminarias equipadas con balasto electrónico, con regulación en cuanto a aporte de luz natural y por otro lado detectores de presencia para el adecuado y preciso funcionamiento.

EMISIÓN DE CO ₂		
MES	CONSUMO Kwh	Kg de CO ₂
Septiembre	39,12	18,00
Octubre	78,25	35,99
Noviembre	117,37	53,99
Diciembre	156,50	71,99
Enero	195,62	89,99
Febrero	234,75	107,98
Marzo	273,87	125,98
Abril	313,00	143,98
Mayo	352,12	161,98
Junio	371,69	170,98
Julio	383,42	176,37
Agosto	395,16	181,77

Tabla 5.31: Tabla de resultados emisión de CO₂. **Fuente** elaboración propia

Se observa que al disminuir el consumo disminuye la emisión de CO₂ con respecto al apartado anterior y a la iluminación actual.



Gráfica 5.26: Emisión acumulada de Kg. CO₂. Fuente elaboración propia

PERIODO DE AMORTIZACIÓN DE LA INVERSIÓN

Nº Luminarias T5	6,00	
Precio Luminaria T5 con Regulación	105,00 €	Inversión por Sala Materiales
Precio Detector de Presencia	45,00 €	
Precio Mano de Obra/Luminaria	21,03 €	Inversión con Mano de Obra de la Sala
Precio Mano de Obra/Detector	10,52 €	
PERIODO DE AMORTIZACION DE LA INVERSION		5,60 Años

Tabla 5.32: Periodo de amortización de la inversión. Fuente elaboración propia

Una vez más se aprecia que aumentando el ahorro logramos reducir el periodo de amortización, se observa que cuando únicamente cambiamos la luminaria con balasto electrónico y sin aporte de luz natural ni detectores de presencia, el ahorro era mínimo y en consecuencia el periodo de amortización elevadísimo es decir cuarenta y cuatro años, por lo tanto incluyendo mejoras en las instalaciones conseguimos mejores rendimientos y una gran eficiencia energética.

VIDA DE LA LÁMPARA

Horas de Funcionamiento	1.338,00 Horas/Año
Vida Útil de la Lámpara	16.200,00 Horas
Horas de vida después de la Amortización	8.708,25 Horas

Años de vida después de la amortización 6,51 Años

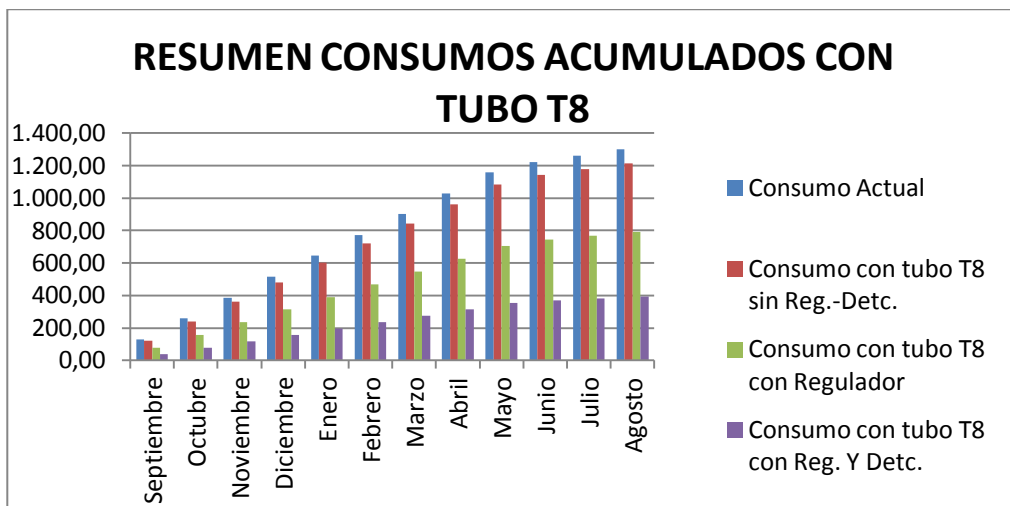
Tabla 5.33: Años de vida de la lámpara después de la amortización. **Fuente** elaboración propia

En la tabla 5.33, observamos que los años de vida de la lámpara después de la amortización son de seis años y medio, por lo que tendríamos un gran rendimiento de la instalación.

5.9.4 Resumen de la iluminación con tubo T8.

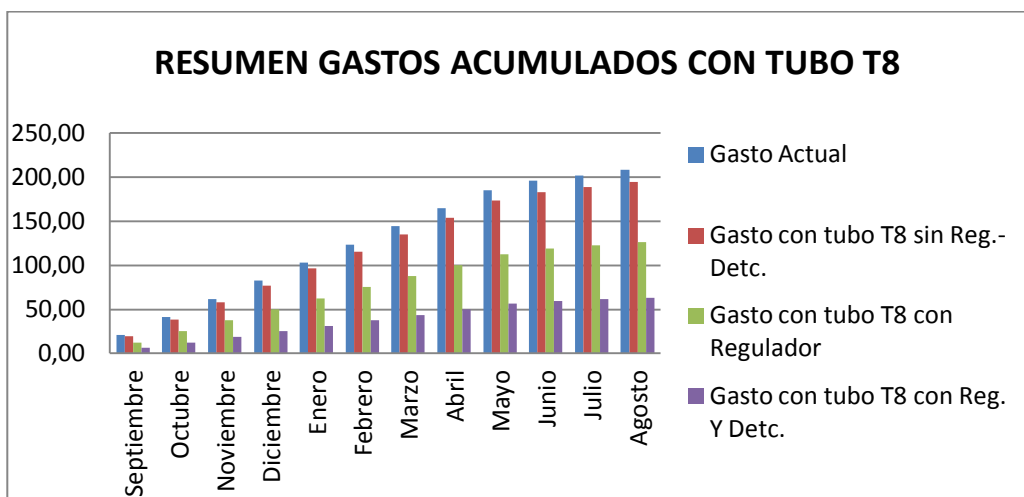
En primer lugar tenemos la gráfica 5.27, donde se refleja los consumos acumulados en un año, con la iluminación de tubo tipo T8, así como la luminaria equipada con balasto electrónico y regulación automática en función al aporte de luz natural, como se observa tenemos los cuatro métodos de instalación, es decir la instalación actual, instalación con balasto electrónico, instalación con balasto electrónico y regulación de la luminaria e instalación con balasto electrónico, regulación y detectores de presencia.

Se observa que a medida que se incluyen mejoras en la instalación mejoramos notablemente el consumo, el gasto y el ahorro, por lo tanto se consigue una buena eficiencia energética, mejor periodo de amortización y mayor tiempo de disfrute de la lámpara una vez transcurrido el periodo de amortización.



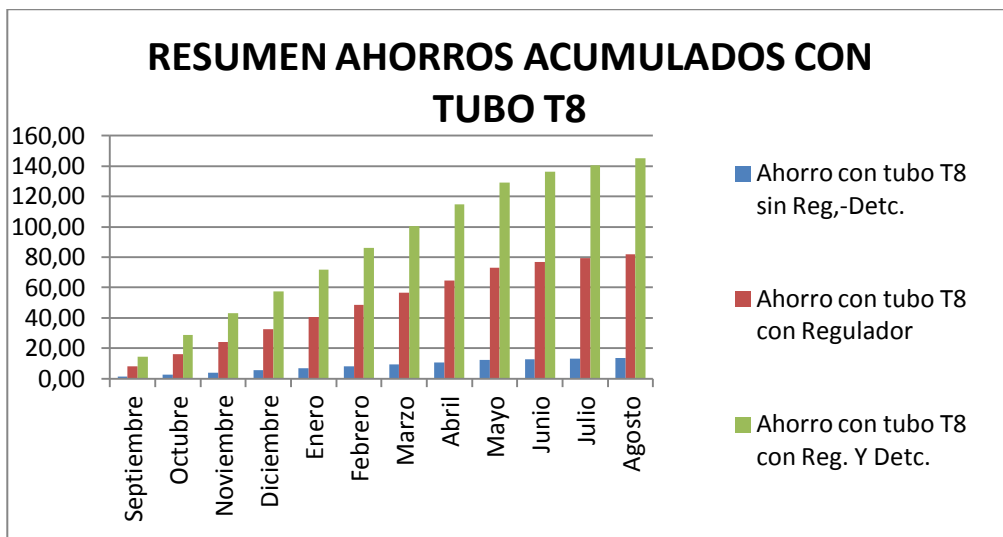
Gráfica 5.27: Resumen consumos acumulados con tubo T8. Fuente elaboración propia

Como se comentaba anteriormente a medida que en la instalación se incluyen mejoras para el ahorro energético se observa que los consumos bajan considerablemente, de tener un consumo de 1.301 KWh con la iluminación actual a tener un consumo de 395 KWh, esto implica un ahorro de aproximadamente el 70%, si esto se lo aplicamos a las cuarenta y cuatro aulas, el ahorro es muy considerable.



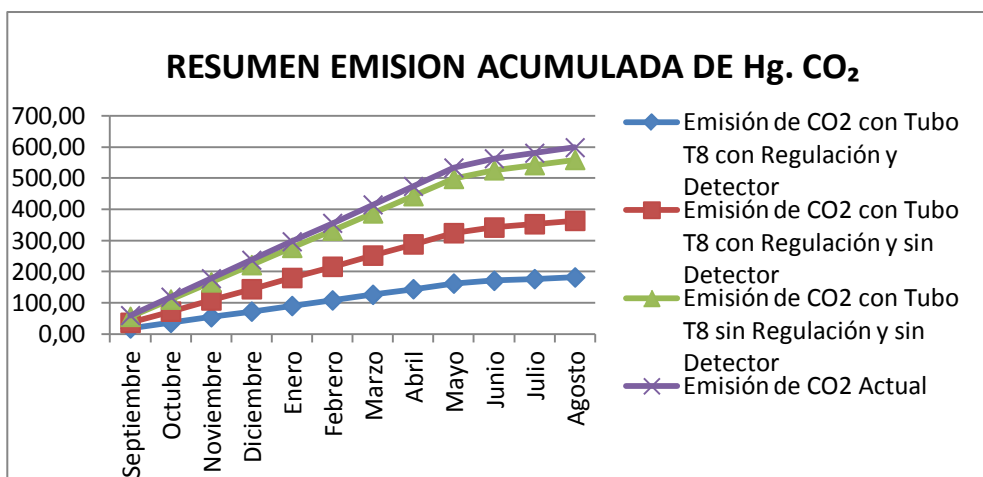
Gráfica 5.28: Resumen gastos acumulados con tubo T8. Fuente elaboración propia

De la misma forma ocurre con los gastos, existe un ahorro de 144,97 euros anuales por aula, lo que implica para cuarenta y cuatro aulas un ahorro anual de 6.378,68 euros.



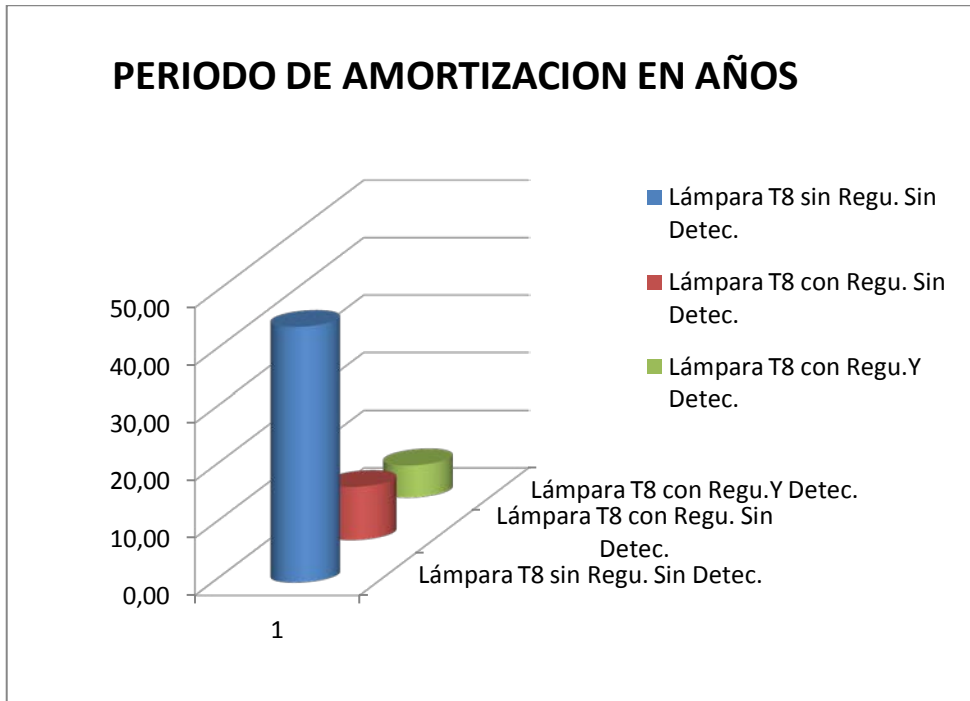
Gráfica 5.30: Resumen ahorros acumulados con tubo T8. Fuente elaboración propia

En la gráfica 5.30, se observa la emisión de Kg. de CO₂ de los cuatro tipos de instalación estudiada y como se puede apreciar a medida que se reduce el consumo baja muy considerablemente la emisión, es decir de 598,55 Kg. a 181,77 Kg.



Gráfica 5.31: Resumen emisión acumulada de Kg. CO₂ con tubo T8. Fuente elaboración propia

En la gráfica 5.32, se observa que a medida que aumenta el ahorro disminuye el periodo de amortización, con la lámpara T8 sin regulación y sin detector de presencia el periodo de amortización es muy elevado, mientras que con la misma lámpara pero incluyendo la regulación y detector de presencia aumentamos el ahorro y por consiguiente bajamos el periodo de amortización.



Gráfica 5.32: Periodo de amortización en años con tubo T8. **Fuente** elaboración propia

5.10 Estudio iluminación con tubo tipo leds.

Las luminarias que se estudian son de tipo superficial con dos lámparas cada una de ellas del modelo tubo tipo leds con una potencia por lámpara de 9 W.

Este tipo de iluminación no precisa balasto y tampoco son regulables con el aporte de luz natural.

ESTUDIO ILUMINACION CON TUBO TIPO LEDS

5.10.1 Estudio tubo tipo LEDS sin detector de presencia.

Como se ha comentado anteriormente, el calculo que observamos a continuación es únicamente el propio tubo de leds, aquí no se tiene en cuenta el detector de presencia.

ESTUDIO CON ILUMINACIÓN TUBO TIPO LEDS SIN DETECTOR DE PRESENCIA

DATOS		RESULTADOS	
Nivel de Iluminancia (Lux)	305,00	KWH consumo/día	1,73
Potencia de la lámpara (W)	9,00	KWH consumo/mes	38,02
Potencia lámpara + Equipo (W)	9,00	VEEI	0,94
Nº Lámparas por luminaria	2,00	Potencia total luminaria (W)	18,00
Nº Luminarias	8,00	Potencia total Instalada (W)	144,00
Nº Horas/día funcionamiento	12,00		
Nº Días al mes	22,00		
Superficie del local m2	50,37		
Precio del KWH	0,16		

Tabla 5.34: Tabla de datos y resultados. Fuente elaboración propia

Como podemos observar el nivel de iluminancia en Lux esta dentro de los parámetros exigidos por la norma UNE-EN 12464 o lo que es lo mismo en la tabla 5.34 por otro lado el valor de eficiencia energética (VEEI) está dentro de los límites que nos muestra la Tabla 2.2 (Valores límite de eficiencia energética de la instalación) en función a la zona de actividad diferenciada).

En la siguiente tabla podemos observar el consumo y gasto con este tipo de lámpara y su forma de instalación, si los comparamos con la instalación actual se demuestra el ahorro acumulado anual, con este tipo de lámpara el ahorro es elevado ya que tiene una potencia por lámpara muy inferior a las del tubo T5 y T8.

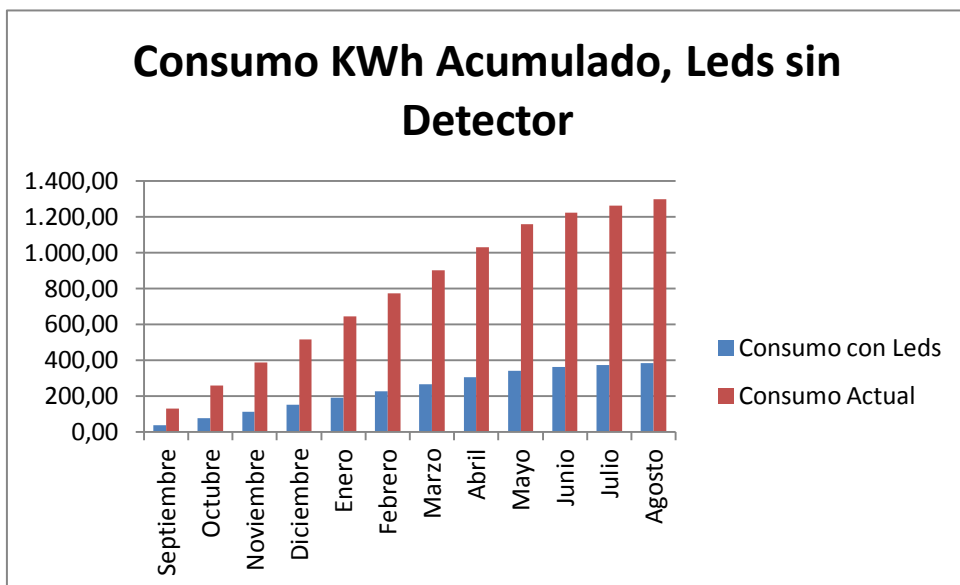
TABLA DE RESULTADOS ACUMULADOS DE CONSUMOS Y GASTOS

MES	CONSUMO Kwh	GASTO (€)	AHORRO (€)
Septiembre	38,02	6,08 €	14,53
Octubre	76,03	12,17 €	29,06
Noviembre	114,05	18,25 €	43,59
Diciembre	152,06	24,33 €	58,12
Enero	190,08	30,41 €	72,65
Febrero	228,10	36,50 €	87,18
Marzo	266,11	42,58 €	101,71
Abril	304,13	48,66 €	116,24
Mayo	342,14	54,74 €	130,78
Junio	361,15	57,78 €	138,04
Julio	372,56	59,61 €	142,40
Agosto	383,96	61,43 €	146,76

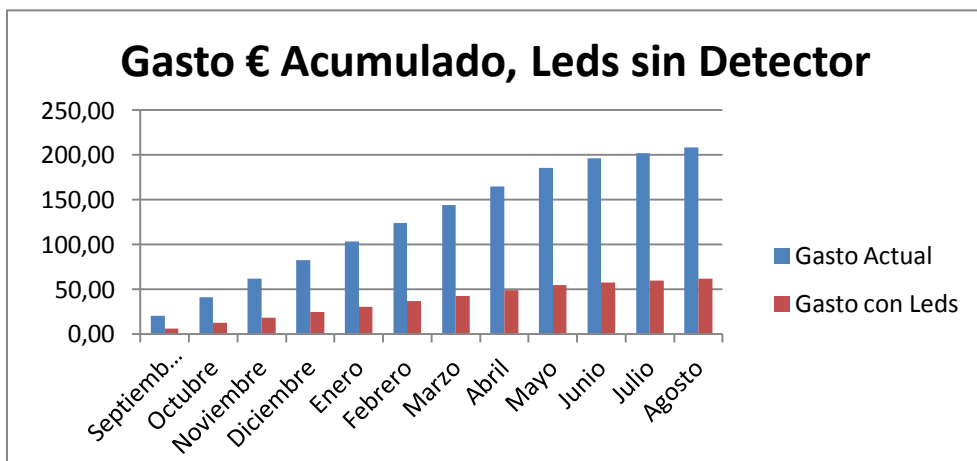
Tabla 5.35: Tabla de resultados acumulados de consumos, gastos y ahorro. **Fuente** elaboración propia

Este sería el consumo y gasto del aula en estudio durante el periodo de un año, teniendo en cuenta que está en funcionamiento doce horas diarias de lunes a viernes.

A continuación se muestran las gráficas 5.33 y 5.34, obtenidas de los resultados del consumo en KWh y gastos acumulados de la iluminación actual y la iluminación con tubo tipo LEDS, se aprecia que la diferencia de consumos y por consiguiente los gastos es muy elevada, como se comenta anteriormente la diferencia de la potencia instalada de la iluminación actual y el tubo tipo LEDS es considerable ya que el tubo de la iluminación actual son de 36 W., y la iluminación con el tubo tipo LEDS es de 9 W.



Gráfica 5.33: Consumo KWh acumulado de la iluminación tubo LEDS. Fuente elaboración propia



Gráfica 5.34: Gasto euros acumulado de la iluminación tubo LEDS. Fuente elaboración propia

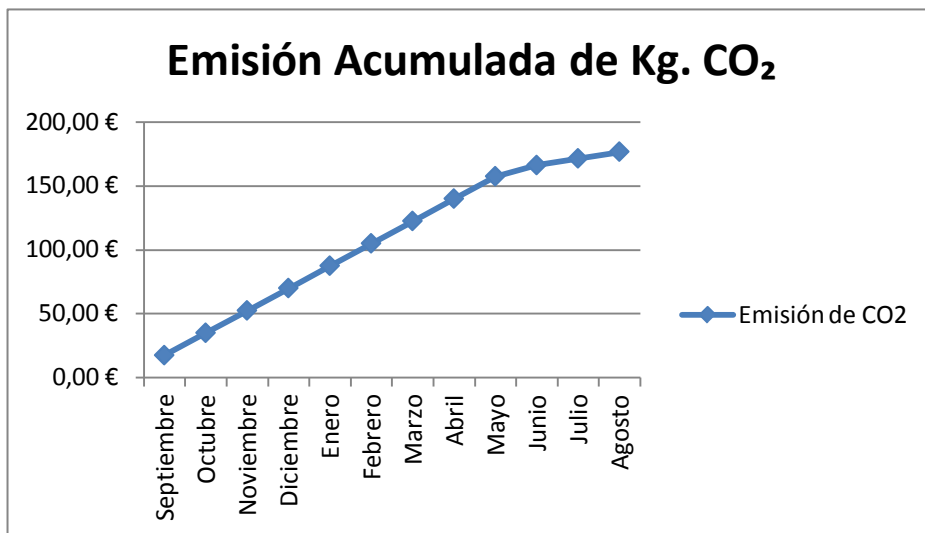
EMISIÓN DE CO₂

MES	CONSUMO Kwh	Kg de CO ₂
Septiembre	38,02	17,49 €
Octubre	76,03	34,97 €
Noviembre	114,05	52,46 €
Diciembre	152,06	69,95 €
Enero	190,08	87,44 €

Febrero	228,10	104,92 €
Marzo	266,11	122,41 €
Abril	304,13	139,90 €
Mayo	342,14	157,39 €
Junio	361,15	166,13 €
Julio	372,56	171,38 €
Agosto	383,96	176,62 €

Tabla 5.36: Tabla de resultados emisión de CO₂. **Fuente** elaboración propia

Se observa que al igual que en los anteriores tipos de iluminación al disminuir el consumo disminuye la emisión de CO₂ con respecto a la iluminación actual.



Gráfica 5.35: Emisión acumulada de Hg. CO₂. **Fuente** elaboración propia

PERIODO DE AMORTIZACIÓN DE LA INVERSIÓN

Nº Luminarias Leds	8,00
Precio Luminaria Leds	210,00 €
Precio Mano de Obra/Luminaria	21,03 €

Inversión por Sala Materiales	1.680,00 €
Inversión con Mano de Obra de la Sala	1.848,24 €

PERIODO DEAMORTIZACION DE LA INVERSION 12,59 Años

Tabla 5.37: Periodo de amortización de la inversión. **Fuente** elaboración propia

En este tipo de iluminación se aprecia que el periodo de amortización esta elevado con respecto al consumo de energía, esto es debido como se puede observar al elevado coste de la instalación con respecto a los anteriores tipos, ya que en primer lugar se deben

instalar dos luminarias más que en las otras opciones, y en segundo lugar el tubo de tipo leds hoy en día todavía tiene un valor elevado, no obstante en las conclusiones se determinara la opción más aconsejable para conseguir una mayor eficiencia energética.

VIDA DE LA LÁMPARA

Horas de Funcionamiento	2.676,00 Horas/Año
Vida Útil de la Lámpara	38.800,00 Horas
Horas de vida después de la Amortización	5.099,16 Horas
Años de vida después de la amortización	1,91 Años

Tabla 5.38: Años de vida de la lámpara después de la amortización. **Fuente** elaboración propia

Los años de vida de la lámpara después de la amortización, no son elevados, en este tipo de instalación sucede todo lo contrario que en las anteriores, ya que prácticamente el tubo leds es el 80% del coste de la infraestructura no ocurre lo mismo con las anteriores opciones puesto que el coste mayor de esta son las luminarias que disponen de los equipos electrónicos.

5.10.2 Estudio tubo tipo LEDS con detector de presencia.

En este tipo de instalación como se comenta en los apartados anteriores, contamos con las horas reales de funcionamiento, ya que disponemos de detector de presencia.

ESTUDIO CON ILUMINACIÓN TUBO TIPO LEDS CON DETECTOR DE PRESENCIA

DATOS		RESULTADOS	
Nivel de Iluminancia (Lux)	305,00	KWH consumo/día	0,86
Potencia de la lámpara (W)	9,00	KWH consumo/mes	19,01
Potencia lámpara + Equipo (W)	9,00	VEEI	0,94
Nº Lámparas por luminaria	2,00	Potencia total luminaria (W)	18,00
Nº Luminarias	8,00	Potencia total Instalada (W)	144,00
Nº Horas/día funcionamiento	6,00		
Nº Días al mes	22,00		
Superficie del local m ²	50,37		
Precio del KWH	0,16		

Tabla 5.39: Tabla de datos y resultados. **Fuente** elaboración propia

Como podemos observar el nivel de iluminancia en Lux está por debajo de las opciones anteriores pero dentro de los parámetros exigidos por la norma UNE-EN 12464 o lo que es lo mismo en la tabla 5.39, por otro lado el valor de eficiencia energética (VEEI) está dentro

de los límites que nos muestra la Tabla 2.2 (Valores límite de eficiencia energética de la instalación) en función a la zona de actividad diferenciada).

En la siguiente tabla podemos observar que el consumo y gasto está muy por debajo de las opciones anteriores.

HORAS DE FUNCIONAMIENTO CON DETECTOR DE PRESENCIA	6 Horas
--	----------------

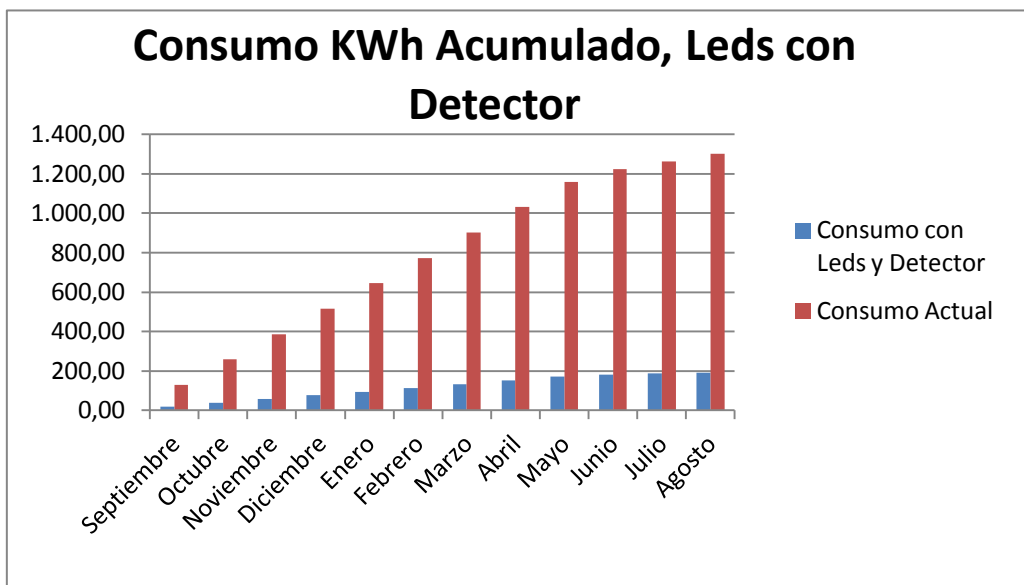
TABLA DE RESULTADOS ACUMULADOS DE CONSUMOS Y GASTOS

MES	CONSUMO Kwh	GASTO (€)	AHORRO (€)
Septiembre	19,01	3,04	17,57
Octubre	38,02	6,08	35,14
Noviembre	57,02	9,12	52,72
Diciembre	76,03	12,17	70,29
Enero	95,04	15,21	87,86
Febrero	114,05	18,25	105,43
Marzo	133,06	21,29	123,00
Abril	152,06	24,33	140,57
Mayo	171,07	27,37	158,15
Junio	180,58	28,89	166,93
Julio	186,28	29,80	172,20
Agosto	191,98	30,72	177,48

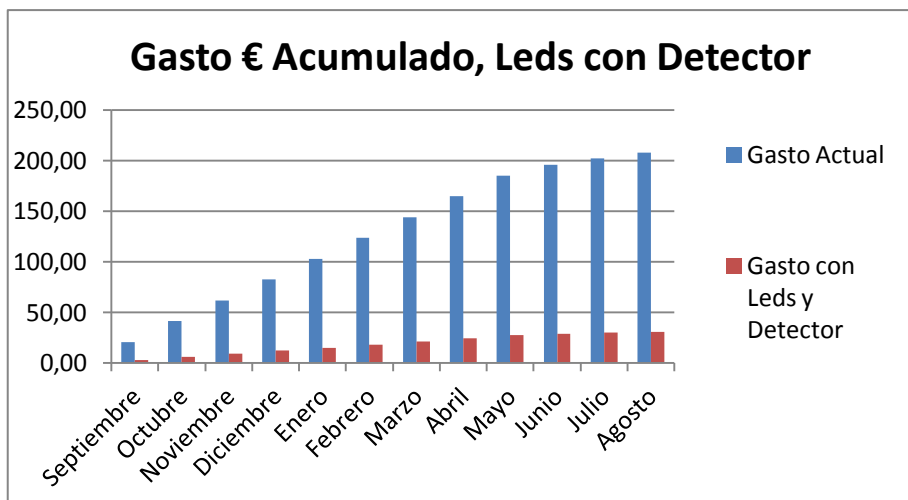
Tabla 5.40: Tabla de resultados acumulados de consumos, gastos y ahorro. **Fuente** elaboración propia

Como consecuencia de la potencia de este tipo de lámpara y además incluyendo el detector de presencia, el cual como sabemos se encarga de vigilar las horas de funcionamiento de las luminarias, aparecen consumos y gastos especialmente reducidos y por consiguiente un ahorro considerable que a su vez este reduce el periodo de amortización.

A continuación se muestran las gráficas 36 y 37, obtenidas de los resultados del consumo en KWh y gastos acumulados de la iluminación actual y la iluminación con tubo tipo LEDS incluyendo la mejora del detector de presencia, se aprecia que la diferencia de consumos y por consiguiente los gastos es muy elevada.



Gráfica 5.36: Consumo KWh acumulado de la iluminación tubo LEDS. Fuente elaboración propia



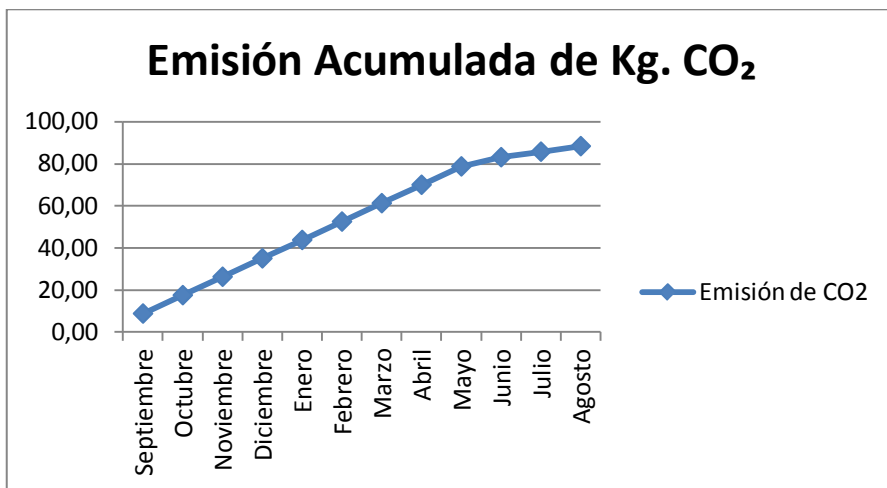
Gráfica 5.37: Gasto euros acumulado de la iluminación tubo LEDS. Fuente elaboración propia

EMISIÓN DE CO ₂		
MES	CONSUMO Kwh	Kg de CO ₂
Septiembre	19,01	8,74
Octubre	38,02	17,49
Noviembre	57,02	26,23
Diciembre	76,03	34,97
Enero	95,04	43,72

Febrero	114,05	52,46
Marzo	133,06	61,21
Abril	152,06	69,95
Mayo	171,07	78,69
Junio	180,58	83,06
Julio	186,28	85,69
Agosto	191,98	88,31

Tabla 5.41: Tabla de resultados emisión de CO₂. Fuente elaboración propia

Se observa que al igual que en los anteriores tipos de iluminación al disminuir el consumo disminuye la emisión de CO₂ con respecto a la iluminación actual.



Gráfica 5.38: Emisión acumulada de Hg. CO₂. Fuente elaboración propia

PERIODO DE AMORTIZACIÓN DE LA INVERSIÓN

Nº Luminarias Leds	6,00
Precio Luminaria Leds	210,00 €
Precio Detector de Presencia	45,00 €
Precio Mano de Obra/Luminaria	21,03 €
Precio Mano de Obra/Detector	10,52 €

Inversión por Sala Materiales	1.725,00 €
Inversión con Mano de Obra de la Sala	1.903,76 €

PERIODO DE AMORTIZACIÓN DE LA INVERSIÓN

10,73 Años

Tabla 5.42: Periodo de amortización de la inversión. Fuente elaboración propia

A medida que aumenta el ahorro disminuye el periodo de amortización, pero como se comenta anteriormente el coste de instalación es muy elevado, por lo tanto la diferencia de años no es sustancial.

VIDA DE LA LÁMPARA

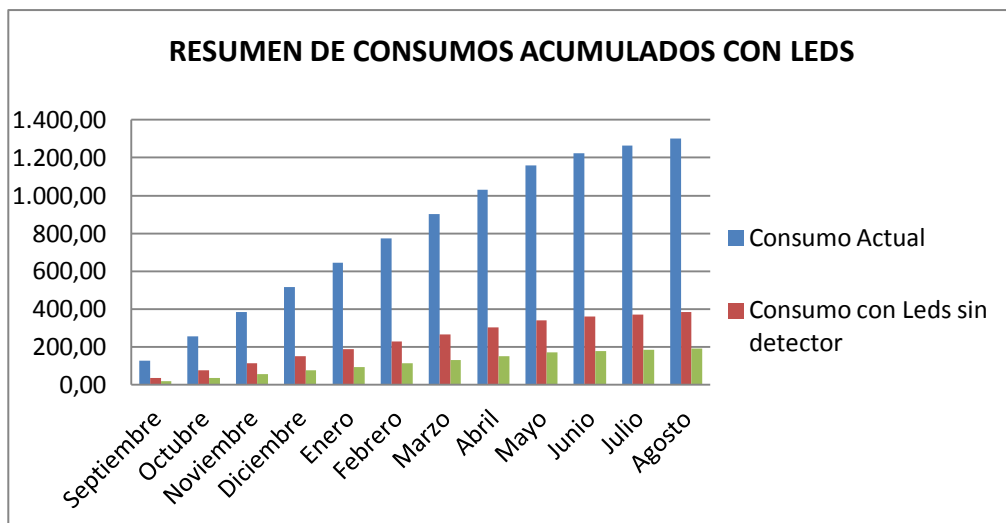
Horas de Funcionamiento	1.338,00 Horas/Año
Vida Útil de la Lámpara	38.800,00 Horas
Horas de vida después de la Amortización	24.447,43 Horas
Años de vida después de la amortización	18,27 Años

Tabla 5.43: Años de vida de la lámpara después de la amortización. **Fuente** elaboración propia

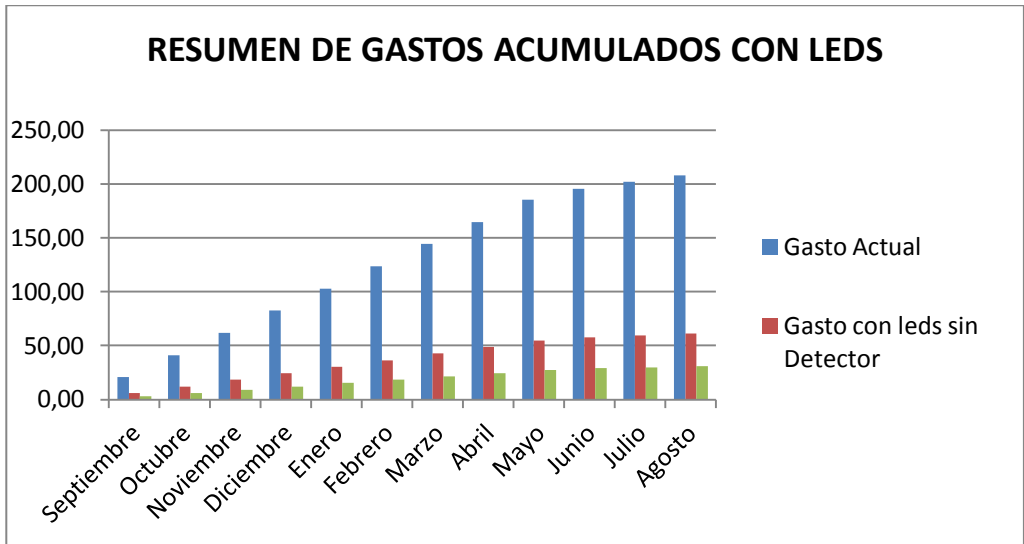
5.10.3 Resumen de la iluminación con tubo tipo LEDS.

En primer lugar tenemos la gráfica 39 y la gráfica 40, donde se reflejan los consumos y gastos acumulados en un año, con la iluminación de tubo tipo LEDS, como se comenta anteriormente este tipo de tubo no admite regulación para aprovechar el aporte de luz natural, por lo que las luminarias serán regletas convencionales sin regulador, pero si se dispondrá de detectores de presencia para vigilar el número de horas de funcionamiento de la instalación.

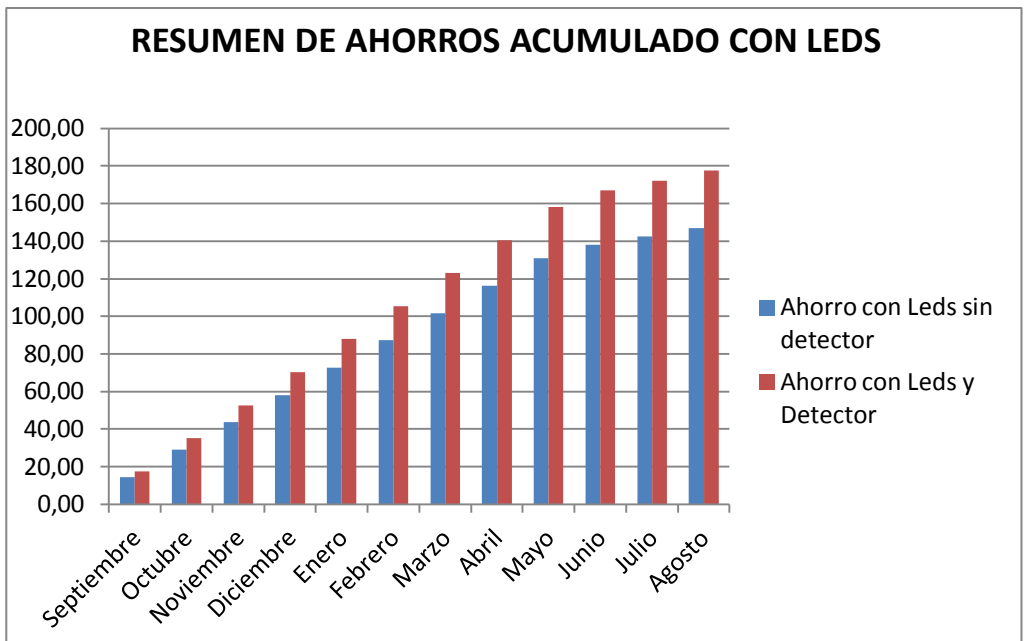
Se observan los tres tipos de instalación, la actual se mantiene como en todas las opciones ya que esta no varía, cuando se estudia con el tubo leds únicamente se aprecia una diferencia considerable, si además se instala el detector de presencia todavía se reduce mas tanto el gasto como el consumo, lo cual esto permite como se comenta anteriormente una buena eficiencia energética, mejor periodo de amortización y mayor tiempo de disfrute de la lámpara una vez transcurrido el periodo de amortización.



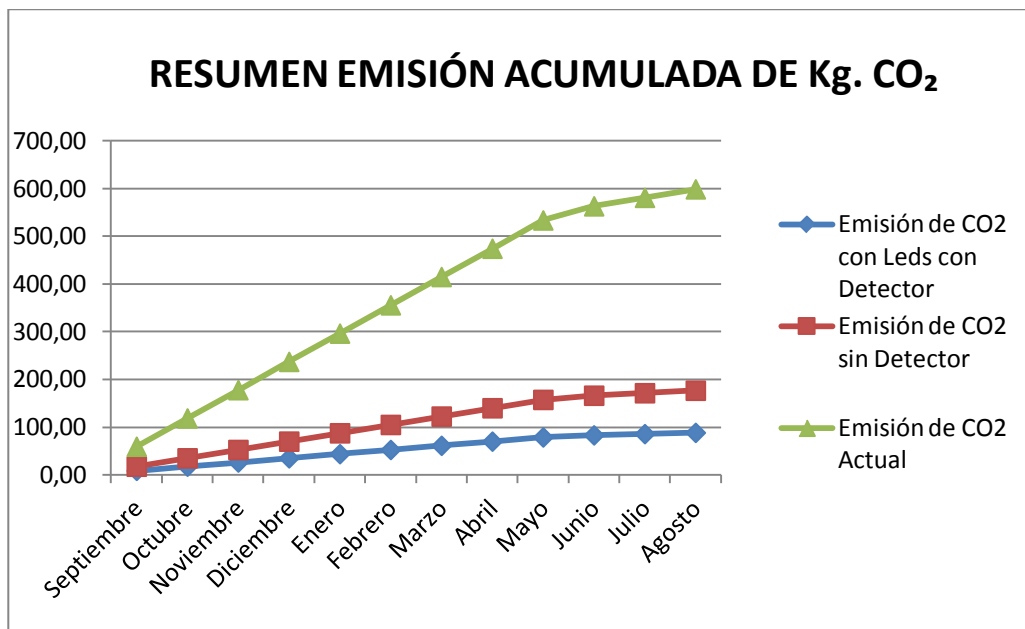
Gráfica 5.39: Resumen consumos acumulados con tubo LEDS. **Fuente** elaboración propia



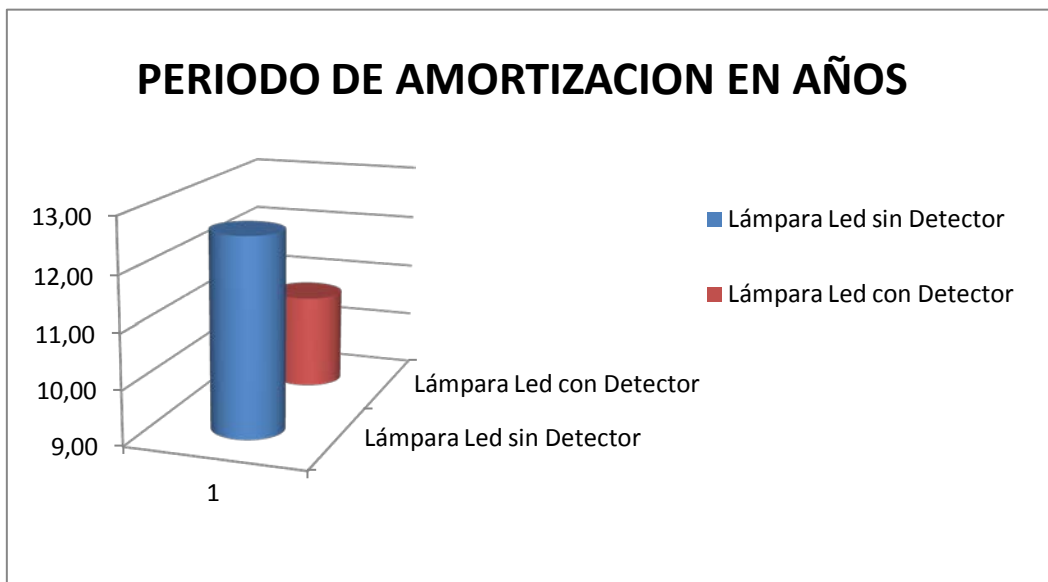
Gráfica 5.40: Resumen gastos acumulados con tubo LEDS. Fuente elaboración propia



Gráfica 5.41: Resumen ahorros acumulados con tubo LEDS. Fuente elaboración propia



Gráfica 5.42: Resumen emisión acumulada de Kg. CO₂ con tubo LEDS. Fuente elaboración propia



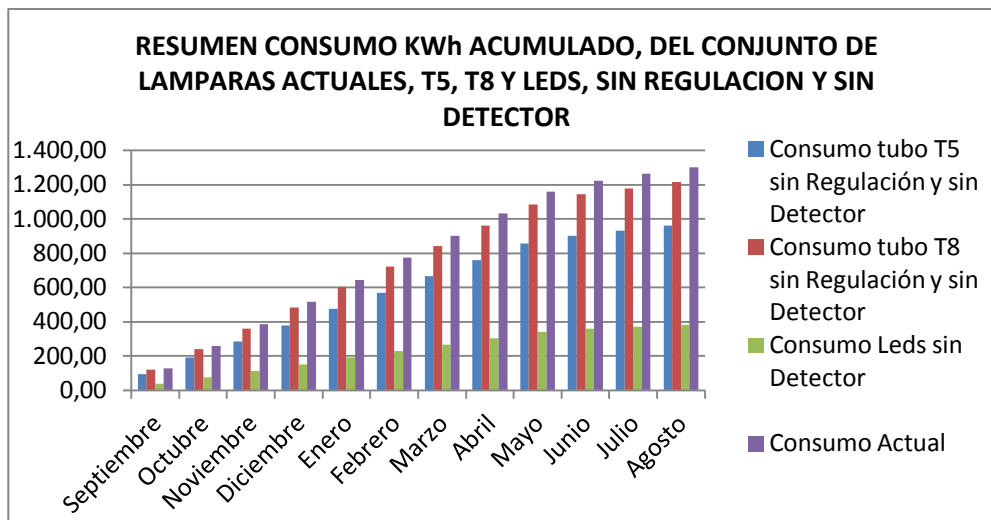
Gráfica 5.43: Periodo de amortización en años con tubo T8. Fuente elaboración propia

Capítulo VI. Resultados y conclusiones.

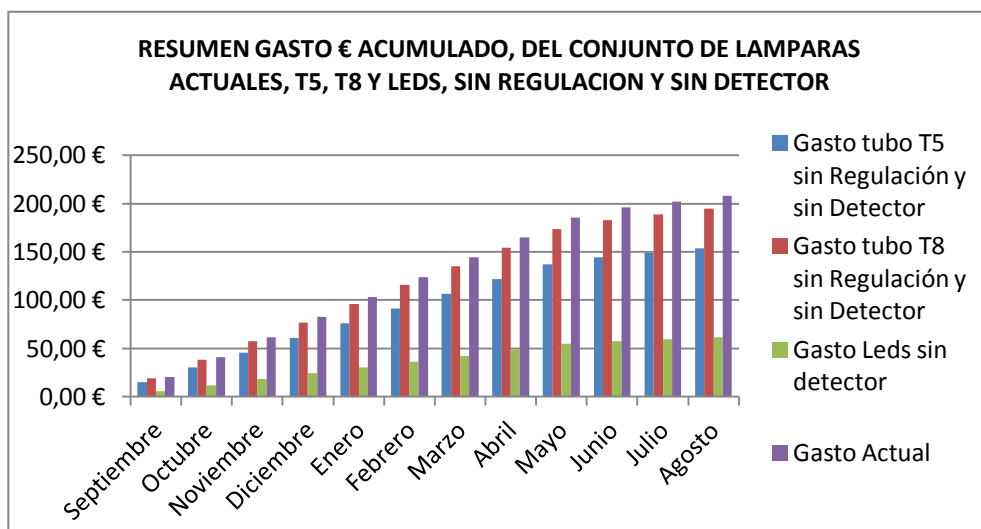
6.1 Introducción.

Habiendo realizado los cálculos con las tres propuestas elegidas para el estudio de iluminación, se muestran a continuación las gráficas donde justifican el resumen de cada uno de los cálculos realizados, de esta manera se puede comparar las diferentes opciones y por consiguiente valorar cuál de ellas puede ser la más viable para su instalación, teniendo en cuenta además una serie de factores que más adelante se detallan.

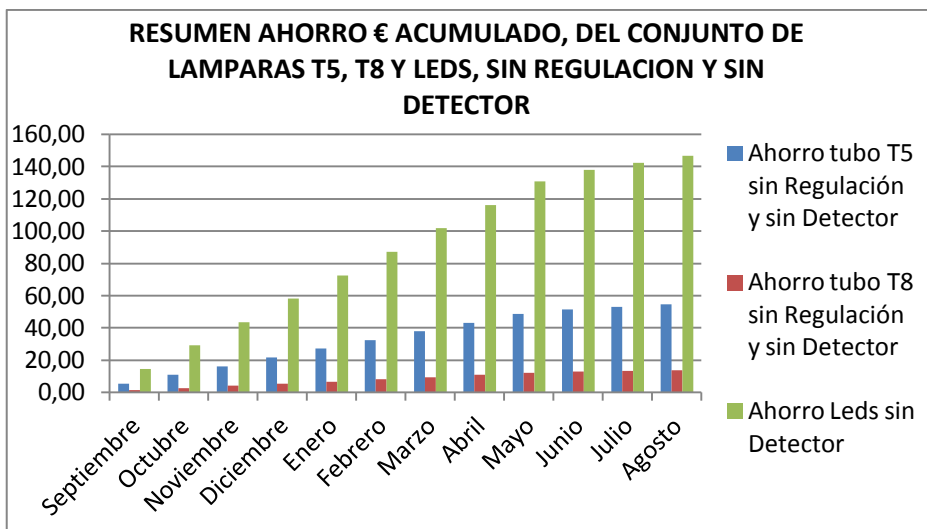
6.2 Gráficas resumen sin regulación y sin detector.



Gráfica 6.1: Resumen consumo KWh acumulado sin regulación y sin detector. Fuente elaboración propia

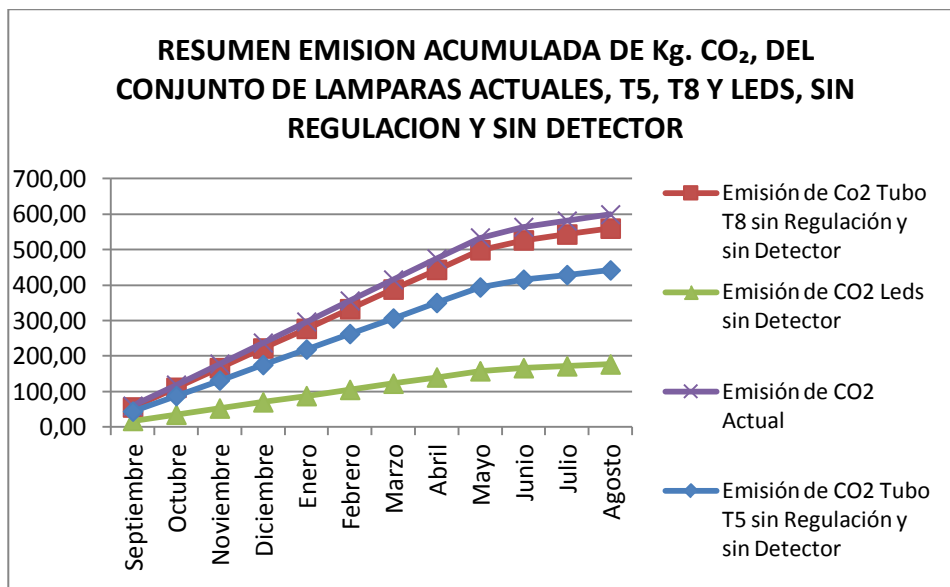


Gráfica 6.2: Resumen gasto en € acumulado sin regulación y sin detector. Fuente elaboración propia



Gráfica 6.3: Resumen ahorro en € acumulado sin regulación y sin detector. Fuente elaboración propia

En la gráfica 6.1, se observa el resumen de consumo en KWh acumulado de los tres tipos de iluminación incluso la actual, se aprecia que en función al tipo de propuesta el consumo desciende considerablemente en algunas de ellas, esta gráfica nos da unos resultados bastante cercanos a la instalación actual, ya que este tipo de instalación es la más simple y evidentemente la de menor coste en su instalación, puesto que su inversión es únicamente el cambio de luminarias, sin tener en cuenta la regulación de ellas en cuanto al aporte de luz natural y la presencia de público, es decir que la única potencia que disminuimos en comparación con la actual es el balasto de los tubos del tipo T5 y T8, se ve una gran diferencia con el tubo tipo leds, esto es debido a que este tipo de tubo no precisa regulación y además la potencia es mucho más baja que el resto. Es evidente que en función al consumo y al precio del KWh se obtiene un gasto el cual se observa en la figura 6.2, y se sigue apreciando que el gasto anual con respecto a la actual va en consonancia con el consumo. En la gráfica 6.3, nos muestra el ahorro de cada una de las propuestas en comparación con la instalación actual y se observa lógicamente que con la potencia de la que dispone el tubo leds existe una gran diferencia con el resto.

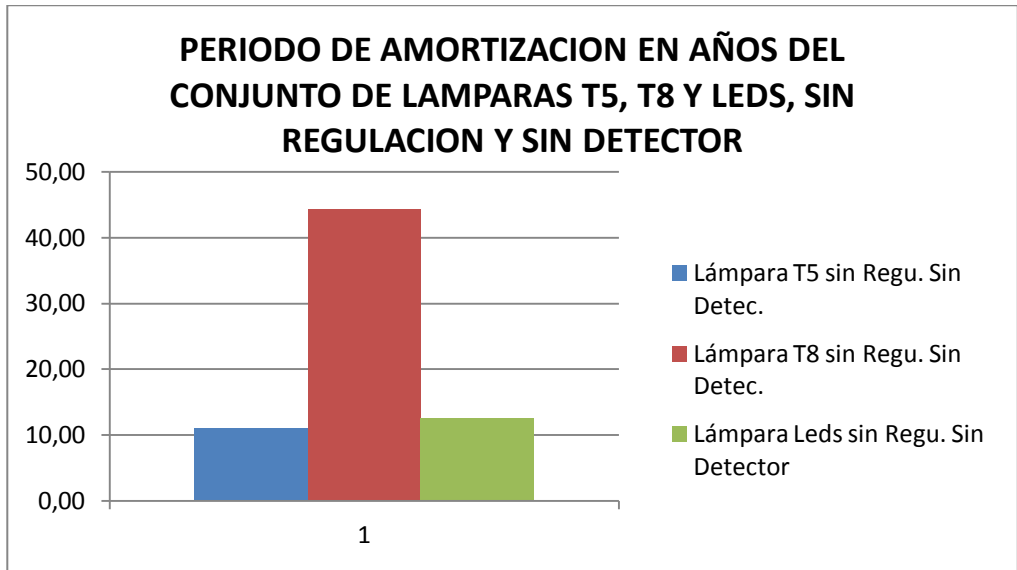


Gráfica 6.4: Resumen emisión acumulada de Kg, CO₂, sin regulación y sin detector. **Fuente** elaboración propia

Además de cuantificar y distribuir los consumos del edificio, la herramienta Excel también permite calcular la cantidad de CO₂ emitido a la atmósfera como consecuencia de los consumos de energía del colegio.

Los pasos que tiene que dar para implantar un plan de ahorro y eficiencia energética en el edificio, es definir una serie de medidas para reducir sus consumos energéticos y emisiones de CO₂.

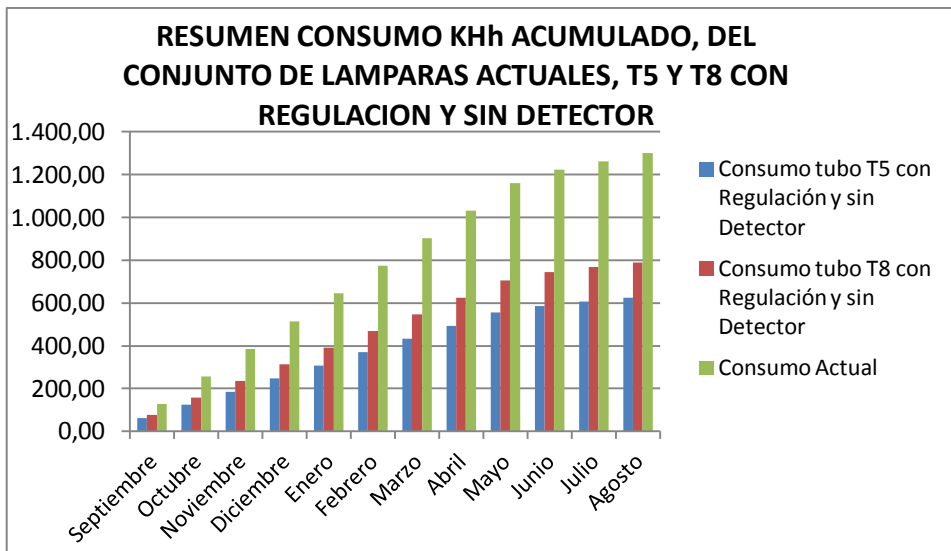
En la gráfica 6.4, muestra la reducción de emisión anual de Kg. de CO₂ en función al tipo de iluminación que se pretenda instalar, si no fijamos a medida que el consumo en KWh disminuye la emisión también lo hace, en esta gráfica se aprecia que el tubo T8 está muy igualado con la instalación actual, esto es debido a que el consumo de los dos tipos es casi el mismo, sin embargo con el tubo T5 se observa una mejora sustancial y con el tipo leds muchísima más.



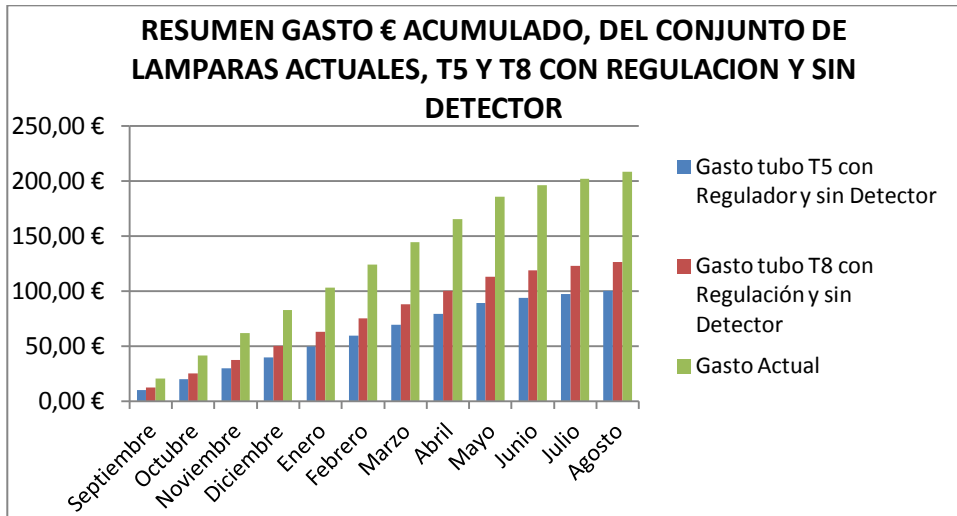
Gráfica 6.5: Resumen periodo de amortización en años, sin regulación y sin detector. **Fuente** elaboración propia

El periodo de amortización va en función a la inversión económica de la instalación y al ahorro económico anual con respecto a la instalación actual, en la grafía 6.5, se observa que el periodo de amortización más elevado es el tubo tipo T8, si nos fijamos en la tabla 5.2, la inversión de este tipo de iluminación es elevada, y mirando la gráfica 6.3, vemos que el ahorro en este tipo de instalación, es decir sin regulación y sin detectores de presencia, es muy bajo, por lo que esto implica a que el periodo de amortización de este tipo de tubo se demasiado elevado, todo lo contrario ocurre con el tubo T5 y tubo leds, esto es debido a que la potencia de estos es inferior y por consiguiente el ahorro es más elevado, en el caso de tubo T5, si observamos la tabla 5.5 vemos que el ahorro es más elevado que el tubo T8 y en la tabla 5.7, el coste de la inversión es muy parecido al tubo T8, esto justifica el periodo de amortización que se aprecia en la gráfica 6,5, con el tubo leds ocurre que el coste es muy alto pero también lo es el ahorro.

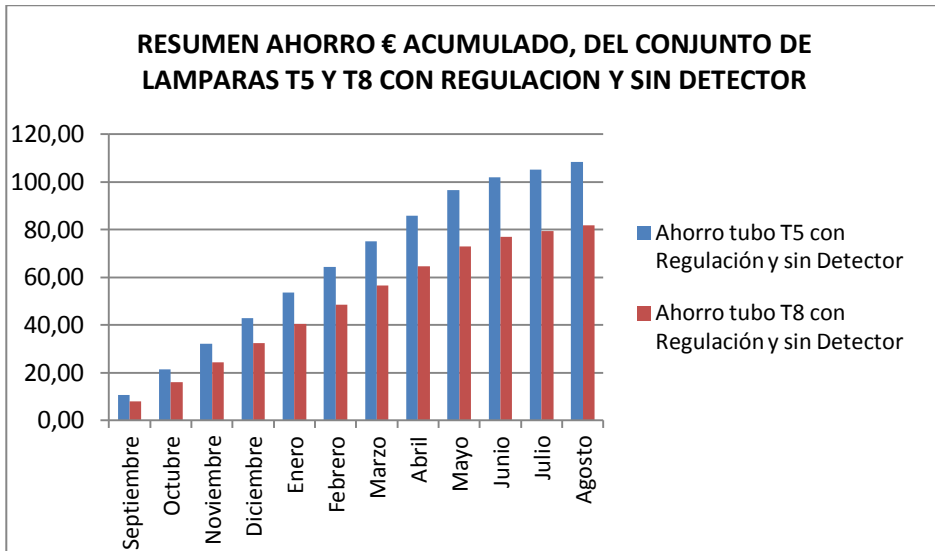
6.3 Gráficas resumen con regulación y sin detector



Gráfica 6.6: Resumen consumo kWh acumulado con regulación y sin detector. Fuente elaboración propia

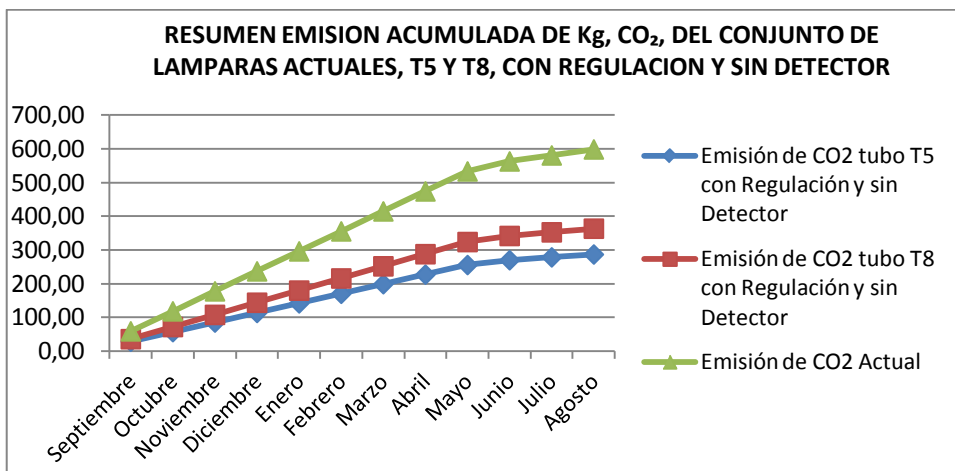


Gráfica 6.7: Resumen gasto en € acumulado con regulación y sin detector. Fuente elaboración propia



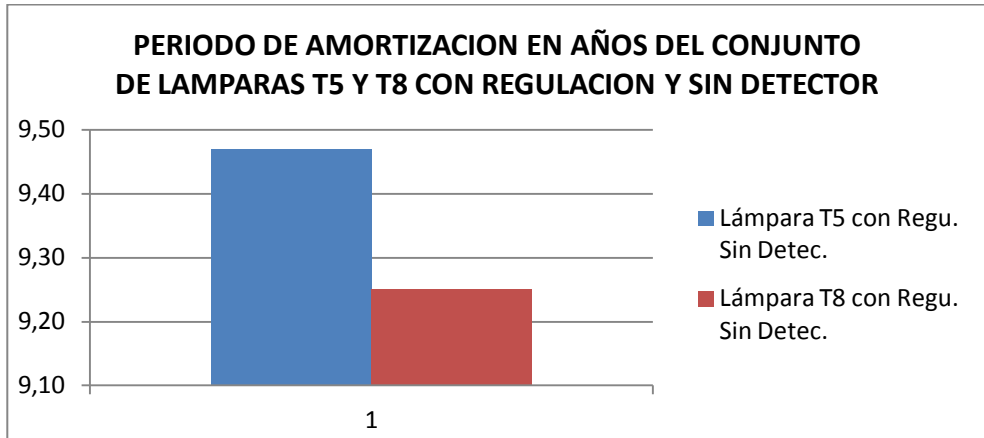
Gráfica 6.8: Resumen ahorro en € acumulado con regulación y sin detector. **Fuente** elaboración propia

De la misma forma que el tipo de instalación anterior, en la gráfica 6.6, nos muestra el resumen del consumo en kWh acumulados de los tubos tipo T5 y T8 únicamente, ya que el tipo Leds no admite regulación, como podemos observar al incorporar luminarias con regulación de flujo automático en función del aporte de luz natural, se aprecia una gran reducción de consumo, es decir podemos reducirlo hasta un 50% con respecto al consumo actual, esto implica a que se está realizando una buena eficiencia energética y por consiguiente un gran ahorro económico. En la gráfica 6.8, se muestran los ahorros, que a su vez justifica que el aporte de luz natural conlleva a un ahorro económico excepcional.



Gráfica 6.9: Resumen emisión acumulada de Kg, CO₂, con regulación y sin detector. **Fuente** elaboración propia

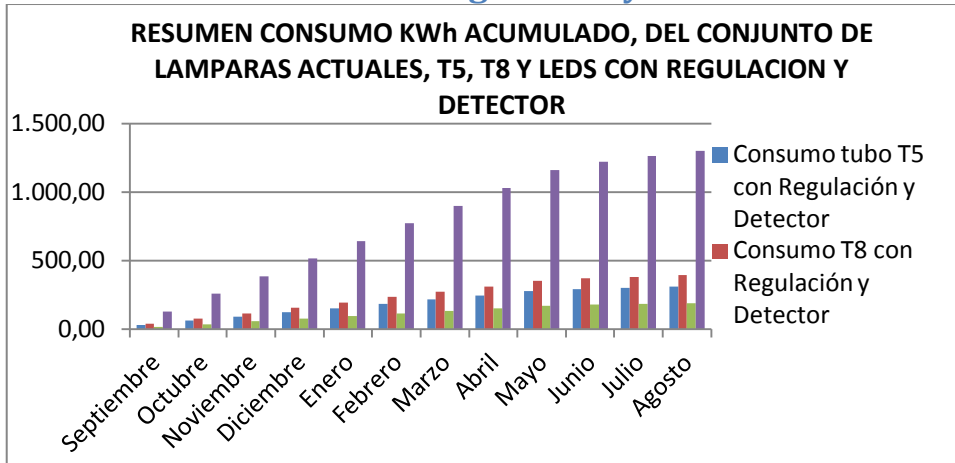
En la gráfica 6.9, se observa la importancia que tiene el aporte de luz natural en una instalación de iluminación, ya que este reduce el consumo de KWh y por consiguiente reduce la emisión de CO₂, se puede apreciar que si se compara esta gráfica con la gráfica 6.4, hay una reducción importante.



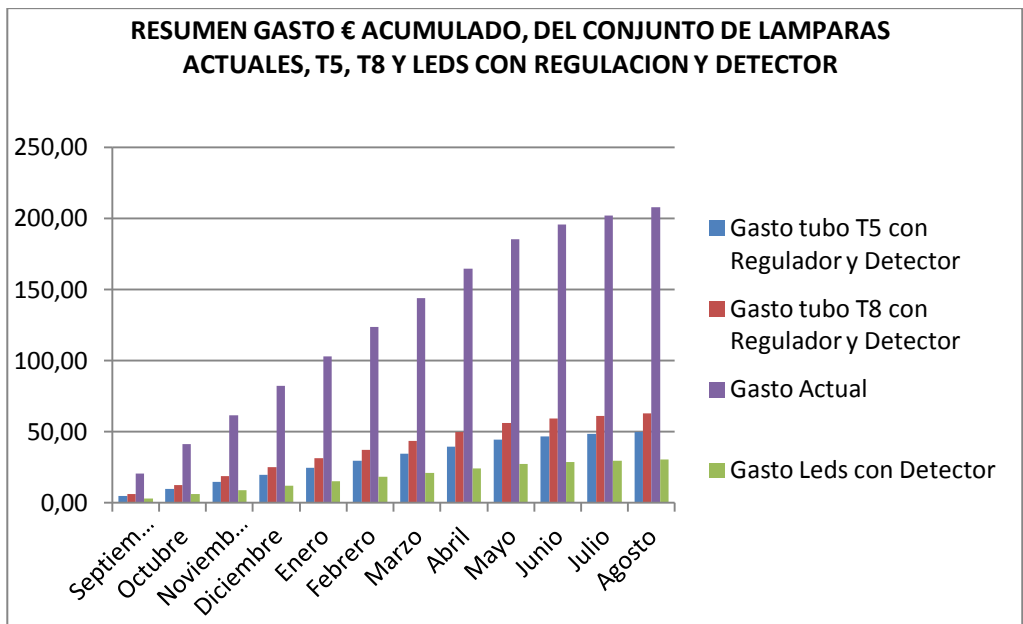
Gráfica 6.10: Resumen periodo de amortización en años, con regulación y sin detector. **Fuente** elaboración propia

En la gráfica 6.10, observamos que el periodo de amortización se ha reducido en comparación con la anterior gráfica 6.5, considerablemente, es evidente ya que hay que tener en cuenta que el coste de la instalación no varía, pero si el ahorro, por lo que se justifica que a medida que reducimos el consumo aumenta el ahorro y por consiguiente disminuimos el periodo de amortización.

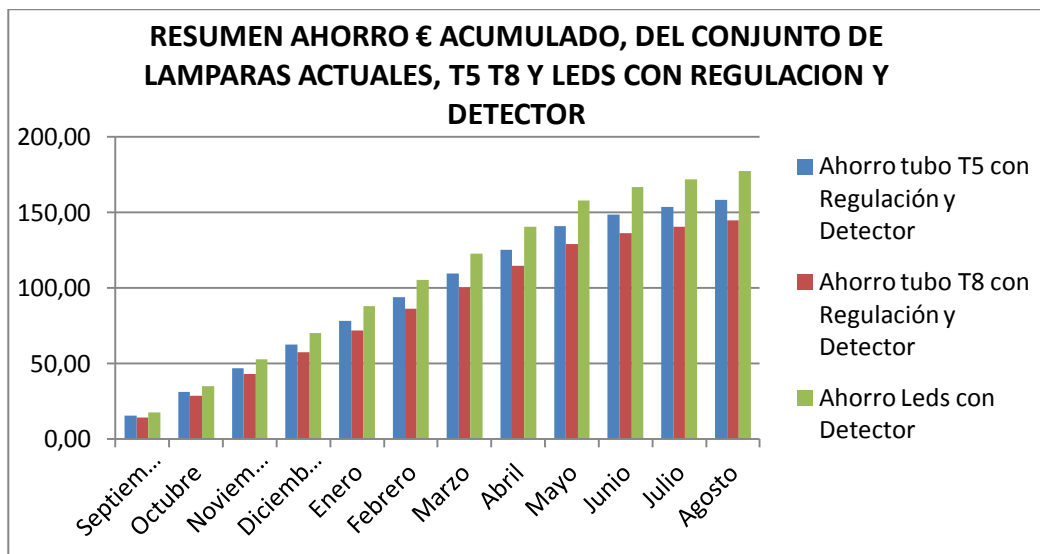
6.4 Gráficas resumen con regulación y con detector



Gráfica 6.11: Resumen consumo kWh acumulado con regulación y con detector. Fuente elaboración propia

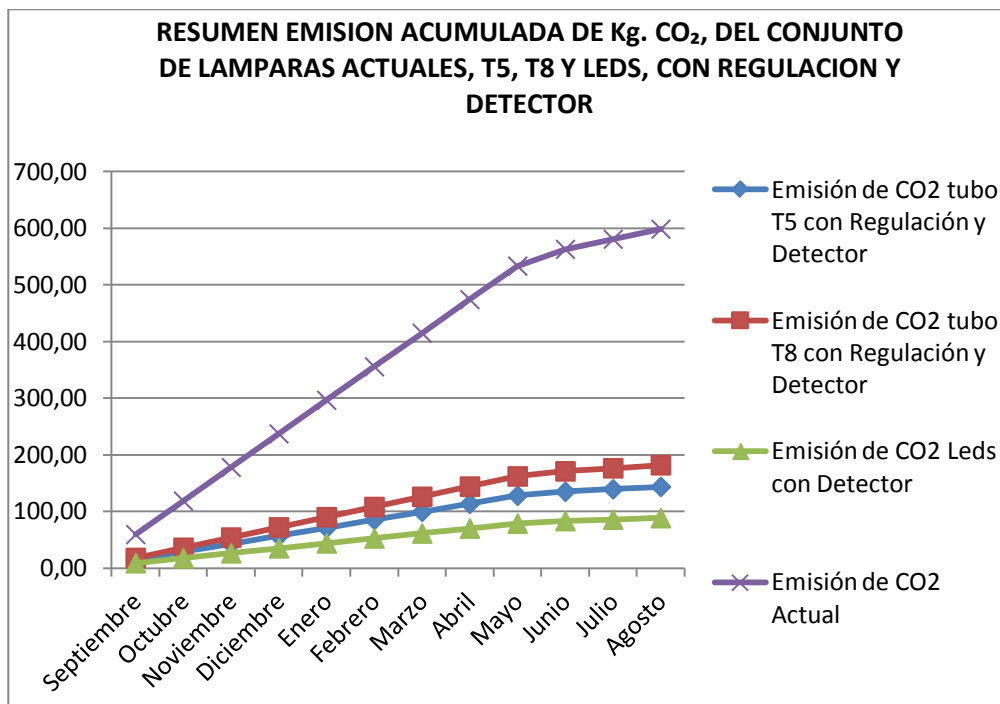


Gráfica 6.12: Resumen gasto en € acumulado con regulación y con detector. Fuente elaboración propia



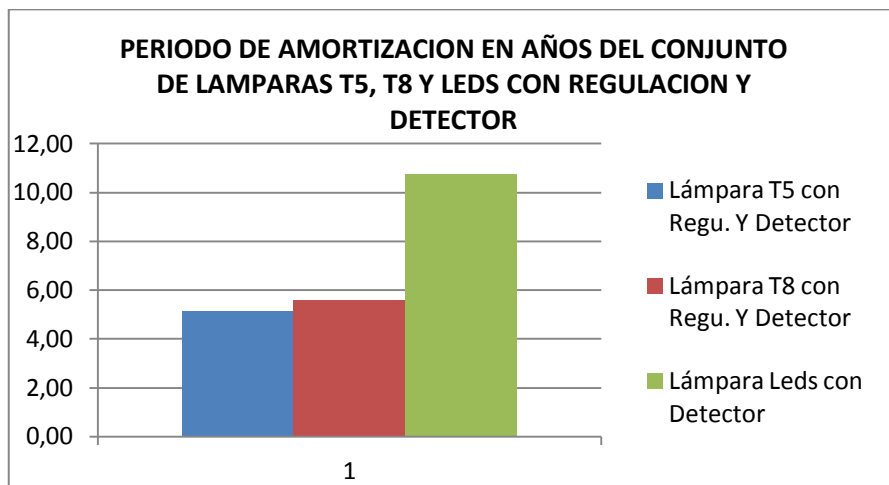
Gráfica 6.13: Resumen ahorro en € acumulado con regulación y con detector. **Fuente** elaboración propia

En la gráfica 6.11, se observa que todavía se puede mejorar mas el consumo de kWh, añadiendo a la instalación detectores de presencia, que como se comenta en apartados anteriores nos reduce en nuestro estudio un 50% las horas de funcionamiento de las luminarias, ya que únicamente estarán funcionando cuando en el local se encuentre personal. Por tanto esto implica a una mejor eficiencia energética y evidentemente un gran ahorro económico que es el objetivo de nuestro trabajo.



Gráfica 6.14: Resumen emisión acumulada de Kg, CO₂, con regulación y con detector. **Fuente** elaboración propia

Se observa en la gráfica 6.14, que todavía se reduce mas la emisión de CO₂, al incorporar a la instalación detectores de presencia, ya que como se comenta anteriormente en nuestro estudio las horas de funcionamiento de las luminarias es un 50% menos, lo cual esto implica a un consumo mas inferior.



Gráfica 6.15: Resumen periodo de amortización en años, con regulación y con detector. **Fuente** elaboración propia

Seguimos comentando de que el coste de la instalación no varía, pero si el ahorro, al incorporar una mejora en la instalación, es decir detectores de presencia, esto implica que las horas de trabajo de las luminarias trabajan un 50% menos, de esta manera baja el consumo y lógicamente aumenta el ahorro, por lo que disminuye el periodo de amortización, como se comprueba en la gráfica 6.15, los tubos tipo leds tendrían un periodo de amortización relativamente largo, esto se debe a su alto coste de instalación, pero podemos observar que el tubo T5 ha llegado a un periodo de amortización comprensible.

6.5 Conclusión

Una vez realizados los diferentes cálculos y gráficas correspondientes, se pasará a analizar el contenido de los mismos.

La elección del sistema correcto, si bien no es fácil debido a las diferentes variantes que nos encontramos en el estudio tales como:

Presupuesto de inversión

Retorno inversión

Viabilidad de la solución

Normativa aplicable.

Ahorro

Asimismo, debemos mantener los factores lumínicos de la instalación, indicados o no en la Norma UNE, estos son:

Uniformidad

Contraste

Deslumbramiento (regulado por normativa)

Ambiente cromático (regulado por normativa)

Se analizan a su vez, los diferentes factores que afectarán en mayor o menor medida tanto a la instalación como al mantenimiento:

- Factores Técnicos:
 - o Componentes: se han elegido componentes de alta eficiencia energética y alta durabilidad. Estos componentes cumplirían también con la normativa Europea WEEE (**Waste of Electric and Electronic Equipment**)
 - o Funcionamiento: la maniobrabilidad, la flexibilidad y la seguridad intrínseca de la solución se ha analizado descartando cualquier otra opción propuesta en las técnicas de creatividad utilizadas para buscar soluciones al proyecto.

- Factores económicos:
 - o Costes de la instalación: se ha tenido en cuenta tanto los costes de los componentes como mano de obra y control.
 - o Costes de mantenimiento y servicio: la reposición es un factor clave para el mantenimiento, la solución adoptada debe ser lo más homogénea posible y los costes de reposición deben de ser lo menor posible tanto de mano de obra como de material. Reparaciones y limpieza son

aspectos que se deben cuidar y mimar para que la viabilidad de la instalación sea óptima y no repercuta negativamente en la propiedad.

- Costes de consumo de energía eléctrica. Se puede ver en el VEEI o directamente en los costes de energía (kWh) de las tablas o gráficas.
- Factores energéticos:
 - Concienciación y sensibilización: Ahorro del consumo energético en las instalaciones, cuidado del medioambiente y desarrollo sostenible, ahorro en gastos de explotación.

“la energía más verde es aquella que no es necesario generar porque no se consume”

- Fuentes de luz eficaces: las soluciones comparadas utilizan fuentes de luz eficaces
- Equipos auxiliares: Se utilizan equipos electrónicos auxiliares que conllevan una serie de ventajas como se ha explicado anteriormente en el apartado 5.7.
- Luminarias eficaces: los rendimientos de las luminarias son valores notablemente altos.
- Aprovechamiento de la luz natural: por normativa y por ahorro se ha estudiado el caso con sensores de luminosidad incorporados en cada una de las luminarias, a este tipo de instalación se le llama regulación progresiva, la iluminación se va ajustando progresivamente según el aporte de luz exterior hasta conseguir el nivel de luz prefijado, la alternativa más adecuada es la de utilizar luminarias con balastos electrónicos de alta frecuencia regulables, que controlados por una fotocélula, hace variar la aportación de flujo luminoso emitido por las lámparas en función de la variación de luz natural.



Figura 6.1: Sensor de iluminación integrado en la luminaria. Fuente (ETAP)

- Gestión, control y regulación de luz: se proponen diferentes sistemas, no obstante, se tiene en cuenta la magnitud del proyecto para valorar uno u otro, en el caso que nos ocupa se ha estudiado con detectores de presencia que responden a la ausencia de personas en el aula o local con el apagado del alumbrado artificial, existen varios tipos de detectores, entre ellos están:
 - Infrarojos
 - Acústicos por ultrasonidos
 - Acústicos por microondas
 - Híbridos de los de anteriores.
- Estos sistemas pueden originar el apagado de la instalación que controlan, si a pesar de la presencia de alguna persona en el interior, esta permanece durante un periodo de tiempo en actitud estática.



Figura 6.2: Detector de presencia. Fuente (ETAP)

- Medio Ambiente y reciclaje: Según la directiva europea sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE), todas las lámparas tienen que ser recogidas y recicladas.

Todo este análisis llevado a cabo, no sería viable sin la aprobación de un último elemento imprescindible como es la propiedad que debe supervisar, entender y aprobar todo el estudio y posterior implantación del mismo ejecutándose en el plazo apropiado debido a su utilización.

Todos los factores anteriormente descritos se han valorado, estudiado e implementado en las soluciones elegidas, por lo que cumplirían todos o la mayor parte de los aspectos descritos.

Como se puede comprobar, se han realizado estudios exhaustivos de una supuesta instalación con luminarias T5, otra supuesta instalación con luminarias T8 y por último, una instalación con tecnología Leds. Estos estudios, servirán para proponer la solución más óptima a la instalación estudiada en el Colegio Dominicos de Valencia.

El análisis se basa en los 4 conceptos más relevantes para elegir una solución de alumbrado, por lo que se valorará y cuantificará cada uno de ellos en función de la instalación propuesta:

Ahorro/Retorno de la inversión

Durabilidad de la solución después de la amortización

Eficiencia Energética

Cumplimiento de normativa

En las diferentes instalaciones propuestas, estos son los resultados:

INSTALACIÓN T5

	Tubo tipo T5 sin regulación, sin detector de presencia	Tubo tipo T5 con regulación, sin detector de presencia	Tubo tipo T5 con regulación y detector de presencia
AHORRO/RETORNO (€/años)	54,61 € / 11,10 años	108,36 € / 9,47 años	153,58 € / 5,13 años
DURABILIDAD (h)	-4,37	-2,74	8,32
EFICIENCIA ENERGÉTICA (VEEI)	1,44	1,44	1,44
CUMPLIMIENTO NORMATIVA (Em, UGR, Ra)	496 lux / 19 / 80	496 lux / 19 / 80	496 lux / 19 / 80

Al analizar los datos se puede concluir en un vistazo rápido que la mejor opción por amortización y por VEEI sería una solución con esta tecnología añadiendo balastos regulables y sistemas de detección de presencia.

INSTALACIÓN T8

	Tubo tipo T8 sin regulación, sin detector de presencia	Tubo tipo T8 con regulación, sin detector de presencia	Tubo tipo T8 con regulación y detector de presencia
AHORRO/RETORNO (€/años)	13,65 € / 44,40 años	81,74 € / 9,25 años	145 € / 5,60 años
DURABILIDAD (h)	-38,35	-3,20	6,51
EFICIENCIA ENERGÉTICA (VEEI)	2,25	2,25	2,25
CUMPLIMIENTO NORMATIVA (Em, UGR, Ra)	402 lux / 19 / 80	402 lux / 19 / 80	402 lux / 19 / 80

Como en la solución anterior, la mejor opción debido a que el resto de valores permanecen constantes es la solución con regulación y detección de presencia.

INSTALACIÓN LED

	Tubo tipo Leds sin detector de presencia	Tubo tipo T8 con detector de presencia
AHORRO/RETORNO (€/años)	146,76 € / 12,59 años	177,48 € / 10,73 años
DURABILIDAD (h)	1,91	18,27
EFICIENCIA ENERGÉTICA (VEEI)	0,94	0,94
CUMPLIMIENTO NORMATIVA (Em, UGR, Ra)	305 lux / 19 / 80	305 lux / 19 / 80

En este caso, hay que comentar que la solución estudiada a través de un consenso con la propiedad es una solución que no permitiría regulación. Se ha llegado a esta solución ya que la inversión sería demasiado elevada y cómo podemos comprobar, la amortización está lejos de los objetivos. Por lo que de las dos opciones, se elige la solución con detección de presencia.

Una vez estudiadas cada una de las tecnologías por separado, se pasa al estudio comparativo definitivo para elegir, como se ha comentado anteriormente, la solución más óptima de la instalación estudiada:

	Tubo tipo T5 con regulación y con detector de presencia	Tubo tipo T8 con regulación y con detector de presencia	Tubo tipo Leds con detector de presencia
AHORRO/RETORNO (€/años)	153,58 € / 5,13 años	145 € / 5,60 años	177,48 € / 10,73 años
DURABILIDAD (h)	8,32	6,51	18,27
EFICIENCIA ENERGÉTICA (VEEI)	1,44	2,25	0,94
CUMPLIMIENTO NORMATIVA (Em, UGR, Ra)	496 lux / 19 / 80	402 lux / 19 / 80	305 lux / 19 / 80

Analizando cada uno de los conceptos por separado, vemos que:

Se cumple la normativa en los 3 casos, si bien es cierto, debido a que las instalaciones tanto con T8 como con T5 están por encima de la norma, se podría llegar a ahorrar más aún si cabe con respecto a los cálculos realizados o bien, realizar clases nocturnas con un mayor aprovechamiento del centro.

La normativa también exige unos requisitos de regulación que en el caso del led no se cumplirían.

1. Los valores de Eficiencia Energética están por debajo de los valores exigibles por la norma con lo que cualquiera de las tres soluciones sería válida en este caso.
2. La durabilidad del LED es mayor (el doble aproximadamente) que el resto de soluciones, no obstante, en cuanto a la reposición del final de la vida útil, se debe hacer hincapié en que al llegar al final de la vida del led, se debería cambiar la instalación por completo y realizar otra inversión similar. Con la solución de fluorescencia, la reposición representa aproximadamente un 5% del coste total de la inversión.
3. El ahorro y retorno de la inversión es el factor más decisivo a la hora de elegir una u otra solución.

Una óptima solución sería una solución con un retorno de inversión menor a 10 años. Se puede ver en el Led que es superior, además como se ha dicho anteriormente la tecnología Led es muy eficiente aunque se genera una pequeña cantidad de calor. No obstante, es crítico que este calor se disipe de forma correcta, dado que la tecnología de este es muy sensible en este aspecto. Cuando las potencias empiezan a ser considerables los disipadores también aumentan de tamaño proporcionalmente. Esto puede ser un impedimento en el diseño de luminarias y sistemas de alumbrado, no obstante, se ha optado por introducir esta solución para poder comparar las tres tecnologías con todos sus aspectos. De todos modos dadas las grandes ventajas que presenta, puede considerarse al LED como la tecnología del futuro, limitada en la actualidad únicamente por limitaciones técnicas que, poco a poco, se van superando.

En este caso, los ahorros obtenidos y la relación inversión-ahorro (retorno) de la instalación T5 y T8 son muy parecidos, en este caso, cualquiera de las dos opciones sería buena.

Se puede concluir que, la opción con tecnología T5 sería la opción con mayor ventaja sobre las demás puesto que el VEEL es menor que la T8 y presenta menor tiempo de amortización.

Referencias Bibliográficas

Bibliografía

AEM, (2010). Asociación española de mantenimiento; "Encuesta sobre la evolución y situación del mantenimiento en España". AEM, 2010.

AFIM, (2007) Association française des ingénieurs et techniciens de maintenance (2007), Guide national de la maintenance 2007, Paris.

Atif, M.R.; Galasiu, A.D. (2003). Energy performance of daylight-Linked automatic lighting control systems in large atrium spaces: report on two field-monitored case studies. Pp 441-461

Bottini, R. (2010). Modelos matemáticos para Optimización de Reemplazo Preventivo e Inspecciones Preventivas. Universidad Austral.

Bourne, M. (2005), "Researching performance measurement system implementation: the dynamics of success and failure", *Productiob Planning & Control*, Vol. 16 No. 2, pp. 101-13

Cárcel, F.J; Roldán, C. (2013). Principios básicos de la Gestión del Conocimiento y su aplicación a la empresa industrial en sus actividades tácticas de mantenimiento y explotación operativa: Un estudio cualitativo. *Intangible capital*. 9 (1):91-125. <http://dx.doi.org/10.3926/ic.341>.

Cárcel, J. (2010). Aspectos estratégicos del mantenimiento industrial relativos a la eficiencia energética, Artículo 1er Congreso de dirección de operaciones en la empresa, 25 y 26 de Junio, Madrid 2010.

Cárcel Carrasco, Francisco Javier. (2014a). "La gestión del conocimiento en la ingeniería del mantenimiento industrial: Investigación sobre la incidencia en sus actividades estratégicas". *Omnia Science*, 2014. ISSN 978-84-941872-7-8. DOI: <http://dx.doi.org/10.3926/oms.197>.

Cárcel Carrasco, Francisco Javier. (2014b). "Planteamiento de un modelo de mantenimiento industrial basado en técnicas de gestión del conocimiento". *Omnia Science*, 2014. ISSN 978-84-941872-8-5. DOI: <http://dx.doi.org/10.3926/oms.198>.

Cárcel-Carrasco J, Roldan-Porta c, Grau-Carrion J. (2014c). "La sinergia entre el diseño de planta industrial y mantenimiento-explotación eficiente. un ejemplo de éxito: El caso Martínez Oriente S.A. " *Dyna*. marzo 2014. vol. 89-2 p.159-164. doi: <http://dx.doi.org/10.6036/5856>

Cárcel Carrasco, Francisco Javier. (2014d). Fiabilidad en explotación, mantenimiento y eficiencia energética en plantas industriales: investigación sobre su relación táctica. Ed. 3Ciencias. 2014. <http://www.3ciencias.com/libros/libro/fiabilidad-en-explotacion-mantenimiento-y-eficiencia-energetica-en-plantas-industriales-investigacion-sobre-su->

relacion-tactica/

Cárcel Carrasco, Francisco Javier. (2014e). Acciones de eficiencia energética y mejora de la fiabilidad en su aplicación a industrias agroalimentarias. Ed. 3Ciencias. 2014. <http://www.3ciencias.com/libros/libro/acciones-de-eficiencia-energetica-y-mejora-de-la-fiabilidad-en-su-aplicacion-a-industrias-agroalimentarias/>

Cárcel-Carrasco J, Grau-Carrion J. (2015). " Supervisión energética para monitorización y control de consumo eléctrico. Un caso práctico. 3C Tecnología (Edición núm. 13) Vol.4 – Nº 1 Marzo – junio'15 2015, 19 - 31.

CONAE, 2005. "Procedimiento para el uso de la Metodología en Iluminación". Fuente: <http://www.conae.gob.mx/wb/distribuidor.jsp?seccion=2859> México, 2005 Mayo

Conde, J.; (1999). "El Mantenimiento efectivo: principios y métodos". Working paper, GIO-0500-UCLM, Ciudad Real (1999).

Cuesta, F. (2010). Manual y contrato de mantenimiento de la infraestructura eléctrica de una fabrica. PFC. Universidad Carlos II. Madrid.

Doulos, L; Tsangrassoulis, A ; Topalis, F, (2008) .Quantifying energy savings in daylight responsive systems: the role of dimming electronic ballasts, Energy and Buildings 40.Pp 36–50.

Goel, H.D., Grievink, J. and Weijnen, M.P.C. (2003), "Integrated optimal reliable desing, production, and maintenance planning for multipurpose process plants", Computers & Chemical Engineering, Vol. 27 No, 11, pp 1543-55.

International Energy Agency. (2006). Light's Labour's Lost. Policies for Energy-Efficient Lighting, OECD/IEA, Paris, 2006.

Jennings, J.D.; Rubinstein, F.M.; DiBartolomeo, D.; Blanc, S. (2000). Comparison of control options in private offices in an advanced lighting controls testbed, Journal of the Illuminating Engineering Society

Lindelöf, D.; Morel, N. (2006). A field investigation of the intermediate light switching by users, Energy and Buildings 38. Pp.790–801.

Macián, V., Tormos, B., Olmeda P., (2007) "Fundamentos de Ingeniería del Mantenimiento". Servicio de Publicaciones Universidad Politécnica de Valencia.

Manual de alimentación INDAL Ed. Indal. 2010. Madrid

Mardaljevic, J.; Heschong, L. (2009). L.E. Lee, Daylight metrics and energy savings, Lighting Research and Technology 41. Pp.261–283.

Masoso, O.T.; Grobler, L.J. (2010). The dark side of occupants' behaviour on building energy use, *Energy and Buildings* 42. Pp.173–177.

Moore, T.; Carter, D.J.; Slater, A. (2002). A field study of occupant controlled lighting in offices, *Lighting Research and Technology* 34. Pp.191–205.

Mora, A. (1999). Selección y jerarquización de las variables importantes para la gestión de mantenimiento en empresas usuarias o generadoras de tecnologías avanzadas, - Tesis doctoral _ Universidad Politécnica de Valencia – Valencia – España

Newsham, G.R.; Veitch, J.A. (1998). Individual control over office lighting: perceptions, choices and energy savings, in: *Construction Technology Updates*,

Nicol, F.; M. Wilson, M.; Chiancarella, C. (2006). Using field measurements of desktop illuminance

in European offices to investigate its dependence on outdoor conditions and its effect on occupant satisfaction, and the use of lights and blinds, *Energy and Buildings* 38. Pp.802–813.

O'Donell, B.; Tonello, G.; Raitelli, M.; y Kirschbaum, C. Lighting Evaluation at workplaces in subtropical regions. *Proceeding 24 Session CIE, Polonia. 1999*

Oke, S.A. (2005), "An analytical model for the optimization of maintenance profitability", *International Journal of Productivity and Performance Management*, Vol. 54 No. 2, pp. 113-36.

PA. Fachada con cristalera de un edificio de oficinas. Fuente (www.plataformaarquitectura/lutron-sistema)

Raitelli, M.R.; Colombo; E.M.; Kirschbaum, C.F. (1995). Lighting and energy balance: step by step strategy for a textile industry. *Memorias de Right Light Three, Vol.2. Newcastle Upon Tyne, Inglaterra. Junio1995.*

Reinhart, C.F. (2004). Lightswitch-2002: a model for manual and automated control of electric lighting and blinds. *Solar Energy* 77. Pp. 15–28

Reinhart, C.F., Voss, K. (2003) Monitoring manual control of electric lighting and blinds, *Lighting Research and Technology* 35. Pp243–260

Roisin, B.; Bodart, M.; Deneyer, A.; D'Herdt, P. (2008). Lighting energy savings in offices using different control systems and their real consumption, *Energy and Buildings* 40. Pp.514–523.

Rubinstein, F.; Jennings, J.; Avery, D.; Blanc, S. (1999) Preliminary results from an advanced lighting controls testbed, *Journal of the Illuminating Engineering Society* 28. Pp.130–141.

Sun, Y., Ma, L. and Mathew, J. (2007), "Prediction of system reliability for component repair", *Journal of Quality in Maintenance Engineering*. Vol. 12 No. 2, pp. 111-24.

Tregenza, P.R.; Romaya, S.M.; Dawe, S.P; Heap, L.J.; Tuck, B. (1974). Consistency and variation in preferences for office lighting, *Lighting Research and Technology* 6. Pp.205–211.

UNE-EN 13306, (2010). *Mantenimiento: Terminología de mantenimiento*. Aenor, Marzo 2011.

UNE-EN 13460, (2009). *Terminología de mantenimiento*. Aenor, Diciembre 2009.

UNE-EN 15341, (2007). *Indicadores clave de rendimiento del mantenimiento*. Aenor, Septiembre 2008.

UNE-EN 200001-3-11, (2003). *Gestión de la confiabilidad: Parte 3-11: Guía de aplicación Mantenimiento centrado en la fiabilidad*. Aenor, Octubre 2003.

UNE-EN 20464, (2002). *Planificación del mantenimiento y de la logística de mantenimiento*. Aenor, Abril 2002.

UNE-EN 20654-4, (2002). *Guía de mantenibilidad de equipos: Parte 4-8: Planificación del mantenimiento y de la logística de mantenimiento*. Aenor, Abril 2002

UNE-EN 60706-2, (2006). *Requisitos y estudios de mantenibilidad durante la fase de diseño y desarrollo*. Aenor, Mayo 2009.

Yun, G.Y.; Hwang, T.; Kim, J.T. (2010). Performance prediction by modelling of a lightpipe system used under the climate conditions of Korea, *Indoor and Built Environment* 19. Pp.137–144.

Yun, G.Y.; Shin, J.Y.; Kim, J.T. (2011). Influence of window views on the subjective evaluation of discomfort glare, *Indoor and Built Environment* 20. Pp.65–74.

Yun, G.Y; Hwang, T.; Kim, J.T. (2010). Performance prediction by modelling of a lightpipe system used under the climate conditions of Korea, *Indoor and Built Environment* 19. Pp 137–144.

Yun, G.Y; Kim, H; Kim, J.T. (2012). Effects of occupancy and lighting use patterns on lighting energy consumption. *Energy and Buildings*. Pp.152-158

ISBN: 978-84-943990-0-8

Ingeniería y Tecnología

