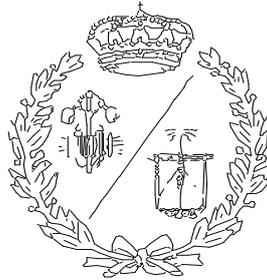


**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN**

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Trabajo Fin de Grado

**ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LA MEJORA
ENERGÉTICA DEL SISTEMA DE
ILUMINACIÓN DE UN CENTRO EDUCATIVO**
(Analysis and assesment of the energy
improvement of the lighting system of a
school)

Para acceder al Título de

**GRADUADO EN INGENIERÍA EN
TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES**

Autor: María Jesús Mirón Peña

Julio -2015

TÍTULO	ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LA MEJORA ENERGÉTICA DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN DE UN CENTRO EDUCATIVO		
AUTOR	María Jesús Mirón Peña		
DIRECTOR / PONENTE	Pedro Corcuera Miró Quesada		
TITULACIÓN	Grado en Tecnologías Industriales	FECHA	10 julio 2015

PLABRAS CLAVE Plan energético. Eficiencia energética. Sostenibilidad. Energía. Luminarias. Iluminación. Luminotecnia. Centro escolar. Comité energético. LED. Fluorescentes

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Mi interés por la gestión eficiente de los recursos, sobremanera dentro de la administración, definió la temática de este trabajo. Además, la posible aplicación inmediata de los resultados, avaló definitivamente la propuesta.

Los objetivos que este trabajo Fin de Grado pretende alcanzar son:

- ✓ Analizar el sistema de iluminación interior y exterior de un centro educativo desde la perspectiva de eficiencia energética y económica.
- ✓ Elaborar propuestas técnicas concretas para la mejora energética del sistema de iluminación en todas las dependencias del centro con criterios de máxima eficiencia.
- ✓ Demostrar el ahorro económico que se obtendría de llevarse a cabo las soluciones técnicas propuestas.
- ✓ Elaborar una metodología de tipo general aplicable en otros centros escolares

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Como en cualquier proyecto, la puerta de la creatividad se abrió y me ha permitido disfrutar con el pasado, con el presente y también con el futuro, de la iluminación. Recordaba que nuestra villa marinera de Comillas había sido la primera población de España en tener luz en sus calles y quise hacer un pequeño recordatorio de los principales hitos y de las personas, que con su tesón, esfuerzo y visión han hecho posible que hoy dispongamos de unas tecnologías lumínicas impensables hace 100 años.

La luz artificial es una constante en nuestra vida que nos acompaña durante muchas horas a lo largo del día y por ello he querido exponer que el estado

emocional, nivel de estrés y capacidad de trabajo de las personas puede estar influenciado por la iluminación.

Teniendo en cuenta que el trabajo lo he limitado a los Centros educativos, el público objetivo en su mayoría son los jóvenes, quienes conviven con la iluminación artificial durante su etapa formativa y he querido dar una visión de que puede existir alguna relación directa entre parámetros de la luz y el aprendizaje.

He considerado necesario incluir aquí los conceptos básicos de ingeniería luminotécnica porque quiero que el trabajo sea un documento que pueda ser útil incluso para aquellos que se acerquen por primera vez a esta temática.

En muchas ocasiones me había preguntado si el diseño de la instalación de iluminación en el IES La Granja sería la correcta, si se podría mejorar la eficiencia y si la tecnología LED podría sustituir las lámparas actuales.

Con este trabajo he constatado que no existe inventario de luminarias, que se desconoce la fecha de colocación de los tubos con lo que difícilmente podemos saber si cumplen las especificaciones de duración, que a la hora de realizar la compra no existe ningún criterio establecido, que no hay un plan de mantenimiento y que la Consejería de Educación, Cultura y Deporte de Cantabria no aborda en profundidad los requerimientos en iluminación necesarios en los contratos públicos para reformas o nuevas construcciones.

Después de realizar el inventario del número de lámparas y potencia instalada, detallé su tipología. Esto me permitió centrar el trabajo en el estudio comparativo de fluorescentes- LED ya que el resto de las tecnologías existentes son minoritarias y adecuadas.

También realicé las curvas de demanda de un mes, de las dependencias del IES y el CIFP con medidas cada 15 minutos.

Terminados los cálculos, he sabido que el diseño actual de luminarias así como su colocación es la correcta, ya que los realicé para el caso más desfavorable, con tubos LED de 1920 lm.

He podido conocer el software DIALux, una herramienta potente y gratuita que permite diseños tridimensionales con lo que se puede recrear efectos luminosos reales en

cualquier lugar. Su interfaz de cierta complejidad está llena de posibilidades, como en el resultado de los proyectos, muy profesionales. Pero como este trabajo no consistía en diseñar una instalación nueva decidí no profundizar en su uso. Aun así he conseguido los planos en CAD del Centro y estoy haciendo una recreación con DIALux evo 4.

Algo que me suscitaba dudas era la cuestión sobre la energía real de consumo de los fluorescentes con balastro electromagnético, que es nuestro caso y los tubos LED conectados directamente a la red. Y para tener datos concretos hice un pequeño montaje de una luminaria con fluorescentes y otra con tubos LED a los que conecté a cada una de ellas, un sencillo contador.

Después de comprobar que podía aprovechar la instalación de iluminación existente, que podía cambiar las lámparas fluorescentes por LED en igual cantidad, 1084 unidades de 1200 mm y 112 unidades de 600 mm y además instalar 20 detectores, he realizado los cálculos del ahorro energético-económico, de la sostenibilidad de la medida y de los retornos.

Para finalizar, he querido incluir en este trabajo un planteamiento particular a la hora de abordar cualquier intervención en las instalaciones energéticas, como es el propósito de este trabajo. Y es la implantación de un Plan Energético.

La creación de un comité energético en los centros de enseñanza, la sistematización en las intervenciones, la sensibilización, difusión, valoración e investigación energética serían algunas de las aportaciones para la eficiencia energética no sólo en el IES sino también en el resto de la comunidad escolar.

CONCLUSIONES / PRESUPUESTO

Aquí, como en otros muchos momentos de la verdad, miro hacia atrás y no sólo hasta el inicio de este trabajo Fin de Grado y sus propios objetivos, sino mucho más lejos porque de alguna manera también concluyo un empeño personal de continuar la formación formal en el ámbito de la Universidad e inevitablemente quieren entremezclarse mis propias valoraciones con lo que aquí debo recoger.

1. En estos momentos, una línea de investigación en iluminación son las lámparas de grafeno.
2. Puede existir alguna relación directa entre parámetros de la luz y el aprendizaje, aspecto muy interesante para futuros trabajos.



3. El diseño actual de la instalación de luminarias en el IES la Granja se ajusta a la normativa y a los requerimientos.
4. Los fluorescentes incrementan un 20 % la demanda y los LED un 10%, con relación a las especificaciones de la Ficha Técnica.
5. Sería importante saber si podríamos ser competitivos en la fabricación de lámparas LED, aquí en España.
6. Las empresas de Servicios Energéticos deberían estar más presentes en las organizaciones.
7. El cambio a LED tendría un coste de 15.353,83€ y 20 detectores 2328 €. En estas cantidades está incluida la colocación.
8. En dos años y ocho meses se amortizaría el cambio a tubos LED y en 3 años y cinco meses, los detectores en el IES La Granja. Además las cifras de ahorro en CO2 y microgramos de residuos radiactivos son muy interesantes.
9. Las soluciones integrales de control son una alternativa llena de posibilidades para las nuevas edificaciones y reformas integrales.
10. El análisis y evaluación de la mejora energética del sistema de iluminación de un Centro educativo se debería concebir como una de las partes importantes del Plan Energético en Centros escolares.

El presupuesto de este estudio asciende a 8.814,85€ impuestos incluidos.

BIBLIOGRAFÍA

(1) http://www.lighting.philips.es/connect/tools_literature/assets/pdfs/COLEGIOS%20MAS%20LUMINOSOS.pdf

(2) "Wirksamkeit von dynamischen Licht in Hamburger Schulklassen", mayo de 2009 Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf, Klinik und Poliklinik für Kinder- und Jugendpsychosomatik, Michael Schulte-Marktwort, Claus Barkmann y Nino Wessolowski. http://www.uke.de/kliniken/kinderpsychosomatik/index_53560.php

(3) Edificios educativos de la Norma Europea UNE-EN 12464-1:2003. Iluminación de los lugares de trabajo. Parte I: Lugares de trabajo en interior, pág. 28

(4) <http://edison.upc.edu/curs/llum/indice0.html>¹ http://www.erco.com/products/download/others/downloadaddat_3992/es/es_downloadaddat_dltut_1.php?aktion=star_tseite&sprache=es&dir=27_specsheets/10_indoor_specsheet

(5) Pliego de prescripciones técnicas para la redacción del proyecto y dirección de obras de construcción del nuevo Instituto de Educación Secundaria Obligatorio en Ezkaba (Pamplona). Pág. 23

(6) Proyecto Energético en la Administración General de la Comunidad Autónoma de Cantabria y sus Organismos Públicos Dependientes. Proyecto



Piloto: Plan Energético en los Centros Escolares. Parte I. María Jesús Mirón Peña. 2008. ISBN 978-84-691-1708-8

(7) Proyecto Fin de Carrera: Proyecto de iluminación de las dependencias de la biblioteca Rey Pastor de la Universidad. Por María Ruiz Fernández Julio 2005 de la Universidad Carlos III de Madrid

(8) Proyecto Fin de Carrera: Ahorro energético en iluminación. Por Sergio Gismera Martínez Febrero 2005 de la Universidad Carlos III de Madrid

(9) Proyecto Fin de Carrera: Estudio y diseño del sistema de iluminación de un centro de uso general. Por Rubén Colomer Rodríguez. Octubre 2011 de la Universidad Carlos III de Madrid

(10) Proyecto Fin de Grado. Realización de un estudio de eficiencia energética de iluminación interior de edificios docentes aplicado a la ETS de Ingenieros Industriales y de Telecomunicaciones. Por David Ibañez Cervera. Octubre 2014. Universidad de Cantabria

INDICE

INDICE

1. INTRODUCCIÓN		
1.1 AMBIENTE LUMÍNICO		8
1.2 LUZ NATURAL Y LUZ ARTIFICIAL		8
1.3 ALUMBRADO ARTIFICIAL. SU HISTORIA		9
1.4 IMPACTO DE LA CULTURA DE LA LUZ		12
1.5 LOS EFECTOS DE LA LUZ		13
2. CONCEPTOS BÁSICOS DE LA INGENIERÍA LUMINOTÉCNICA		
2.1 ILUMINANCIA		17
2.2 CONTROL DEL DESLUMBRAMIENTO		18
2.3 COLOR		20
2.4 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LAS RADIACIONES LUMINOSAS		25
2.5 PROPIEDADES ÓPTICAS DE LOS CUERPOS		26
2.6 MAGNITUDES Y UNIDADES LUMINOSAS		27
2.7 CURVAS FOTOMÉTRICAS		28
3. TIPOS DE LÁMPARAS		
3.1 LÁMPARAS DE DESCARGA		30
3.2 LÁMPARAS FLUORESCENTES		32
3.3 LÁMPARAS DE ALTA PRESIÓN Y DE MERCURIO		34
3.4 LÁMPARAS DE VAPOR DE SODIO Y DE ALTA PRESIÓN		35
3.5 LÁMPARAS LED		36
4. LA ILUMINACIÓN EN LOS CENTROS DE ENSEÑANZA		
4.1 CONSIDERACIONES GENERALES		39
4.2 LAS NECESIDADES LUMÍNICAS EN LOS CENTROS DE ENSEÑANZA		40
4.3 NORMATIVA Y RECOMENDACIONES PARA LA ILUMINACIÓN ARTIFICIAL		42
5. ILUMINACIÓN INSTALADA EN EL IES LA GRANJA		
5.1 DESCRIPCIÓN GENERAL		49
5.2 ILUMINACIÓN INSTALADA		51

	5.3 CONSUMO ELÉCTRICO EN EL IES LA GRANJA	63
	CÁLCULO PRÁCTICO DEL NÚMERO DE LUMINARIAS	67
6.	ESTRATEGIAS DE ACTUACIÓN EN ILUMINACIÓN EN EL IES LA GRANJA	
	6.1 SOLUCIONES BÁSICAS INDEPENDIENTES PARA SALA O PEQUEÑO GRUPO DE LUMINARIAS	79
	6.2 SOLUCIONES INTEGRALES DE CONTROL EN LOS EDIFICIOS	88
	6.3 NUEVAS OBRAS	90
7.	PLAN ENERGÉTICO	
	7.1 CARACTERÍSTICAS DEL PLAN	94
	7.2 FASES DEL PLAN ENERGÉTICO	99
8.	PRESUPUESTO	117
9.	CONCLUSIONES	118
10.	BIBLIOGRAFÍA	121
11.	ANEXOS	122

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Índices IRC.....	21
Tabla 2 IRC de las diferentes lámparas.....	23
Tabla 3 Rangos usuales de temperatura de color para diferentes tipos de lámparas..	24
Tabla 4 Luz visible.....	26
Tabla 5 Temperatura de color	33
Tabla 6 Relación lámparas de descarga y vida útil	36
Tabla 7 Iluminancia, deslumbramiento y color.....	44
Tabla 8 Valores límite de eficiencia energética de la instalación	46
Tabla 9 Inventario luminarias IES La Granja 2015	52
Tabla 10 Resumen potencia instalada luminarias IES La Granja	57
Tabla 11 Tarifas suministro eléctrico.....	63
Tabla 12 Altura de suspensión de las luminarias en locales de altura elevada	71
Tabla 13 Cálculo del índice del local.....	72
<i>Tabla 14 Ejemplos de coeficientes de reflexión</i>	<i>73</i>
Tabla 15 Cálculo del coeficiente de utilización	74
Tabla 16 Cálculo del coeficiente de mantenimiento	75
Tabla 17 Relación entre la altura del plano de trabajo y la distancia máxima entre luminarias.....	77
Tabla 18 Coste del material de la propuesta	82
Tabla 19 Cálculos del ahorro energético- económico. Usos de la iluminación	84
Tabla 20 Sostenibilidad de medida.....	86
Tabla 21 Cálculos del ahorro energético. Usos de la iluminación parcial	87
Tabla 22 Retorno simple de la instalación de 20 detectores.....	88
Tabla 23 Presupuesto.....	117

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1 Índice del local.....	17
Ecuación 2 Frecuencia	25
Ecuación 3 Iluminancia.....	27
Ecuación 4 Intensidad luminosa	28
Ecuación 5 Eficiencia energética de la instalación VEEI	45
Ecuación 6 Definición del flujo luminoso que un determinado local o zona necesita. ..	75
Ecuación 7 Cálculo del número de luminarias.....	75
Ecuación 8 Número de filas de luminarias	76
Ecuación 9 Número de columnas de luminarias	76
Ecuación 10 Comprobación del nivel de iluminancia media	78

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Farol de gas. Polonia 2014. Foto propia	9
Ilustración 2 Espectro luz visible	13
Ilustración 3 Esquema de los principales componentes del ojo humano involucrados en la visión	14
Ilustración 4 Diagrama C.I.E. Curvas patrón.....	19
Ilustración 5 Tubo fluorescente con una marca 840, que indica un IRC de 80 a 89 y una temperatura de color de 4000 K (Blanco natural).....	21
Ilustración 6 Representación aproximada de la temperatura según ciertos colores..	22
Ilustración 7 Espectro electromagnético	25
Ilustración 8 Propiedades ópticas frente a la luz	26
Ilustración 9 Tipos de reflexión.....	27
Ilustración 10 Ángulo sólido	28
Ilustración 11 Sólido fotométrico	28
Ilustración 12 Curva polar	29
Ilustración 13 Edificio obstáculo	47
Ilustración 14 Patio interior	48
Ilustración 15 Patio cubierto.....	48
Ilustración 16 Vista IES La Granja.....	49
Ilustración 17 Patio interior IES La Granja	50
Ilustración 18 Aulas. Foto propia.....	50
Ilustración 19 Luminarias. Fotos propias	51
Ilustración 20 Tipos de tecnologías de iluminación instaladas	57
Ilustración 21 Fluorescente instalada.....	58
Ilustración 22 Etiqueta caja. Foto propia	59
Ilustración 23 Caja de 25 fluorescente.....	59
Ilustración 24 Caja cebadores. Foto propia.....	61
Ilustración 25 Curvas de demanda febrero 2015	67
Ilustración 26 Dimensiones del aula y altura del plano de trabajo	69
Ilustración 27 Requisitos de iluminación para (áreas) interiores, tareas y actividades .	69
Ilustración 28 Datos fotométricos Threeline 2835SMD T833120	70
Ilustración 29 Distribución de luminarias en el aula.....	77
Ilustración 30 Medición de consumos e iluminancia. Fotografía propia	81
Ilustración 31 Datos técnicos LED Roblan T818330F	82
Ilustración 32 Sistema de control centralizado en edificio	89

Los objetivos que este trabajo Fin de Grado pretende alcanzar son:

- ✓ Analizar el sistema de iluminación interior y exterior de un centro educativo desde la perspectiva de eficiencia energética y económica.
- ✓ Elaborar propuestas técnicas concretas para la mejora energética del sistema de iluminación en todas las dependencias del centro con criterios de máxima eficiencia.
- ✓ Demostrar el ahorro económico que se obtendría de llevarse a cabo las soluciones técnicas propuestas.
- ✓ Elaborar una metodología de tipo general aplicable en otros centros escolares

1. INTRODUCCIÓN

1.1 AMBIENTE LUMÍNICO

La luz como energía natural está presente en el ambiente y varía a lo largo del día, con las estaciones o de una región a otra del planeta. Y se sabe que el organismo del ser humano reacciona física, fisiológica y psicológicamente a ella. Desde que el ser humano descubriera el fuego hasta la electricidad que nos permite producir luz artificial, ha sido un discurrir de avances que han ayudado a nuestra especie a sobrevivir. Pero los avances tecnológicos están siendo tan rápidos con relación a la evolución humana y su adaptación que se ha demostrado que los espacios deficientemente acondicionados lumínicamente, por ejemplo, pueden dañar la salud de los usuarios. Es conocido la expresión Síndrome del Edificio Enfermo, reconocida por la Organización Mundial de la Salud en 1986 como la enfermedad padecida por los trabajadores en instalaciones ambientalmente mal acondicionada.

En estos momentos, existen muchos trabajos concernientes al estudio del ambiente lumínico desde el punto de vista visual y bastantes menos, los relacionados con los efectos no ópticos de la luz.

Es pertinente iniciar este trabajo definiendo los procesos visuales y no visuales de las personas así como los conceptos involucrados en el ambiente lumínico para así y con posterioridad, analizar y evaluar la mejora energética de la iluminación del Centro educativo.

1.2 LUZ NATURAL Y LUZ ARTIFICIAL

Habitualmente cuando hablamos de luz nos estamos refiriendo a la radiación electromagnética capaz de estimular al ojo humano. Si proviene del Sol, sea directa, reflejada o difusa, diremos que es luz natural, mientras que la luz artificial es aquella que se produce en una transformación de energía por combustión o a partir de la electricidad. Por ello, el ambiente lumínico estará conformado por uno o por ambos tipos de luz.

Me centraré en el alumbrado artificial como elemento sustancial de un ambiente lumínico, interior pero también exterior donde las personas puedan orientarse en el espacio, desempeñar una tarea, sentir confort visual, modificar su ambiente y estado de ánimo, comunicarse socialmente, establecer un juicio estético, experimentar seguridad, tener salud y sentir bienestar.

1.3 EL ALUMBRADO ARTIFICIAL. SU HISTORIA

El fuego, las lámparas de aceite, las velas y las lámparas de gas han convivido como medios de iluminación artificial hasta nuestros días. Pero son las lámparas eléctricas las que inician un periodo vertiginoso en el mundo de la ambientación lumínica.



Ilustración 1 Farol de gas. Polonia 2014. Foto propia

En 1650, el alemán Otto von Guericke observó que se producían destellos cuando se hacían rotar bolas de azufre. Jean Picard en 1675 y Johann Bernoulli sobre 1700 descubrieron que al agitar el mercurio se produce luz. En 1706, Francis Hawsbee descubrió que al colocar una pequeña cantidad de mercurio sobre una esfera de vidrio y hacer el vacío, se cargaba electrostáticamente lo que originaba un resplandor azulado al aproximar una mano.

La lámpara de neón, el tubo fluorescente, la lámpara de vapor de mercurio, la de sodio, la de haluro metálico, etc., se basarían en el descubrimiento de este fenómeno.

William Robert Grove en 1839, advirtió que al calentar unas tiras de platino hasta la incandescencia, emitían luz durante un tiempo. Más tarde construiría una batería de celdas a través de la cual pasó electricidad, para producir una

llama de luz brillante, de forma arqueada, de ahí la denominada "lámpara de arco".

La primera lámpara incandescente patentada la obtuvo el irlandés Frederick de Moleyns en 1841 quien produciría luz durante un corto periodo de tiempo usando carbón en polvo calentado entre dos alambres de platino.

En 1850 Heinrich Geissler, un físico alemán, inventó el tubo Geissler, capaz de emitir luz de diferentes colores al aplicar una descarga eléctrica en su interior, en condiciones de baja presión y un ambiente de gases nobles. A John T. Way se le atribuye la obtención del primer arco de mercurio en 1860.

Sería Thomas A. Edison quien, después de otros intentos, consiguiera que la bombilla luciera 48 horas por medio de la incandescencia de un filamento de bambú carbonatado, en 1879.

La primera instalación de Edison fue en el barco Columbia en 1880 con poco más de cien bombillas y un año más tarde su primer proyecto comercial fue la iluminación del edificio del periódico "New York Herald". Durante los siguientes años se colocaron cientos de instalaciones de alumbrado eléctrico. La primera estación para generar electricidad se construyó en Nueva York en 1882 al tiempo que en Inglaterra se realizaba la primera exhibición del alumbrado eléctrico. Las dimensiones de la vida de Thomas A. Edison fue de tal envergadura que su estudio debería servir para ilustrar a los estudiantes de ingeniería.

Cabe resaltar aquí que Comillas (Cantabria) fue la primera localidad española en disponer de luz eléctrica en sus calles en 1881, como atestiguan las crónicas de la época durante el verano regio de Alfonso XII, quien celebró un Consejo de Ministros en la villa, invitado por el Marqués de Comillas.

Al introducirse la lámpara incandescente como luminaria de uso público y no quedar demostrado su inocuidad con respecto a la vista, el parlamento inglés impuso la obligatoriedad de que las lámparas llevaran reflectores o pantallas.

Carl Auer, Barón de Welsbach patentó dos métodos para la obtención de filamentos metálicos. En los primeros empleaba un elemento con un alto punto de fusión: el osmio que mezclado con goma o azúcar y en forma de pasta, servía para obtener un filamento cilíndrico.

En 1891 comenzó a fabricar las bombillas con este filamento cuyas ventajas frente a las de carbono serían que consumían un 57% menos de energía, no oscurecían el cristal porque los metales con un punto de fusión alto proporcionan una luz más blanca, tenían una vida más larga y como consecuencia de todo ello, eran más económicas.

Entre 1891 y 1904, Moore introdujo en los tubos Geissler, nitrógeno para producir luz amarilla y dióxido de carbono para producir luz blanca de tono rosado. Era el primer intento de reproducir la luz natural de día de forma artificial.

Posteriormente, el descubrimiento del filamento de tungsteno sería un avance en la mejora de la eficiencia de las lámparas incandescentes. Y por otro lado, en 1901, Peter Moore Hewitt comercializó una lámpara de mercurio dos o tres veces más eficiente que la lámpara incandescente pero que carecía de rojo, lo que solventó inventando una pantalla fluorescente que convertía parte de la luz verde, azul y amarilla en rojo, mejorando así el balance de color y consiguiendo una luz uniforme y sin deslumbramientos. En 1903, Hewitt colocó su primera instalación de lámparas fluorescentes en las oficinas del New York Post.

Sobre 1910 Georges Claude, un químico francés, observó el resplandor rojo que se produce cuando se hace pasar una corriente eléctrica a través de un tubo lleno de Neón y de color azul si se trata de Argón. Los tubos de neón fueron utilizados para la iluminación pública en Francia en los años treinta y actualmente en anuncios publicitarios porque debido a su baja eficiencia y sus colores particulares nunca ha encontrado aplicación en la iluminación general.

Siguiendo con las lámparas incandescentes, Irving Langmuir inicia sus investigaciones en 1914 en el desarrollo de las lámparas de tungsteno, descubriendo la alta luminosidad de este filamento rodeado de un gas inerte como el argón.

Desde 1931 las lámparas de sodio de alta presión se pueden encontrar en las calles y carreteras del mundo pero a pesar de su eficiencia no se han utilizado para el alumbrado de interiores debido al color amarillento de su luz.

En Europa las primeras lámparas fluorescentes se desarrollaron en Francia y Alemania en la década de los 30. En 1926, Edmund Germer, Friedrich Meyer y

Hans Spinner propusieron incrementar la presión del mercurio en forma de gas dentro del tubo y recubrirlo internamente con un polvo fluorescente que absorbiera la radiación ultravioleta emitida por el gas en estado de plasma, y la convirtiera en una luz blanca más uniforme. La idea fue patentada al año siguiente y adquirida por la empresa estadounidense General Electric quien comenzó su comercialización en 1938.

En 1927 un ingeniero ruso, Oleg Losev, observó que cuando la corriente pasaba entre los diodos de su viejo aparato, se producía un destello de luz. Estas observaciones culminaron con la fabricación de un diodo cristalino a base de óxido de cinc y carburo de silicio. Había nacido así el LED. Desde la publicación del informe en la revista Telefonía de Rusia hasta 2007, el descubridor del led había pasado inadvertido. En poco más de siete años, la tecnología ha permitido alcanzar más de 200 lúmenes por vatio y conseguir que los principales fabricantes del sector prevean el fin de la fabricación de otras tecnologías eficientes.

A partir de la Segunda Guerra Mundial se han desarrollado nuevas lámparas y tecnologías que han mejorado los fines y su eficiencia energética. En esta línea cabe destacar los balastros electrónicos y las lámparas fluorescentes compactas pero ha sido la llegada del LED a la iluminación lo que ha supuesto un salto tecnológico tal, que los frenos de coste o dificultad de implantación se han tornado en ahorros energéticos, fáciles amortizaciones y sencillas aplicaciones.

Para finalizar este apartado quiero mencionar la nueva tecnología en iluminación que coloca al grafeno como una gran oportunidad para seguir mejorando en el camino de la eficiencia.

1.4 EL IMPACTO DE LA CULTURA DE LA LUZ

La evolución de los usos de la luz artificial ha discurrido por un camino ascendente con el objetivo de tener más luz, más tiempo y en más lugares. Este uso generalizado que se relaciona directamente con las tecnologías que lo permiten va parejo a un coste ambiental, social y económico poco sostenible.

Desde las fuentes de energía pasando por la obtención de los materiales, los residuos y los impactos en la salud que causa el ambiente lumínico, ilustran que es un fenómeno nada inocuo y que merece ser tenido en cuenta en un trabajo de estas características.

1.5 LOS EFECTOS DE LA LUZ

Los objetivos de este trabajo determinan que en este punto el enfoque quede limitado a los efectos ópticos de la luz artificial, la producción de estímulos en la corteza cerebral capaces de transmitir una información visual y que son estudiados en la luminotecnia. Un 85% de las percepciones sensoriales del ser humano son de origen visual y por ello, el reconocimiento del espacio y los propios objetos dependen en gran manera del ambiente lumínico.

Dentro del espectro total de la radiación solar, la que corresponde a la luz visible es aquella cuya longitud de onda (λ) se extiende desde los 380 a los 750 nm (1 nanómetro equivale a una millonésima de milímetro).



Ilustración 2 Espectro luz visible

Si hacemos pasar la luz blanca solar por un prisma, esta se descompondrá en un haz de colores que van desde el violeta al rojo con longitudes de onda crecientes.

El color es lo que vemos cuando llega a nuestros ojos la luz reflejada por un objeto. Todo cuerpo iluminado absorbe una parte de las ondas de luz y refleja las restantes. Los objetos coloreados sólo aparentan tener un color cuando ese color está presente en el espectro de la luz que lo ilumina. La luz solar con todos los colores espectrales posee excelentes propiedades para reproducir los colores.

Dependiendo de la persona y las condiciones del entorno, el ojo humano es capaz de percibir hasta cerca de un millón de colores.

Cuando la fuente luminosa es artificial las características lumínicas son distintas a las provenientes del sol, siendo diferente el espectro de radiación, el índice de reproducción cromática y la temperatura de color de unas fuentes a otras.

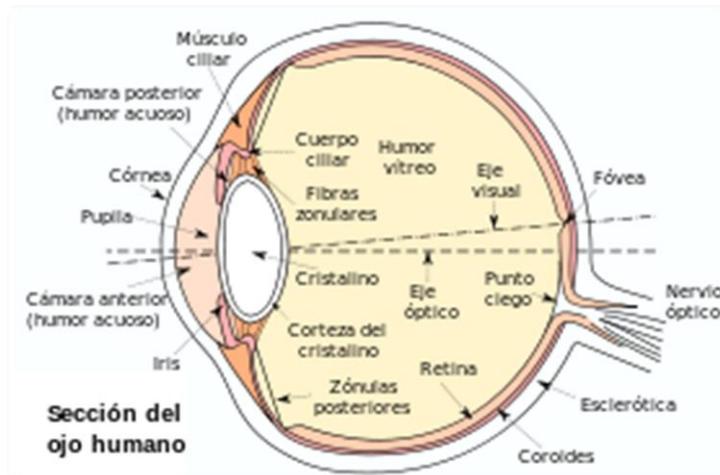


Ilustración 3 Esquema de los principales componentes del ojo humano involucrados en la visión

El ojo está sometido a campos electromagnéticos y a través de cristalino los filtra, redirecciona, transforma a dos dimensiones y adapta el diámetro a la radiación. El iris y la pupila intervienen para ajustar las variaciones luminosas. La habilidad del ojo para adaptarse a los distintos niveles de claridad se denomina adaptación y es en la retina donde se produce el mayor proceso de adaptación que determina la capacidad visual instantánea.

Los bastones y los conos son los dos elementos que componen la retina y que están recubiertos de pigmentos que reaccionan químicamente a ciertas radiaciones, responsables de la visión con baja luminosidad y de la percepción del color respectivamente.

Las reacciones químicas que se producen en los bastones y los conos generan un impulso eléctrico que se transmite a través de terminaciones nerviosas y en la retina se traduce la señal electromagnética en visual.

Tras abordar de forma sucinta dos de los factores imprescindibles en el proceso perceptivo del ser humano con respecto al ambiente lumínico; las

características de la luz y el funcionamiento del ojo humano restaría referirse al nivel psicológico; la percepción visual y regulación circadiana, aspectos de igual trascendencia pero que no voy a tratar en este trabajo.

Pero si deseo apuntar que desde el punto de vista médico, se ha demostrado que un alumbrado artificial inadecuado puede romper el ritmo circadiano de las personas, reflejándose en su estado emocional, nivel de estrés y capacidad de trabajo. También se piensa que la composición espectral de la luz es importante aunque no hay unanimidad en la interpretación de las curvas respuesta espectral para los mecanismos psicobiológicos.

SchoolVision de Philips¹ es una solución de iluminación de aulas que, según información proporcionada por la propia empresa, ayuda a mejorar las condiciones de aprendizaje trasladando a la clase la dinámica de la luz natural, que mantiene la mente alerta, concentrada, relajada y dispuesta a participar, lo que optimiza los resultados del aprendizaje para profesores y alumnos. SchoolVision permite al profesor controlar el ambiente de la clase para crear en cada caso la atmósfera idónea, sea cual sea el momento del día o la lección. El sistema incluye cuatro escenas de clase predefinidas que se pueden seleccionar a través de un panel táctil para ajustar el tono de la iluminación a la tarea en curso.

El ritmo de la actividad de la clase se refuerza con patrones cambiantes de luz cálida y luz blanca diurna. Una luz para relajar y calmar o para implicar y estimular. El profesor selecciona una de las cuatro escenas de clase predefinidas —Energy, Focus, Calm o Normal— a través de un panel táctil.

Todas las escenas de iluminación garantizan el confort visual, sin sombras ni deslumbramientos.

La pionera solución SchoolVision se sometió a pruebas independientes realizadas por el centro Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf dentro de un experimento científico de un año de duración desarrollado en diversos colegios de Hamburgo (Alemania). En el estudio participó un total de 166 escolares de

1

http://www.lighting.philips.es/connect/tools_literature/assets/pdfs/COLEGIOS%20MAS%20LUMINOSOS.pdf

edades comprendidas entre los 8 y los 16 años, junto con 18 profesores. El estudio incluyó una amplia gama de clases en distintos tipos de colegios. Antes de iniciarlo, se reemplazó la iluminación existente en cada clase por la solución SchoolVision.

Los resultados dejaron asombrados a los científicos. El alcance de la atención, la concentración y el comportamiento de los alumnos mejoraron considerablemente cuando la dinámica de la luz natural se trasladó al aula: no sólo mejoró su rendimiento, también aumentó la velocidad de lectura y se redujo el número de errores cometidos.²

La velocidad de lectura aumentó en casi un 35%. Además, los alumnos leyeron un promedio de 1051 palabras en un periodo definido, comparadas con las 780 de la medición de la línea base. Y los resultados de la prueba de concentración fueron aún más claros. En ella, la frecuencia de los errores se redujo en casi un 45%, de un promedio de 17,45 errores a otro de sólo 9.

El estudio también examinó los efectos de la luz dinámica de SchoolVision sobre la agresividad y la hiperactividad. Aunque la reducción percibida en la agresividad no alcanzó niveles significativos, los vídeos demostraron un cambio claro en los niveles de hiperactividad. De hecho, la hiperactividad observada se redujo hasta en un 76% cuando se pidió a los alumnos que resolvieran un problema matemático en las condiciones de luz de “calma”, una cifra a la que las mediciones de la línea base y el grupo de control ni siquiera se habían acercado.

Hacer que la clase resulte más confortable para cada actividad tiene un efecto positivo tanto en los profesores como en los alumnos. De hecho, SchoolVision alcanzó tal popularidad que la investigación señala que en algunos casos los mismos niños pedían una configuración de luz concreta.

² “Wirksamkeit von dynamischen Licht in Hamburger Schulklassen”, mayo de 2009 Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf, Klinik und Poliklinik für Kinder- und Jugendpsychosomatik, Michael Schulte-Marktwort, Claus Barkmann y Nino Wessolowski. http://www.uke.de/kliniken/kinderpsychosomatik/index_53560.php

2. CONCEPTOS BÁSICOS EN INGENIERÍA LUMINOTÉCNICA

Antes de continuar se hace preciso aclarar los parámetros que aceptamos como válidos para el estudio, proyecto y posible instalación de nuestro sistema de iluminación eficiente. Aunque todos y cada uno de los parámetros que recojo en este apartado se pueden consultar en diferentes fuentes relacionadas con la luminotecnica, he creído oportuno incluirlos en su mayoría, en este capítulo con el fin de facilitar el trabajo a futuros proyectos.

2.1 ILUMINANCIA

La iluminancia o nivel de iluminancia es la cantidad de flujo luminoso (lúmenes) que emitido por una fuente de luz, llega, verticalmente u horizontalmente a una superficie, dividido por dicha superficie, siendo su unidad de medida el lux.

El nivel de iluminancia se ha fijado en función de:

- ✓ El tipo de tarea a realizar (necesidades de agudeza visual)
- ✓ Las condiciones ambientales
- ✓ Duración de la actividad

En el plano horizontal la iluminancia media está definida por el valor medio del sumatorio de puntos. El número mínimo de puntos a considerar está en función del índice del local (K) y de la obtención de un reparto cuadrículado simétrico.

El cálculo del índice del local es función de:

$$K = \frac{L \times A}{H \times (L + A)} \quad \text{Ecuación 1 Índice del local}$$

L = Longitud del local

A = Anchura del local

H = Distancia del plano de trabajo a las luminarias

El número de puntos mínimo es:

$K < 1 = 4$ puntos

$K \geq 1$ y $< 2 = 9$ puntos

$K \geq 2$ y $< 3 = 16$ puntos

$K \geq 3 = 25$ puntos

En el plano vertical la iluminancia media está definida por el valor medio del sumatorio de puntos. El número mínimo de puntos a considerar es función de la actividad a la que este dedicada la superficie y de la obtención de un reparto cuadrado lo más simétrico posible.

2.2 CONTROL DEL DESLUMBRAMIENTO

El deslumbramiento es un efecto no deseado en el diseño y práctica de la iluminación que se puede producir de forma directa por lámparas, luminarias y ventanas o por reflexión producida por superficies de alta reflectancia (brillante), que pueden estar en el campo de visión del observador.

El grado de deslumbramiento directo admisible en el campo visual del observador está en función del tipo de actividad que se realiza en el local.

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

Para validar la idoneidad de las luminarias para la actividad a desarrollar, se utiliza el criterio C.I.E. Este sistema tiene clasificadas las tareas o actividades en cinco grupos que definen otras tantas clases de calidad.

Cada grado de calidad tiene asignado un índice de deslumbramiento surgido de la evaluación subjetiva del deslumbramiento, llevado a cabo en el laboratorio por un grupo de observadores.

- ✓ La clase de calidad "A" será para una actividad visual muy alta, índice de deslumbramiento 1'15.
- ✓ La clase de calidad "B" será para una actividad visual alta, índice de deslumbramiento 1'50.
- ✓ La clase de calidad "C" será para una actividad visual media, índice de deslumbramiento 1'85.
- ✓ La clase de calidad "D" será para una actividad visual baja, índice de deslumbramiento 2'20.

- ✓ La clase de calidad "E" será para una actividad visual muy baja (donde los trabajadores no están confinados en un puesto concreto), índice de deslumbramiento 2'55.

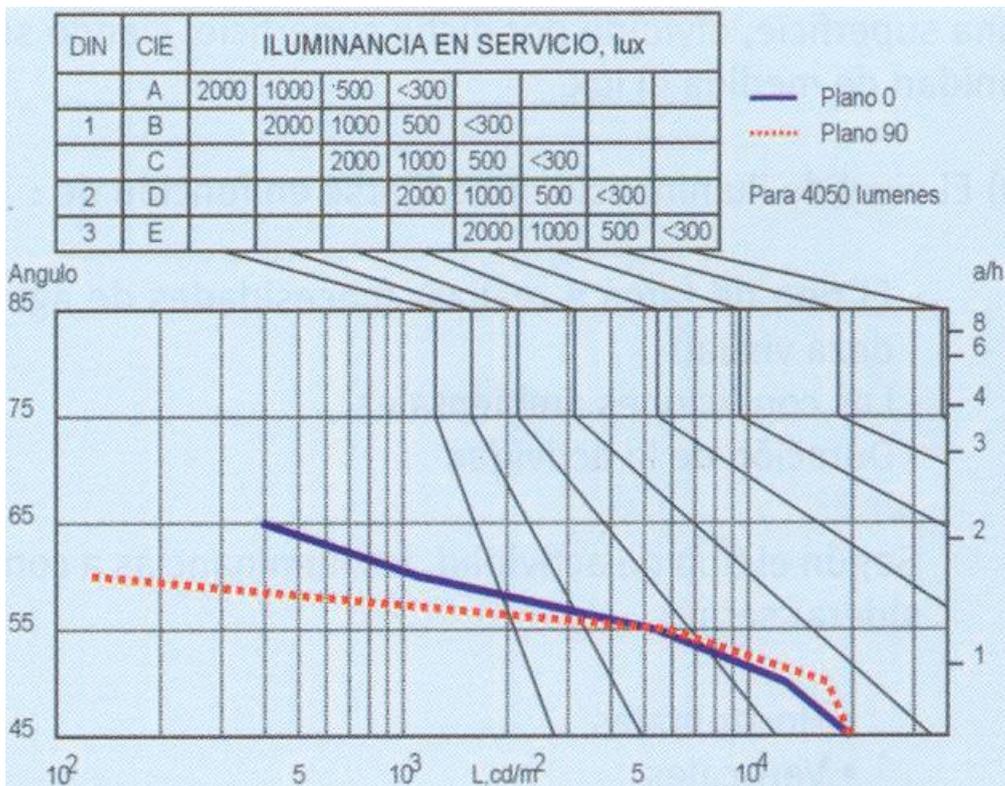
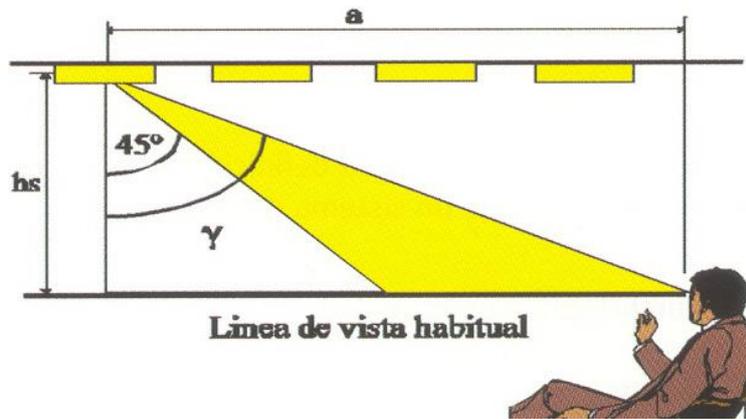


Ilustración 4 Diagrama C.I.E. Curvas patrón

El diagrama C.I.E (Ilustración 4) que permite comprobar la idoneidad de la luminaria a utilizar está formado por valores de iluminancia media en servicio (lux), curvas patrón de limitación de la luminancia (línea negra), escala de índices de deslumbramientos (de 1,15 a 2,55) y clases de calidad (de A a E).

Procedimiento para el uso del diagrama C.I.E. es:

- ✓ Selección de la curva patrón adecuada (línea negra) a partir de la clase de calidad (A....D) y el nivel de iluminancia recomendado para la dependencia o actividad.
- ✓ Definir el ángulo máximo, para la longitud (a) y altura del local (hs), entre el nivel del ojo del observador más desfavorable y el plano de las luminarias ($\alpha >45^\circ$).
- ✓ Comparación de la curva de luminancia de la luminaria seleccionada (línea azul) con la parte elegida de la curva patrón de limitación (intersección entre la curva patrón de limitación (intersección entre la curva patrón y $\gamma >45^\circ$). Si el valor de la curva de la luminaria (línea azul) no supera a la seleccionada, la instalación es correcta.

2.3 COLOR

Los parámetros que definen el color son:

Tono: viene determinado por la frecuencia.

Luminancia: es la cantidad de intensidad luminosa que percibimos cuando observamos un objeto desde un cierto ángulo sólido. Una luminancia máxima equivale al blanco, mientras que una luminancia mínima corresponde al negro.

Saturación: hace referencia a la predominancia de un tono determinado respecto a un gris a la misma luminancia. Esto es, nos indica la pureza cromática.

Por otra parte se define por la C.I.E como **reproducción Cromática:** Efecto de una iluminación sobre la percepción del color de los objetos, de forma consciente o subconsciente, en comparación con su percepción del color bajo una iluminación de referencia.

El **índice de reproducción cromática (IRC)** es la medida de la capacidad que una fuente luminosa tiene para reproducir fielmente los colores de varios objetos en comparación con una fuente de luz natural o ideal. Las luces con un IRC elevado son necesarias en aplicaciones donde son importantes los colores.

La medición se realiza con la luz del día como referencia. Es decir, el IRC (*Colour Rendering Index* o CRI en inglés) de la luz del día es de 100: toda la gama de colores se reproducen perfectamente.

Por regla general, se admite que una lámpara tiene una reproducción cromática óptima a partir de 85, bueno entre 70 y 85 y discreto entre 50 y 70. Y se pueden clasificar:

Clase	IRC (Ra)
1 A	≥ 90
1 B	80 ÷ 89
2 A	70 ÷ 79
2 B	60 ÷ 69
3	40 ÷ 59
4	< 20

Tabla 1 Índices IRC

Para conocer el IRC de una lámpara hay que fijarse en la numeración que figura tras la potencia, indicada en vatios (W). Por ejemplo, si vemos: 8W / 930, el número que nos indica el IRC es el primero tras la barra. El 9 nos indica que esa lámpara tiene un índice de reproducción cromática entre 90 y 100. Los dos dígitos siguientes muestran la temperatura de color de la lámpara: 30 = 3.000 grados kelvin.



Ilustración 5 Tubo fluorescente con una marca 840, que indica un IRC de 80 a 89 y una temperatura de color de 4000 K (Blanco natural)

La **temperatura de color** de una fuente de luz se define comparando su color dentro del espectro luminoso con el de la luz que emitiría un cuerpo negro calentado a una temperatura determinada. Por este motivo esta temperatura de color se expresa en kelvin, a pesar de no reflejar expresamente una medida de temperatura, por ser la misma solo una medida relativa.



Ilustración 6 6 Representación aproximada de la temperatura según ciertos colores

Generalmente no es perceptible a simple vista, sino mediante la comparación directa entre dos luces como podría ser la observación de una hoja de papel normal bajo una luz de tungsteno (lámpara incandescente) y a otra bajo la de un tubo fluorescente (luz de día) simultáneamente.

La razón por la que se llama temperatura es porque sería el color de la emisión de un cuerpo negro perfecto a esa temperatura.

Efectivamente, un cuerpo negro a temperatura ambiente (unos 300 K) emite y recibe radiación en infrarrojos de longitud de onda larga. Si se va calentando, conforme aumenta la temperatura emitirá radiación en una longitud cada vez más corta; en cierto momento empezará a emitir en radiación visible, en color rojo muy oscuro (*se pone al rojo*) y si se sigue aumentando la temperatura lo hará con longitudes cada vez más cortas, conforme a la ley de Wien. A partir de cierto momento, irá sumando los colores del espectro en su orden (rojo, anaranjado, amarillo, verde, azul y violeta), sumando colores. Hacia una temperatura de 6000 K (aproximadamente la temperatura superficial del sol), emitirá en todo el espectro visible, consiguiendo luz blanca, y a partir de ese momento irá sumando radiación ultravioleta.

Cuando la luz se produce por una fuente de calor (vela, bombilla de incandescencia) la temperatura de color es aproximadamente la temperatura de la fuente. En las lámparas modernas el color de la luz depende de otros factores, como de los gases que componen el ambiente de la descarga.

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

El índice de reproducción cromática, junto con la temperatura de color, son dos de los factores que permiten definir una fuente luminosa blanca.

En la siguiente tabla se indican los valores de IRC típicos según el tipo de fuente luminosa o lámpara:

Tabla 2 IRC de las diferentes lámparas

Tipo de lámpara	IRC
LED, Fluorescente	80-95
Lámpara incandescente	100
Lámpara halógena	100
Lámpara fluorescente compacta	15-85
Lámpara de haluro metálico	65-93
Lámpara de inducción	79
Sodio Alta Presión	0-70
Sodio Baja Presión	0

Indice de reproducción cromática (Ra) o (CRI) %	Clase	Cálido < 3.300 K	Neutro 3.300 – 5.000K	Frío >5.000 K	Criterio de aplicación
≥ 90	1 A	Halógenas	Fluorescente lineal y compacta	Fluorescente lineal y compacta	Principalmente donde la apreciación del color sea un parámetro crítico
		Fluorescente lineal y compacta	Halogenuros metálicos y cerámicos		
		Halogenuros metálicos y cerámicos			
80 - 89	1 B	Fluorescente lineal y compacta	Fluorescente lineal y compacta	Fluorescente lineal y compacta	En áreas donde la apreciación correcta del color no es una consideración primaria pero donde es esencial una buena reproducción de colores
		Halogenuros metálicos y cerámicos	Halogenuros metálicos y cerámicos		
		Sodio Blanco			
70 - 79	2 A	Halogenuros metálicos	Halogenuros metálicos	Halogenuros metálicos	En áreas donde la calidad de apreciación correcta del color es de poca importancia
< 70	2 B, 3 y 4	Mercurio	Mercurio		
		Sodio			

Tabla 3 Rangos usuales de temperatura de color para diferentes tipos de lámparas

Habitualmente, en LED, se hablan de 3 grupos de temperatura de color:

- ✓ **Luz Cálida:** (Temperaturas de color entre 2800°K y 3500°K). Equivale a la luz que producían las bombillas incandescentes y los focos halógenos. Es recomendable en tiendas de ropa, fruterías, panaderías, charcuterías y carnicerías (estas 2 últimas es más habitual incluso una iluminación de tono rosa). En el caso de viviendas, se recomienda su instalación en estancias como el salón y los dormitorios.
- ✓ **Luz Neutra:** (Temperaturas de color entre 3800°K y 4500°K) dicen los expertos que es la luz más natural. Se puede instalar en cualquier entorno que no requiera del matiz específico que puedan aportar las otras 2 categorías.
- ✓ **Luz Fría:** (Temperaturas de color de más de 5000°K). Equivale a la luz de un día muy soleado o nublado. Una de las ventajas de la luz fría es que a la misma intensidad aporta una mayor cantidad de lúmenes lo que genera una percepción mayor de luminosidad. Es una luz muy recomendada para pescaderías y joyerías. Respecto a viviendas, es habitual encontrarlo en cocinas y baños. Aunque los/las expertos/as en

maquillaje recomiendan siempre luces cálidas ya que tienen la ventaja de aportar una mejor gama cromática.

2.4 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LAS RADIACIONES LUMINOSAS

Frecuencia (f): número de ciclos completos recorridos por una radiación en un segundo. Se expresa en (ciclos/s) o (Hz).

Periodo (T): es el tiempo que tarda una radiación en recorrer un ciclo. Se expresa en segundos (s), y resulta ser la inversa de la frecuencia: $T=f^{-1}$

Longitud de onda (λ): es la distancia entre dos ondas consecutivas. Su unidad más frecuente en aplicaciones lumínicas es el nanómetro (nm). Donde 1 nm = 1m. Hay que saber que la longitud de onda no es una característica invariable, sino que depende de la naturaleza del medio de propagación (c).

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

Ecuación 2 Frecuencia

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

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

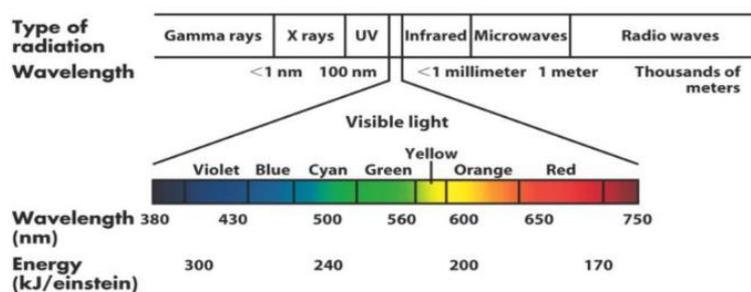


Ilustración 7 Espectro electromagnético

Colores	Longitud de onda
Violeta	380-436
Azul	436-495
Verde	495-566
Amarillo	566-589
Naranja	589-627
Rojo	627-780

Tabla 4 Luz visible

2.5 PROPIEDADES ÓPTICAS DE LOS CUERPOS

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

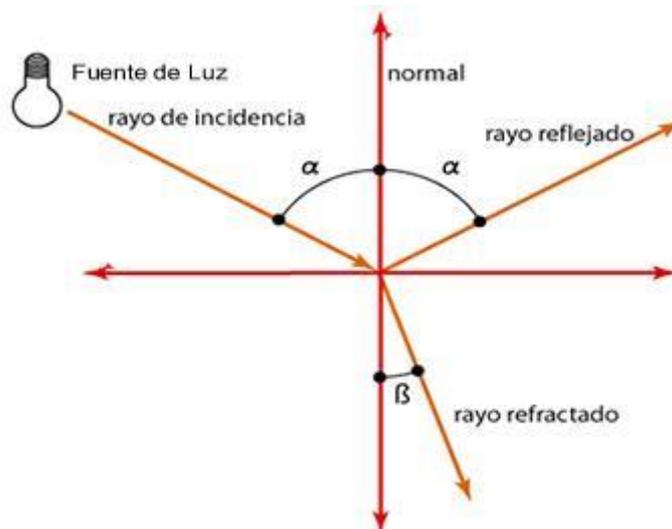


Ilustración 8 Propiedades ópticas frente a la luz

- ✓ **Reflexión:** es el cambio de dirección de una onda, que al entrar en contacto con la superficie de separación entre dos medios cambiantes.

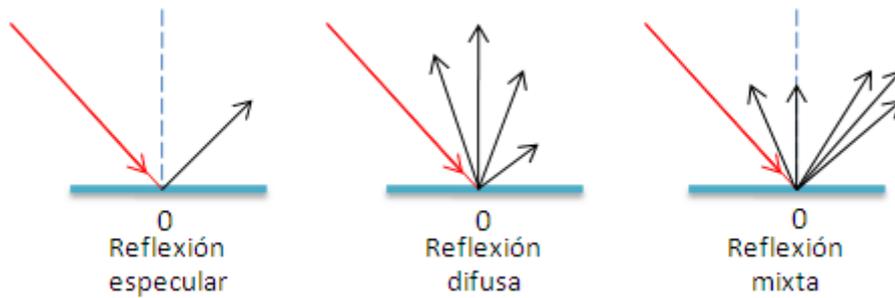


Ilustración 9 Tipos de reflexión

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

2.6 MAGNITUDES Y UNIDADES LUMINOSAS

Flujo luminoso (f): es el flujo radiante emitido dentro del espectro visible. Su unidad de medida es el lumen (lm).

Illuminancia (E): es la relación entre el flujo luminoso que recibe la superficie y su área. Su unidad es el lux (lx), y la fórmula que la expresa:

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

Ecuación 3 Iluminancia

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

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

Eficacia luminosa (η): es la relación entre el flujo luminoso emitido por una fuente y el flujo energético aportado a la misma. Su unidad es el lúmen por vatio (lm/w). El valor máximo, si se transformara toda la energía en radiación monocromática de 550 nm., sería de 683 lm/w.

Intensidad luminosa o nivel de iluminación (I): es el cociente del flujo luminoso emitido en una dirección por unidad de ángulo sólido en esa dirección. Su unidad es la candela (cd), y la fórmula que la expresa:

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

Ecuación 4 Intensidad luminosa

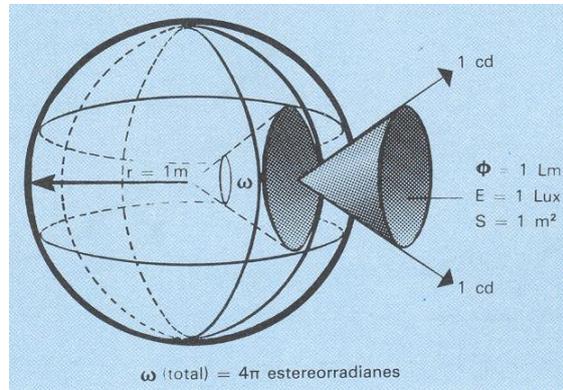


Ilustración 10 Ángulo sólido

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

2.7 CURVAS FOTOMÉTRICAS

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

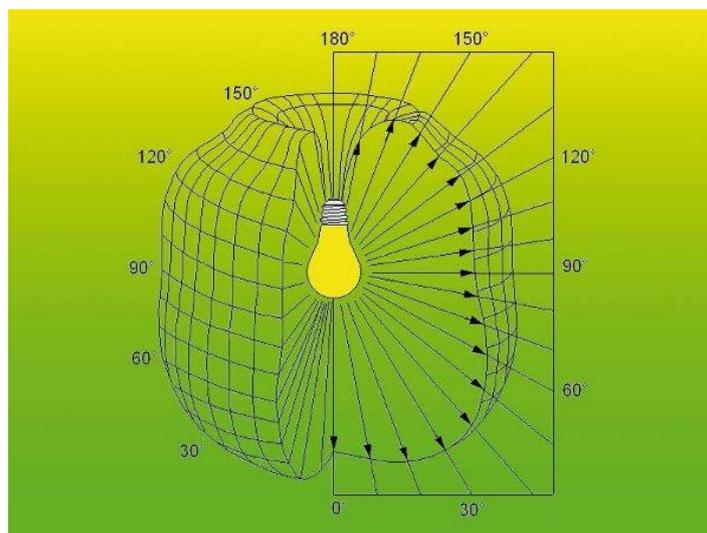


Ilustración 11 Sólido fotométrico

Curva fotométrica o curva de distribución luminosa: lo obtenemos si hacemos pasar un plano por el eje de simetría de la fuente luminosa. Suelen darse referidas a un flujo luminoso emitido de 1.000 lm y como el caso general es que la fuente de luz emita un flujo superior, los valores de intensidad luminosa se calculan con una regla de tres simple.

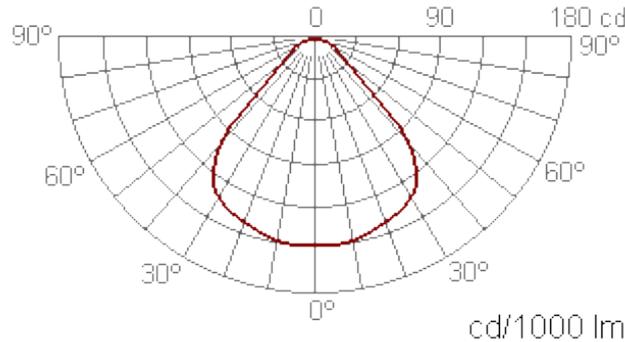
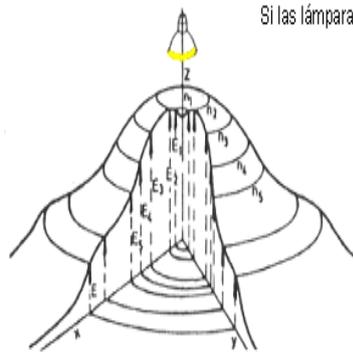


Ilustración 12 Curva polar

CURVAS ISOLUX

Son líneas que unen puntos de una superficie que tienen **igual nivel de iluminación**. Son análogas a las curvas de nivel de los planos topográficos, pero ahora en lugar de metros indican lux. Normalmente, **las curvas isolux se suministran**, para una determinada luminaria, reducidas a la distancia de **1 metro** y referidas a **1.000 lúmenes**. Los valores de las curvas a otra distancia y a otro flujo luminoso se realizan mediante la fórmula:

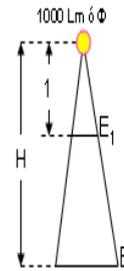


Si las lámparas en lugar de 1000 Lm tienen un flujo Φ la nueva iluminación E valdrá:

$$\left. \begin{aligned} E_1 &= k \cdot 1000 \\ E &= k \cdot \Phi \end{aligned} \right\} E = \frac{E_1 \cdot \Phi}{1000}$$

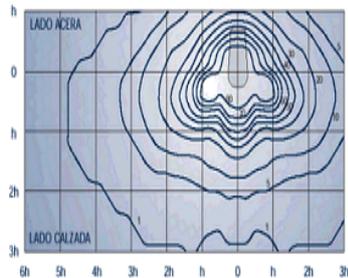
Si en lugar de 1 m la distancia es H la E valdrá:

$$\left. \begin{aligned} \frac{E}{E_1} &= \frac{1^2}{H^2} \end{aligned} \right\} E = \frac{E_1}{H^2}$$



Si las lámparas en lugar de 1000 Lm tienen un flujo Φ y la distancia es H la iluminación E valdrá:

$$E = \frac{E_1 \cdot \Phi}{1000 \cdot H^2}$$



3. TIPOS DE LÁMPARAS

3.1. LÁMPARAS DE DESCARGA

De manera general, las lámparas de descarga producen luz de una forma eficiente. Esta luz se consigue al excitar un gas al que se le somete a descargas eléctricas producidas entre dos electrodos.

Según el gas contenido en la lámpara (vapor de mercurio o sodio) y la presión (alta o baja) a la que esté sometido dicho gas, tendremos diferentes tipos de lámparas, cada una de ellas con sus propias características luminosas.

3.1.1 Funcionamiento

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

Las descargas eléctricas se producen como consecuencia de la diferencia de potencial entre los electrodos. Estas descargas provocan un flujo de electrones que atraviesa el gas. Cuando uno de ellos choca con los electrones de las capas externas de los átomos del gas pueden suceder dos cosas; la primera es que la energía producida en el choque sea lo suficientemente elevada para poder arrancar al electrón de su orbital. Este, puede a su vez, chocar con los electrones de otros átomos repitiendo el proceso. Si este proceso no se limita, se puede provocar la destrucción de la lámpara por un exceso de corriente.

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

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

3.1.2 Elementos auxiliares

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

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

3.1.3 Eficacia

Al establecer la eficacia de este tipo de lámparas hay que diferenciar entre la eficacia de la fuente de luz y la de los elementos auxiliares necesarios para su funcionamiento. En las lámparas, las pérdidas se centran en dos aspectos: las pérdidas por calor y las pérdidas por radiaciones no visibles (ultravioleta e infrarrojo). El porcentaje de cada tipo dependerá de la clase de lámpara con que trabajemos.

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

3.1.4 Características de duración

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

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

3.1.5 Factores externos que influyen en el funcionamiento

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

La clasificación es la siguiente:

Vapor de mercurio:

- ✓ Baja presión: Lámparas fluorescente
- ✓ Alta presión: Lámparas de mercurio alta presión, lámparas de luz mezcla, lámparas de halogenuros metálicos.

Vapor de sodio:

- ✓ Baja presión: Lámparas de sodio a baja presión
- ✓ Alta presión: Lámparas de sodio a alta presión

3.2 LAMPARAS FLUORESCENTES

Las lámparas fluorescentes son lámparas de vapor de mercurio a baja presión (0.8 Pa). En estas condiciones, en el espectro de emisión del mercurio predominan las radiaciones ultravioletas en la banda de 253.7 nm. Para que estas radiaciones sean útiles, se recubren las paredes interiores del tubo con polvos fluorescentes que convierten los rayos ultravioletas en radiaciones visibles. De la composición de estas sustancias dependerán la cantidad y

calidad de la luz, y las cualidades cromáticas de la lámpara. En la actualidad se usan dos tipos de polvos; los que producen un espectro continuo y los trifósforos que emiten un espectro de tres bandas con los colores primarios.

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

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

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

Apariencia de color	T color (K)
Blanco cálido	3000
Blanco	3500
Natural	4000
Blanco frío	4200
Luz día	6500

Tabla 5 Temperatura de color

Las lámparas fluorescentes utilizan el balasto para limitar la corriente que atraviesa el tubo; pero para el encendido hay varias posibilidades: arranque

con cebador, o sin él. En el primer caso, el cebador se utiliza para calentar los electrodos antes de someterlos a la tensión de arranque. En el segundo caso tenemos las lámparas de arranque rápido en las que se calientan continuamente los electrodos y las de arranque instantáneo en que la ignición se consigue aplicando una tensión elevada. Las lámparas compactas más modernas llevan incorporado el balasto y el cebador. Son lámparas pequeñas con casquillo de rosca o bayoneta pensadas para sustituir a las lámparas incandescentes con ahorros de hasta el 70% de energía y unas buenas prestaciones.

3.3 LAMPARAS A ALTA PRESIÓN Y DE MERCURIO

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

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

que se enfriara, puesto que la alta presión del mercurio haría necesaria una tensión de ruptura muy alta.

3.4 LÁMPARAS DE VAPOR DE SODIO A ALTA PRESIÓN

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

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

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

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

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

Tabla 6 Relación lámparas de descarga y vida útil

3.5 LÁMPARAS LED

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

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

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

El segundo método, pbLEDs, usa un LED de corta longitud de onda (normalmente azul o ultravioleta) en combinación con una sustancia fosforescente, la cual absorbe una porción de la luz azul y emite un espectro más amplio de luz blanca (parecido a una fluorescente). La mayor ventaja aquí

es el costo de producción bajo, alto Ra, pero es incapacidad de variar dinámicamente el carácter de la luz. A su vez la conversión de fosforescencia reduce la eficiencia del dispositivo. El bajo costo y el desempeño adecuado lo hace la tecnología más utilizada para la iluminación general hoy en día.

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

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

Las lámparas LED son tan eficientes como las fluorescentes, pero su mayor ventaja es su duración, alrededor de 40000 h (25-30 años con un uso normal) frente a las 8000 h de las fluorescentes. Además presentan una baja disminución de la intensidad lumínica durante su vida.

La larga vida de estas lámparas supone un problema para los fabricantes, cuyos clientes actualmente compran repuestos frecuentemente. Están disponibles LED de diferentes colores. Aparte de LED de luz blanca pueden resultar interesantes LED monocromáticos, como los que se usan en los semáforos o en los adornos de navidad. Entre los mercados de las lámparas LEDs se encuentran la jardinería y la agricultura. Esta tecnología es utilizada por la NASA para cultivar plantas en el espacio.

Las longitudes de onda de la luz emitida por las lámparas LED han sido adaptadas para suministrar la luz en el rango espectral necesaria para la absorción de la clorofila en las plantas, y así promover el crecimiento y reducir la emisión en otras longitudes de onda que las plantas no necesitan. Se suelen usar los espectros de luz roja y azul para estos propósitos. Estas luces son atractivas para los cultivadores de interior ya que utilizan menos energía que otros tipos de la misma intensidad de la luz, no necesitan balastos, y emiten

mucho menos calor. La reducción de calor permite que el tiempo entre ciclos de riego se extienda porque las plantas transpiran menos.

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

4. LA ILUMINACIÓN EN LOS CENTROS DE ENSEÑANZA

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

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

Las principales causas que denotan una mala iluminación son:

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

La experiencia demuestra que una buena iluminación resulta eficaz a la hora de mejorar el rendimiento y la calidad como ya he reflejado en el capítulo 1. Una buena iluminación disminuye el cansancio visual disminuyendo los dolores de cabeza, aumenta el confort y la seguridad, reduce el índice de errores y estimula al personal. Además, esto puede conseguirse con un ahorro energético mediante el uso de nuevas tecnologías.

4.1 CONSIDERACIONES GENERALES

Como parámetro de diseño con mayor peso con relación al ambiente lumínico y fácilmente medible encontramos el nivel de iluminación, parámetro que ha ido

cambiando a lo largo de los años y que difiere de unos países a otros. El lux es sólo un parámetro incompleto y aproximado.

A su vez la direccionalidad, la temperatura de color y el índice de reproducción cromática son conceptos que describen en gran medida la calidad de la iluminación.

Y por último las consideraciones económicas, en especial, el coste de la energía hacen que el nivel de iluminación sea útil porque nos permite cuantificar la relación calidad/ coste y establecer medidas de ahorro.

4.2 LAS NECESIDADES LUMÍNICAS EN LOS CENTROS DE ENSEÑANZA

En los Centros de enseñanza podemos distinguir de manera genérica los siguientes espacios: aulas, laboratorios, talleres, biblioteca, gimnasio y canchas deportivas, aseos, pasillos, vestíbulos y escaleras, comedores y cocinas, salón de actos, oficinas, despachos y exteriores.

Teniendo en cuenta las necesidades de percepción según el uso de los espacios, distinguimos tres agrupamientos:

1. Actividad visual elevada
 - ✓ Aulas de enseñanza práctica; plástica y talleres, informática, etc. En el primer caso, donde la reproducción cromática es importante se deberá potenciar el uso de la iluminación natural, bien tratada, suplementada con luz artificial direccional. En el segundo caso, los brillos y reflejos de las pantallas suponen el mayor inconveniente para obtener la mejor eficiencia de la propuesta en iluminación.
 - ✓ Laboratorios. En química y biología es necesario reproducir la luz del día para discriminar los colores. Y se tendrá en cuenta habilitar una zona oscura y uso de luz artificial que asegure la seguridad en el manejo de mecheros bunsen.
 - ✓ Biblioteca. Se requiere un nivel de iluminación uniforme y las estanterías formarán ángulo recto con las ventanas.

2. Actividad visual normal

- ✓ Aulas. De manera estándar las aulas tienen una superficie de 60 a 80 m² y grandes ventanales en uno de los lados de las mismas. Hay que determinar la iluminancia, el deslumbramiento, sombras y colores. Si los techos son altos, las luminarias estarán suspendidas y no empotradas o adosadas como en el caso de techos bajos. La pizarra no debe ser brillante ni de color negro y para evitar reflejos se incorporará iluminación tipo bañador y su ubicación dependerá de las ventanas.
- ✓ Las cocinas dispondrán como iluminación artificial, luminarias estancas.
- ✓ Los gimnasios dispondrán de varios circuitos de iluminación con lámparas de descarga y fluorescentes, así como luminarias portátiles.

3. Actividad visual baja. Vestíbulos, pasillos y escaleras, comedores y cafetería, aseos, almacenes, zonas de espera y paso. Las lámparas habitualmente utilizadas son los tubos fluorescentes. En el exterior se tendrá en cuenta los usos habituales en horario nocturno y la seguridad del edificio para lo cual se utilizarán fuentes de luz de alta eficiencia tales como las de alta intensidad de descarga.

El tiempo estimado de actividad anual habitual en la enseñanza secundaria es de 7 horas al día durante 20 días al mes y 9 meses al año = 1260 horas año. A esto habrá que añadir sesiones de evaluaciones, la limpieza diaria y el uso de instalaciones fuera del horario escolar.

Si nos fijamos en algunos de los Institutos de Educación Secundaria públicos de Cantabria observaremos que fueron diseñados para albergar aulas de manera simétrica orientando los ventanales al sur, buscando la mejor iluminación natural.

Los inconvenientes que se observan son los siguientes:

- ✓ Los días soleados de invierno, cuando el sol está bajo, impacta sobre los alumnos cercanos a los ventanales y deslumbra en general, obligando a bajar las persianas.
- ✓ En otoño y en primavera, además, el calor empeora la circunstancia anterior.

En ambos casos, además de los días nublados y con poca luminosidad, la iluminación artificial se convierte casi en la única forma de iluminación del aula.

A esto debo añadir, la utilización de medios digitales, ya que está transformando las necesidades en cantidad y calidad de luz, así como las infraestructuras que son necesarias para que los sistemas funcionen; cables, soportes, etc.

Por ello y con el ánimo de mejorar el ambiente lumínico de las aulas y el bienestar de las personas estudiaré soluciones flexibles y elementos que combinen la luz natural con la luz artificial desde una óptica de eficacia y eficiencia.

4.3 NORMATIVA Y RECOMENDACIONES PARA LA ILUMINACIÓN ARTIFICIAL

Normativa sobre iluminación, eficiencia y certificación energética de aplicación en el momento de la redacción del proyecto:

R.D. 842/2002 de 2 de agosto por el que se aprueba el reglamento de electrotécnico de baja tensión.

Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo relativa a la eficiencia energética.

Sección HE 1 del Documento básico HE Ahorro de energía del CT de edificación. Año 2009

Sección HE 1 del Documento básico HE Ahorro de energía del CT de edificación. Año 2013 y corrección de errores

Sección HE 0 del Documento básico HE Limitación de consumo energético del CT de edificación. Año 2013

R.D. 235/2013, de 5 de abril, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios.

Orden FOM/1635/2013, de 10 de septiembre, por la que se actualiza el Documento Básico DB-HE «Ahorro de Energía», del Código Técnico de la Edificación, aprobado por Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo

Sección HE 3 del Documento básico HE Ahorro de energía del CT de edificación. Año 2009.

Sección SU 4 Riesgo por iluminación inadecuada del Documento básico SU, Seguridad de utilización del CT de edificación.

R.D. 1890/2008 Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior e instrucciones técnicas complementarias.

La Guía de Iluminación Interior de la CIE (Comisión Internacional de Iluminación)³ establece las siguientes recomendaciones para las distintas dependencias de un Centro docente

Zonas	Iluminancia media horizontal (lux)	Clase de calidad al deslumbramiento directo	Grupo de rendimiento de color
Aulas de enseñanza	300	B	1B
Aula de Informática	500	A	1B
Aula laboratorio	500	B	1B
Pizarra *	300	B	1B
Aula dibujo	750	A	1A

³ La **Comisión Internacional de la Iluminación** (conocida por la sigla **CIE**, de su nombre en francés *Commission internationale de l'éclairage*) es la autoridad internacional en luz, iluminación, color y espacios de color. Fue fundada en 1931, con sede en Viena, Austria.

Pizarra dibujo*	300	A	1A
Taller trabajo fino	500	B	2A
Taller trabajo basto	300	D	2A
Biblioteca ambiental	200	B	1B
Biblioteca lectura	500	B	1B
Biblioteca estanterías*	200	B	1B
Salón de actos general	200	C	1B
Salón de actos escenario	700	-	1B
Gimnasio/Polideportivo	300	C	2A
Sala de profesores	300	B	1B
Oficinas	500	B	1B
Vestíbulo/pasillos	150	C	2A
Comedor	200	C	1B
Cocina general	150	C	1B
Cocina zona trabajo	300	C	2A
Vestuarios y servicios	150	C	2A
Almacenes	100	E	2A
Patios exteriores	50	-	2B
Zonas exteriores vigilancia	25	-	-

* Plano vertical

Tabla 7 Iluminancia, deslumbramiento y color

Así mismo la Orden FOM/1635/2013 de 10 de septiembre, por la que se actualiza el Documento Básico DB-HE “Ahorro de Energía”, del Código Técnico de la Edificación, aprobado por Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, en su Sección HE 3 sobre la Eficiencia Energética de las Instalaciones de Iluminación, de aplicación, entre otros, en intervenciones en edificios existentes con una superficie útil total final (incluidas las partes ampliadas, en su caso) superior a 1000 m², donde se renueve más del 25% de la superficie iluminada y en edificios existentes en las que se renueve o amplíe una parte de la instalación, en cuyo caso se adecuará la parte de la instalación renovada o ampliada para que se cumplan los valores de eficiencia energética límite en función de la actividad y, cuando la renovación afecte a zonas del edificio para las cuales se establezca la obligatoriedad de *sistemas de control o regulación*, se dispondrán estos sistemas, determina que la eficiencia energética de una instalación de iluminación de una zona, se determinará mediante el *valor de eficiencia energética de la instalación VEEI* (W/m²) por cada 100 lux mediante la siguiente expresión:

$$VEEI = \frac{Px100}{SxE_m}$$

Ecuación 5 Eficiencia energética de la instalación VEEI

Siendo:

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

S la superficie iluminada [m²];

Em la iluminancia media horizontal mantenida [lux]

Los valores de eficiencia energética límite en recintos interiores de un Centro de Enseñanzas medias se establecen en la tabla 8.

Zonas de actividad diferenciada	VEEI Límite
Administrativo en general	3
Aulas y laboratorios	3.5
Zonas comunes	4
Almacenes, archivos, salas técnicas y cocinas	4
Aparcamientos	4
Espacios deportivos	4
Bibliotecas	5
Salones de actos, salas de reuniones	8

Tabla 8 Valores límite de eficiencia energética de la instalación

La potencia instalada en iluminación, teniendo en cuenta la potencia de lámparas y equipos auxiliares, no superará los 15 W/m^2 en el edificio de un Centro docente y de 5 W/m^2 en el aparcamiento de sus dependencias.

En el Documento básico HE Ahorro de energía también se recogen los sistemas de control y regulación de que deberán disponer las nuevas instalaciones de iluminación:

- a) Toda zona dispondrá al menos de un sistema de encendido y apagado manual, no aceptándose los sistemas de encendido y apagado en cuadros eléctricos como único sistema de control. Toda zona dispondrá de un sistema de encendidos por horario centralizado en cada cuadro eléctrico. Las zonas de uso esporádico dispondrán de un control de encendido y apagado por sistema de detección de presencia temporizado o sistema de pulsador temporizado;
- b) se instalarán sistemas de aprovechamiento de la luz natural, que regulen proporcionalmente y de manera automática por sensor de luminosidad el

nivel de iluminación en función del aporte de luz natural de las luminarias de las habitaciones de menos de 6 metros de profundidad y en las dos primeras líneas paralelas de luminarias situadas a una distancia inferior a 5 metros de la ventana, y en todas las situadas bajo un lucernario, cuando se den las siguientes condiciones:

- a. en todas las zonas que cuenten con cerramientos acristalados al exterior, cuando éstas cumplan simultáneamente las siguientes condiciones:

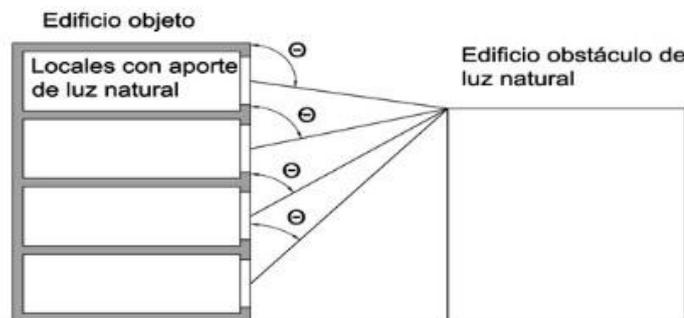


Ilustración 13 Edificio obstáculo

- que el ángulo θ sea superior a 65° ($\theta > 65^\circ$), siendo θ el ángulo desde el punto medio del acristalamiento hasta la cota máxima del edificio obstáculo, medido 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 [m^2]. A área total de las fachadas de la zona, con ventanas al exterior o al patio interior o al atrio [m^2].
- b. En todas las zonas que cuenten con cerramientos acristalados a patios o atrios, cuando éstas cumplan simultáneamente las siguientes condiciones:
 - en el caso de patios no cubiertos cuando éstos 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 encuentre la zona en estudio, y la cubierta del edificio;



Ilustración 14 Patio interior

- en el caso de patios cubiertos por acristalamientos cuando su anchura (a_i) sea superior a $2/T_c$ veces la distancia (h_i), siendo h_i la distancia entre la planta donde se encuentre el local en estudio y la cubierta del edificio, y siendo T_c el coeficiente de transmisión luminosa del vidrio de cerramiento del patio, expresado en %.

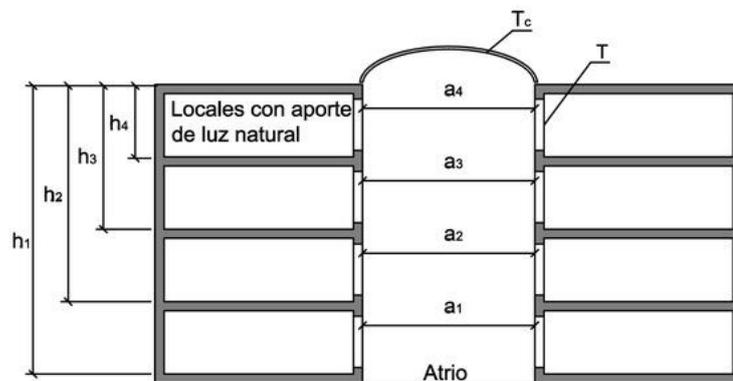


Ilustración 15 Patio cubierto

- 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 [m^2]. A área total de las superficies interiores del local (suelo + techo + paredes + ventanas) [m^2].

5. ILUMINACIÓN INSTALADA EN EL IES LA GRANJA

En este capítulo pretendo describir las tecnologías instaladas en los edificios que conforman en Instituto de Educación Secundaria La Granja, con objeto de analizar y proponer nuevos sistemas de iluminación más eficientes para las mismas características especiales de iluminación de cada caso.

5.1 DESCRIPCIÓN GENERAL

5.1.1 Datos generales

Nombre: IES La Granja

CIF Q3968005C

Dirección: Barrio la Estación S/N 39792 Heras. Medio Cudeyo Cantabria

Actividad: Centro de Educación Secundaria

Persona de contacto: Sra. Emma Fernández Gutiérrez. Directora

Teléfono: 942526232

www.ieslagranja.com

Fecha de realización: junio 2015



Ilustración 16 Vista IES La Granja

5.1.2 Descripción de las instalaciones



Ilustración 17 Patio interior IES La Granja

El IES La Granja tiene una historia de más de 60 años, en gran medida asociada a las enseñanzas agrarias, construido con grandes muros de piedra, de plantas rectangulares con dos y tres alturas, con extensos patios interiores descubiertos y mucha luminosidad natural.

En la actualidad, es un Centro moderno que pertenece a la Consejería de Educación del Gobierno de Cantabria, en el que estudian unos 400 alumnos de diferentes localidades del entorno y trabajan 60 personas entre profesores, personal laboral y funcionario. Se imparte E.S.O y Bachillerato.



Ilustración 18 Aulas. Foto propia



Ilustración 19 Luminarias. Fotos propias

5.2 ILUMINACIÓN INSTALADA

Debido a la no existencia de un inventario que recoja datos de las lámparas instaladas (Fecha de colocación, marca, potencia, color, IRC, presencia de sistemas de ahorro, etc), he tenido que realizarlo. Para ello me he ayudado de

los planos existentes en el Centro provenientes del Plan de Autoprotección⁴. Quiero significar que en el caso de Cantabria, todos los centros deben de disponer de estos planos ya que el Plan de autoprotección se realizó en todos los centros en 2003. En ellos he ido indicando el total de lámparas y la tecnología. Posteriormente he elaborado las tablas con los datos.

Las marcas que predominan son Philips, Osram y Sylvania. IRC 70 y color de 4.000 a 6500 k.

La localización y distribución de esta iluminación lo reflejo en las tablas siguientes:

Tabla 9 Inventario luminarias IES La Granja 2015

⁴ Anexos

PLANTAS	UBICACIÓN	TECNOLOGÍA	LUMINARIAS	LAMPARAS/LUMINARIA	POTENCIAL/AMPARA	POTENCIA INSTALADA
	Aula 24	F	6	2	36	432
	Aula 23	F	6	2	36	432
	Aula 22	F	6	2	36	432
	Aula 21	F	6	2	36	432
	Aula 20	F	6	2	36	432
	Aula convivencia	F	1	2	36	72
	Aseos (2)	F	1	2	36	72
	Pasillo	F	4	2	36	288
	Aula P.T.	F	1	2	36	72
	Aseos	F	2	2	36	144
	Acceso	F	6	2	36	432
	Cuartos de calderas	F	2	2	36	144
	Taller de tecnología	F	16	2	36	1152
	Almacén tecnología	F	2	2	36	144
	Aula 10 (Tecnología)	F	8	2	36	576
	Dpto. Lengua	F	2	2	36	144
	Dpto. Filosofía	F	2	2	36	144
	Aula 9	F	8	2	36	576
	Dpto. Matemáticas	F	2	2	36	144
	Dpto. Ciencias Naturales	F	2	2	36	144
	Acceso	F	1	2	36	72
	Laboratorio C. Naturales	F	12	2	36	864
	Biblioteca	F	16	2	36	1152
	Aula 11	F	6	2	36	432

PLANTA 02

PLANTAS @ ALA

PLANTAS	UBICACIÓN	TECNOLOGÍA	LUMINARIAS	LAMPARAS/LUMINARIA	POTENCIA/AMPARA	POTENCIA INSTALADA
	Sala de profesores	F	10	2	36	720
	Acceso	F	4	2	18	144
	Hall intermedio	F	4	2	36	288
	UBICACIÓN	TECNOLOGÍA	LUMINARIAS	LAMPARAS/LUMINARIA	POTENCIA/AMPARA	POTENCIA INSTALADA
	Aseos	F	1	2	36	72
	Vestuario personal laboral	F	1	2	36	72
	Almacén productos limpieza	F	1	2	36	72
	Aula 8	F	8	2	36	576
	Aula 7	F	8	2	36	576
	Aula 6	F	8	2	36	576
	Aula 5	F	8	2	36	576
	Aula 4	F	8	2	36	576
	Sala de visitas	F	1	2	36	72
	Pasillo	F	11	2	18	396
	Secretaría/oficinas	F	5	2	36	360
	Despacho Secretario/a	F	2	2	36	144
	Despacho Dirección	H	4	2	100	800
	Jefatura de Estudios	F	4	2	36	288
	Acceso	F	3	2	36	216
	Conserjería	F	2	2	36	144
	Hall entrada	F	8	2	18	288
	Aseos profesores (2)	FC	2	1	65	130
	Aula 3	F	8	2	36	576
	Aula 2	F	6	2	36	432
	Aula 1	F	6	2	36	432
	Laboratorio química	F	6	2	36	432
	Aula A.L.	F	6	2	36	432
	Dpto. Ed. Física, Economía y Religión	F	3	2	36	216

	Aula informática profesores	F		4	2	36	288
	Asociación alumnos	F		1	2	36	72
	Salón de actos	F		13	2	36	936
	Aseos	F		2	2	36	144
	Acceso	F		12	2	36	864
	Almacén	F		2	2	36	144
	Aula 18	F		10	2	36	720
	Aula 19	F		10	2	36	720
	Acceso	F		3	2	36	216
P. Tercera	Aula 17	F		27	2	36	1944
PLANTAS	UBICACIÓN	TECNOLOGÍA	LUMINARIAS	LAMPARAS/LUMINARIA	POTENCIAL AMPARA	POTENCIAL INSTALADA	
PARRILLÓN	Gimnasio	VSAP	12	1	250	3000	
	Almacenes gimnasio	F	4	2	36	288	
	Despacho gimnasio	F	2	2	36	144	
	Vestuario chicos	F	3	2	36	216	
	Vestuarios chicas	F	3	2	36	216	
	Acceso	F	2	2	36	144	
	FOCOS CALLE	VSAP	16	1	250	4000	
	CAFETERIA	F	7	2	18	252	
	BOMBILLAS PUERTAS	FC	8	1	100	800	
						TOTAL	50070

Tecnología	Potencia instalada
VSAP	7000
FC	1230
H	300
F	41540
TOTAL IES La Granja	50070

Tabla 10 Resumen potencia instalada luminarias IES La Granja

Según se comprueba en las tablas anteriores, existe un total de 50,07 KW de potencia instalada para usos de iluminación. De ese total, los porcentajes de tecnologías se distribuyen según muestra el gráfico siguiente:

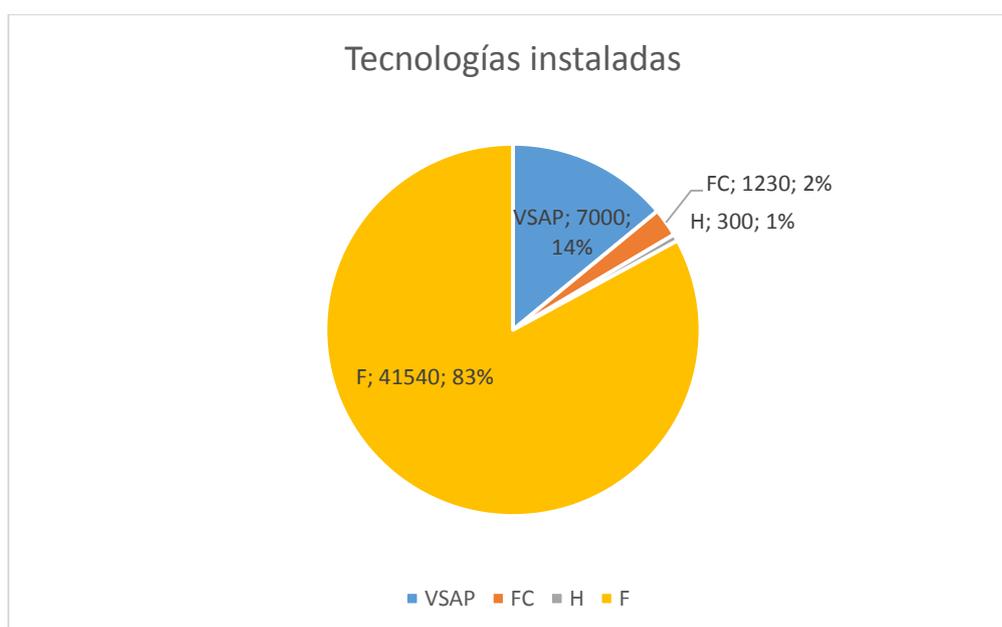


Ilustración 20 Tipos de tecnologías de iluminación instaladas

Siendo:

- ✓ F-Tecnología Fluorescente
- ✓ VSAP- Vapor de sodio de Alta presión
- ✓ FC- Tecnología Fluorescente Compacta
- ✓ H- Tecnología Halógena

5.2.1. Lámparas fluorescentes

La mayor proporción de la iluminación se instala en fluorescencia por lámparas de tubos, con un total de 41,54 kW, lo que supone un 83% sobre el total.

Las lámparas fluorescentes se montan en luminarias de tipo pantalla casi en su totalidad, siendo las de 2 x 36W y 2 x 18W las más instaladas. Son pantallas antiguas, con elementos básicos de distribución, en algunos casos, en mal estado, y provistas de balastos electromagnéticos.

Por ello, estimo que la potencia consumida por el conjunto lámpara- equipo llega a ser del orden de un 20 % superior a la potencia instalada, lo que hace un total de 49,85 kW.

Las luminarias se montan empotradas en falso techo registrable o suspendidas, según disponibilidad. Las lámparas que están instaladas en las mismas son de tipo TLD Estándar F18/54-765 y F36/54-765, de inferiores características lumínicas y baja vida útil respecto de nuevos tubos capaces de aumentar la calidad de iluminación.

Así mismo, estas lámparas no satisfacen los requerimientos mínimos establecidos en la norma UNE 12464-1, la cual establece un IRC mínimo del 80% para la mayoría de las zonas del Instituto. Además no existe un plan de mantenimiento y durante su periodo de vida no se limpian



Ilustración 21 Fluorescente instalada

Las últimas adquisiciones han sido 250 lámparas, marca Philips Eco de 32 W y los respectivos cebadores que se van a utilizar para reponer aquellos que no encienden o parpadean en exceso.



Ilustración 22 Etiqueta caja. Foto propia



MASTER TL-D Eco 32W/840 1SL

La lámpara MASTER TL-D Eco ofrece la misma potencia lumínica que la lámpara MASTER TL-D Super 80 y, al mismo tiempo, utiliza menos energía, gracias al uso de fósforos específicos y un relleno de gas especial.

Ilustración 23 Caja de 25 fluorescente.

Foto propia

Datos del producto:

Base/Casquillo G13

Forma de la lámpara T8 [26 mm]

Vida Media (10%) Equ.Conv. 12000 hr

Vida 10% fall c/precald EL 3 h 17000 hr

Vida 10% fall s/precald EL 3 h 10000 hr

Vida Media (50%) con Bal.conv. 15000 hr

Vida Media Bal.Elec.Precaldeo 20000 hr

Vida Media con Bal.Elec.Básico 12000 hr

LSF EM 2.000 h nom, ciclo 3 h 99 %

LSF EM 4.000 h nom, ciclo 3 h 99 %

LSF EM 6.000 h nom, ciclo 3 h 99 %

LSF EM 8.000 h nom, ciclo 3 h 99 %

LSF EM 12.000 h nom, ciclo 3 h 89 %

LSF EM 16.000 h nom, ciclo 3 h 33 %

LSF EM 20.000 h nom, ciclo 3 h 2 %

• Características de la Fuente de Luz

Código de Color 840 [CCT of 4000K]

Índice Reproducción Cromática 85 Ra8

Designación de Color Blanco Frío

Temperatura de Color 4000 K

Flujo lum EM 25°C, nominal 2650 Lm

Flujo lum lámp, convenc. 30°C 3000 Lm

Eficacia lum nominal EM 25°C 82 Lm/W

LLMF EM 2.000 h nominal 96 %

LLMF EM 4.000 h nominal 95 %

LLMF EM 6.000 h nominal 94 %

LLMF EM 8.000 h nominal 93 %

LLMF EM 12.000 h nominal 92 %

LLMF EM 16.000 h nominal 91 %

LLMF EM 20.000 h nominal 90 %

Temperatura de diseño 30 C Coordenadas Cromática X383, Y386

• Características Eléctricas

Pot. de la Lámpara Estimada 32 W

Potencia lámpara EM 25°C, nom 32 W

Potencia lámpara EM 25°C, nom 32.2 W

Tensión lámpara EM 25°C 92 V

Corriente lámp EM 25°C 0.448 A

Regulable Sí

- Características Medioambientales

Etiqueta Eficiencia Energética A

Contenido de mercurio (Hg) 2.0 mg

Energy consumption kWh/1000h 39 kWh

- Características de Dimensiones

Longitud Casquillo-Casquillo A 1199.4 (max) mm

Longitud B de Inserción 1204.1 (min), 1206.5 (max) mm

Longitud Total C 1213.6 (max) mm

Diámetro D 28 (max) mm



Ilustración 24 Caja cebadores. Foto propia

5.2.2. Vapor de sodio de alta presión

Las lámparas de vapor de sodio de alta presión se instalan en luminarias para la iluminación ornamental y de seguridad en el exterior mediante focos distribuidos en todo el perímetro de edificios y en el pabellón deportivo.

Esta tecnología es eficiente y aconsejable para este uso. La vida útil y la eficacia de las lámparas son altas.

5.2.3. Lámparas fluorescentes compactas

Una de las tecnologías minoritarias corresponde al uso de lámparas fluorescentes compactas, encontrando de varios tipos: compactas integradas y compactas no integradas.

Se diferencian unas de otras en que las integradas están dotadas del correspondiente equipo arrancador, mientras que en las no integradas, éste equipo está incorporado en la luminaria.

Las compactas integradas son las correspondientes a la sustitución inmediata de las incandescentes al poseer el mismo tipo de casquillo. Las no integradas se montan en focos de iluminación directa tipo Downlight.

Esta tecnología presenta el inconveniente de la fluorescencia convencional en establecer el rendimiento luminoso en función de la temperatura en la que se encuentra.

De este modo, el margen aconsejable de dicha instalación se corresponde al intervalo de los 10°C hasta los 60°C. Realizada la anterior consideración, el flujo de las luminarias de los porches puede verse modificado ante la variación estacional de la temperatura exterior.

La fluorescencia compacta presenta índices de eficiencia energética muy buenos, además las lámparas poseen una elevada vida útil respecto de otras tecnologías.

5.2.4. Lámparas halógenas

Se encuentran instaladas sólo cuatro lámparas halógenas de tipo bombilla PAR38 de 100W, empotradas en el techo de manera que la iluminación es proyectada de forma localizada mediante un ángulo de apertura estrecho.

La zona directa de influencia del haz luminoso queda perfectamente iluminado, perdiendo la posibilidad de iluminación orbital, originando zonas de sombras que sólo se solucionaría multiplicando las luminarias instaladas para aumentar la superficie iluminada.

Esta iluminación no se considera adecuada desde el punto de vista energético, dados los bajos ratios de eficiencia respecto de otras tecnologías, así como la

baja vida útil de las lámparas que deriva en una constante sustitución de las unidades fundidas.

La principal ventaja de estas lámparas es que proporcionan un excelente índice de reproducción cromática (IRC=100), así como reencendidos instantáneos.

5.3 CONSUMO ELÉCTRICO EN EL IES LA GRANJA

En julio de 2014, el IES La Granja fue dividido administrativamente en dos centros de enseñanza independientes; el Centro integrado de Formación Profesional la Granja, de ahora en adelante CIFP y el Instituto de Educación Secundaria La Granja, de ahora en adelante IES, siendo este último el objeto de este proyecto.

Debido a las características de todas las dependencias del antiguo IES, la segregación del suministro de energía eléctrica aún no se ha realizado.

Por ello sólo existe un contrato de suministro de electricidad y una única facturación que han estimado, 2/3 corresponde a los consumos del CIFP y 1/3 al IES. El día 22 de abril se ha finalizado la separación de zonas y desde esa fecha se está midiendo internamente para ajustar el prorrateo.

La empresa suministradora es ENDESA, la tarifa es 3.1 A con una potencia contratada de 80 kW y la oferta aplicada es:

Periodos	Término energía variable (€/kWh)	Facturación potencia (€/kW)
P_1	0,120738	59,475288
P_2	0,10721	36,676813
P_3	0,069085	8,410411

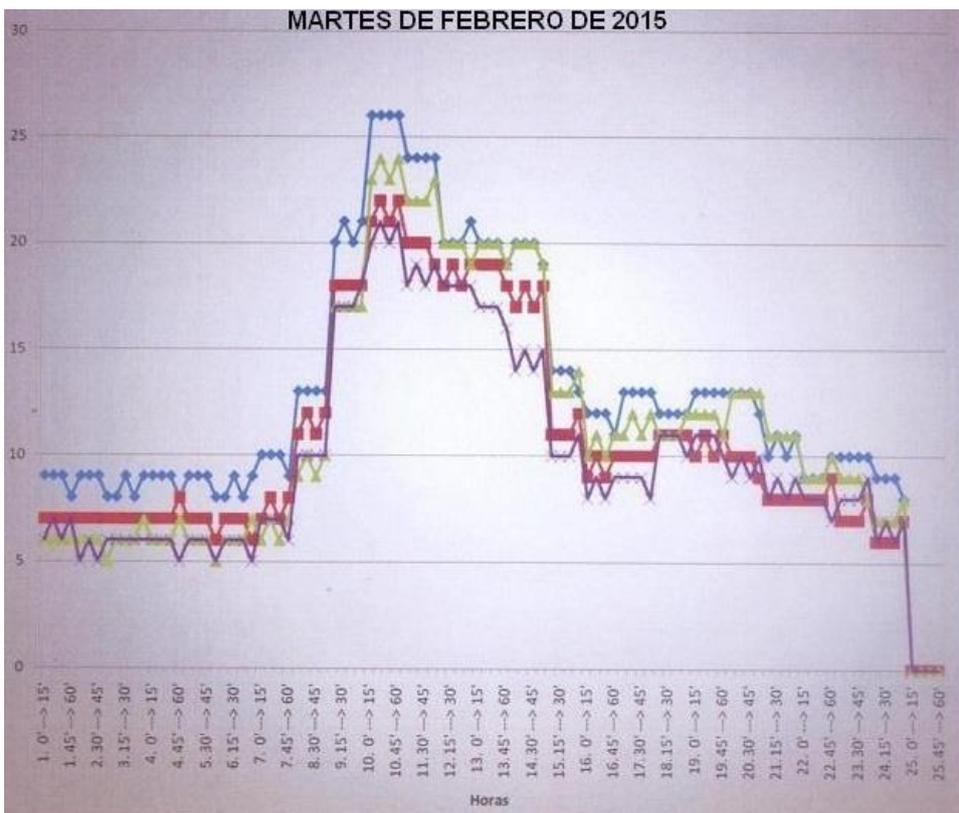
Tabla 11 Tarifas suministro eléctrico

Siendo Punta (P_1) de 18-22 h y 11 a 15 h en verano. Llano (P_2) de 8- 18 h y 22- 24 h. Y en verano, de 8- 11 h y de 15- 24 h. Valle (P_3) de 0- 8 h y en verano también.

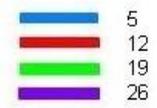
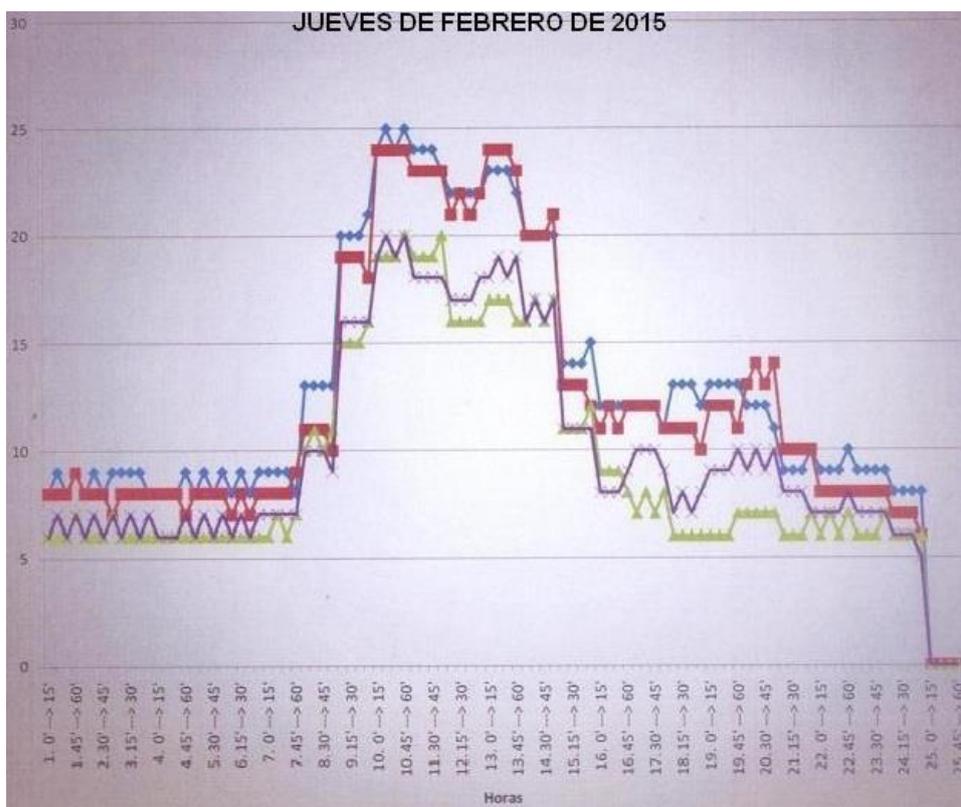
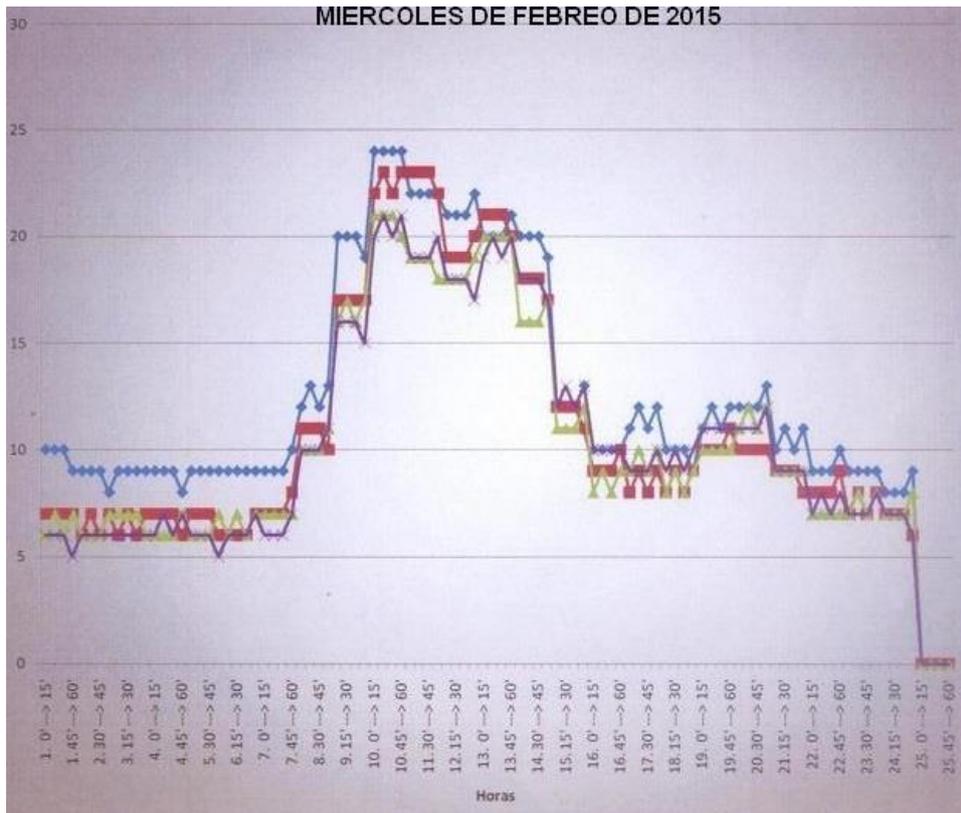
Para este trabajo, solicité a Endesa información de la demanda de energía eléctrica diaria del mes de febrero con valores instantáneos cada 15 minutos y con ello he realizado las curvas de demanda y la comparativa por día:

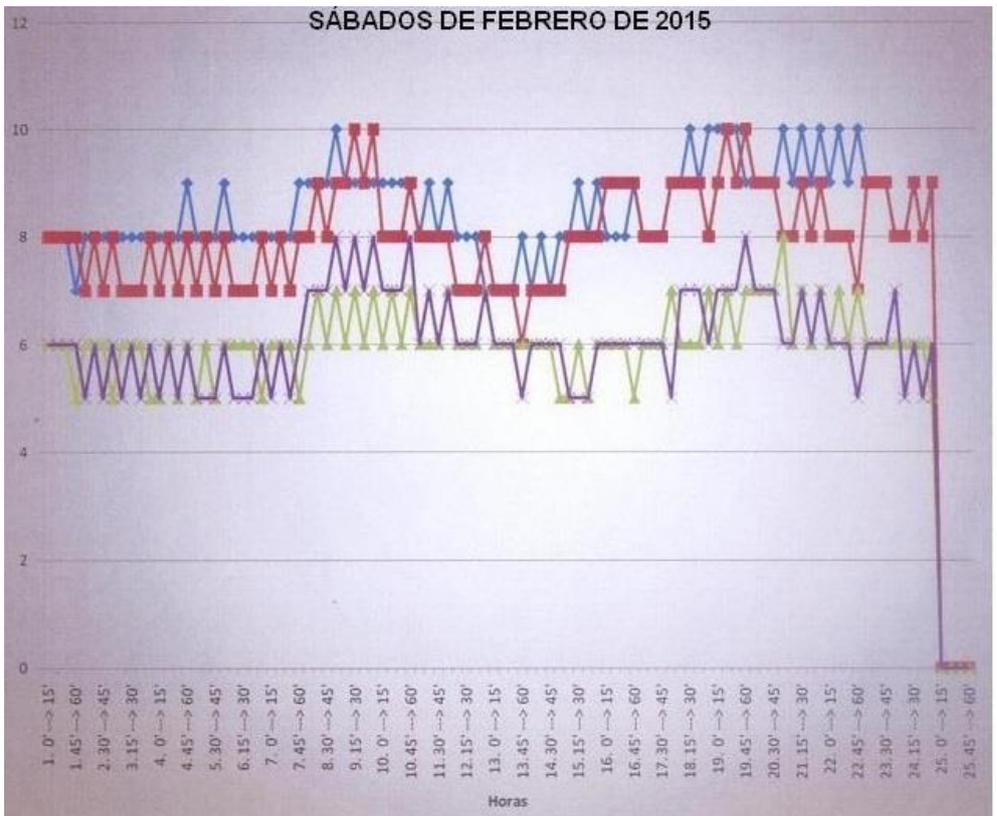
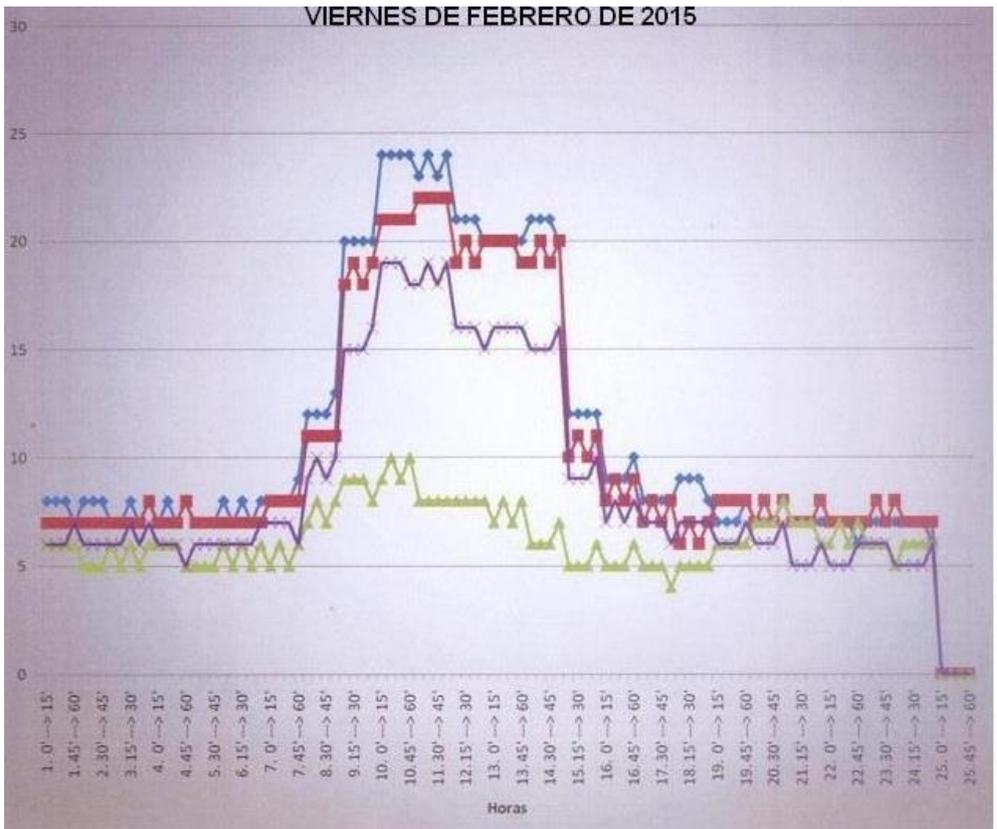


- 2
- 9
- 16
- 23



- 3
- 10
- 17
- 24





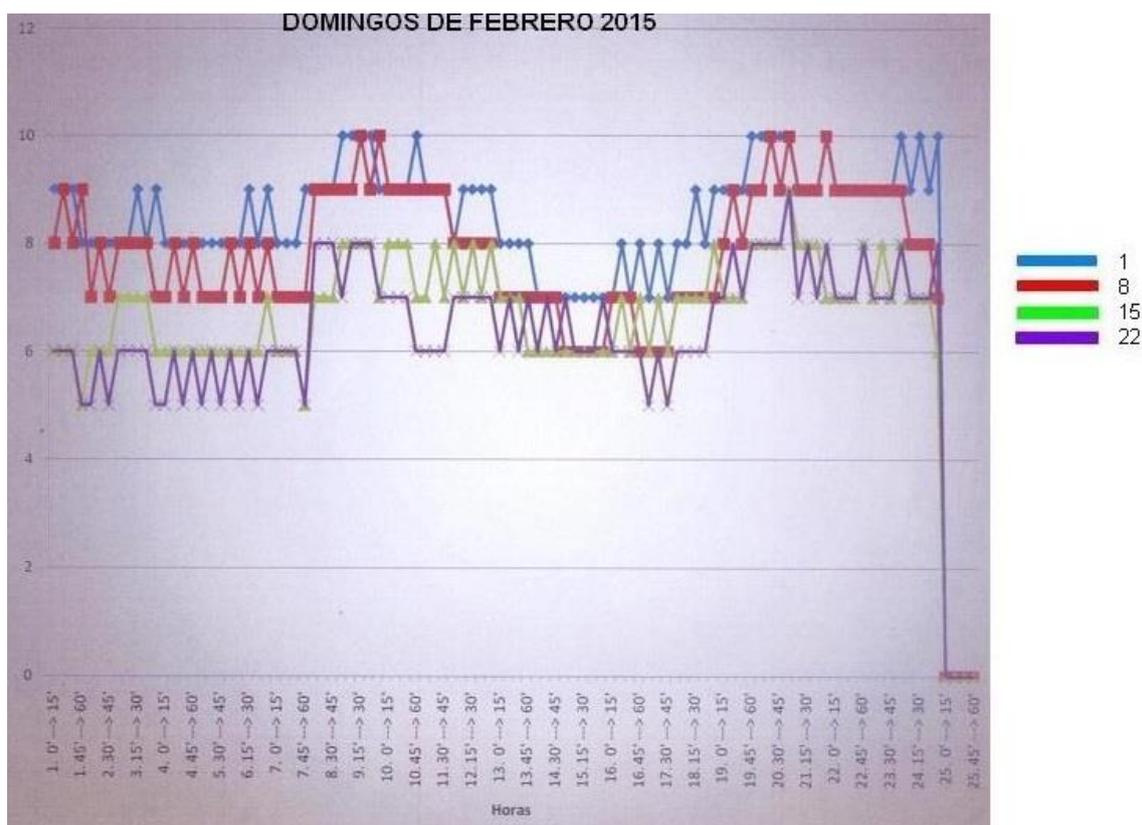


Ilustración 25 Curvas de demanda febrero 2015

Observamos que existe una importante demanda remanente, que hace que los consumos sean importantes incluso cuando los edificios permanecen cerrados. Además del alumbrado nocturno existen cargas que permanecen conectadas indefinidamente como se puede apreciar en las curvas de los sábados y domingos.

Esta demanda será la constituida por la explotación ganadera, vivienda de personal laboral, servidores informáticos, iluminación de seguridad, deshumidificadores, además de PC's o luces que hayan podido quedar encendidos en fin de semana.

Las curvas de demanda me confirman que los consumos en lámparas fluorescentes tienen lugar entre las 8 y las 18 horas.

5.4 CÁLCULO PRÁCTICO DEL NÚMERO DE LUMINARIAS

Después de utilizar el programa Dialux he creído oportuno introducir en este trabajo los fundamentos de los cálculos, los parámetros que intervienen y cómo se hacen esos cálculos. Con esto no pretendo quitar valor a esta herramienta que tanto facilita el trabajo a los profesionales pero en mi caso la instalación

lumínica ya está funcionando y sólo considero necesario conocer si los patrones utilizados se ajustan a la normativa y si una migración a tecnología Led, que es mi propuesta para sustituir los tubos fluorescentes, sería correcta.

Por ello, en este ejemplo utilizo parámetros reales que escenifican la instalación de los espacios del IES La Granja siguiendo el mismo patrón de diseño en cuanto a ubicación de luminarias y potencia instalada.

Tenemos que iluminar un aula de dimensiones 6 m. de ancho por 9 m. de largo por 3 m. de alto con luminarias tipo Led con dos lámparas. Los acabados de dicha aula son paredes de yeso blanco, suelo de terrazo gris claro y falso techo de placas de cartón-yeso acústicas perforadas.

Primero determino el número de luminarias que necesito y cómo deben de estar colocadas para obtener un nivel adecuado de iluminación uniforme.

5.4.1 Cálculo del flujo luminoso total que necesitamos en el aula

Para averiguar el flujo luminoso que necesitamos que aporten las lámparas que vamos a colocar, es importante que antes, analicemos el tipo de aula que tenemos. Su forma y sus acabados influyen notoriamente en cómo reflexiona la luz en ese determinado espacio.

Para calcular el flujo luminoso, sigo los siguientes pasos:

Datos de entrada (del local, lámparas y luminarias):

Examino el local y los elementos que tenemos.

Dimensiones del aula:

$a = \text{ancho (en m)} = 6\text{m}$

$b = \text{largo (en m)} = 9\text{m}$

$H = \text{alto (en m)} = 3\text{ m}$

Fijamos la altura del plano de trabajo (h'):

En el aula normalmente se dará clase y los alumnos estarán sentados en mesas.

Es importante que fijemos la altura del plano de trabajo que siempre dependerá del tipo de actividad que se realice en esa zona determinada.

Generalmente, se considera la altura del suelo a la superficie de la mesa de trabajo, normalmente de $h' = 0,85$ m. En casos como pasillos, vestíbulos, halls, etc. se considera que la altura del plano de trabajo es 0.

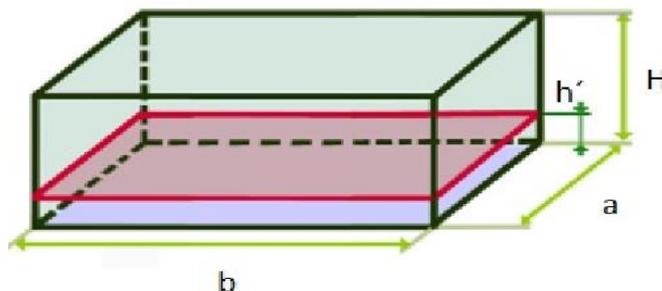


Ilustración 26 Dimensiones del aula y altura del plano de trabajo

Determino el nivel de iluminancia media (E_m) que ha de tener el aula.

Este valor depende del tipo de actividad que se va a realizar en el local. Los valores del nivel de iluminancia media los podemos encontrar tabulados en la *Norma Europea UNE-EN 12464- 1:2003. Iluminación de los lugares de trabajo. Parte I: Lugares de trabajo en interior*. Esta norma define los parámetros recomendados para los distintos tipos de áreas, tareas y actividades. En la Tabla 13 incluyo los valores de *iluminancia* (E_m) relacionados con este trabajo.

6.2 Edificios educativos

Nº ref.	Tipo de interior, tarea y actividad	\bar{E}_m lux	UGR _L	R _a	Observaciones
6.2.1	Aulas, aulas de tutoría	300	19	80	La iluminación debería ser controlable
6.2.2	Aulas para clases nocturnas y educación de adultos	500	19	80	La iluminación debería ser controlable
6.2.3	Sala de lectura	500	19	80	La iluminación debería ser controlable

Ilustración 27 Requisitos de iluminación para (áreas) interiores, tareas y actividades⁵

⁵ Edificios educativos de la Norma Europea UNE-EN 12464-1:2003. Iluminación de los lugares de trabajo. Parte I: Lugares de trabajo en interior, pág. 28

Identifico el tipo de lámpara que quiero a utilizar.

En este caso, la lámpara para el cálculo es un tubo LED. Se ha elegido porque tiene una aceptable reproducción de color y es más eficiente, energéticamente hablando, que los tradicionales fluorescentes instalados. Tubo de Leds Threeline 2835SMD T833120

Angulo de difusión =240°

Flujo Luminoso =1920Lm

Tª de color CCT =6500°K

CRI Ra =>85

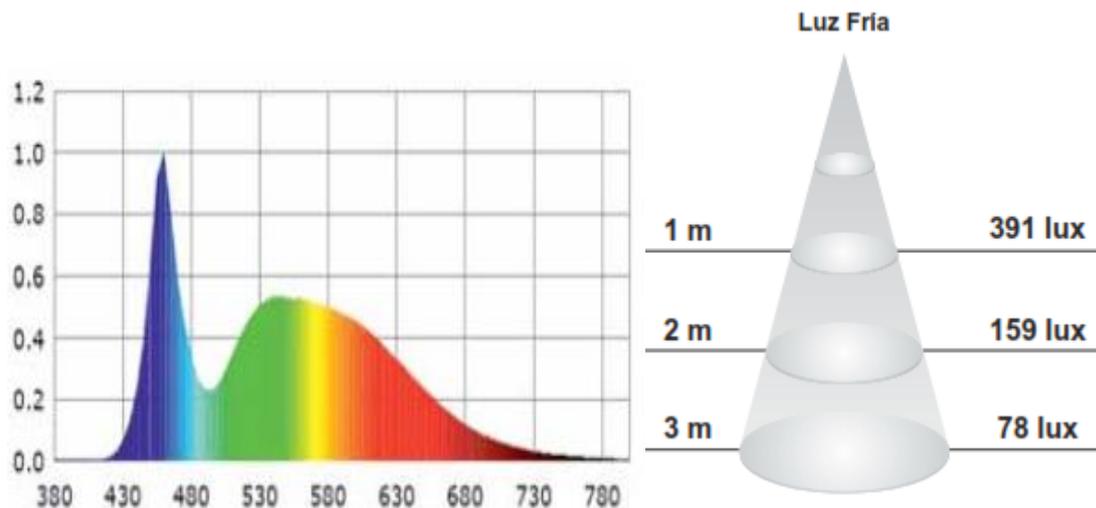


Ilustración 28 Datos fotométricos Threeline 2835SMD T833120

Los datos son extraídos de la información del fabricante de la luminaria. Para saber el flujo que tiene la lámpara, recordamos que el flujo siempre viene expresado en lúmenes (lm).

La luminaria tiene 2 lámparas, cada una de ellas con un flujo de 1.920 lúmenes. En total, el flujo de las lámparas de cada luminaria es de: $2 \times 1.920 = 3.840$ lúmenes

Determino la altura de suspensión a la que vamos a colocar las luminarias.

Generalmente, como es nuestro caso, la altura de suspensión de las luminarias para locales de altura normal será aquella que resulte de colocar las luminarias lo más alto posible:

Sin embargo, podemos tener otras situaciones, como pueden ser locales de altura elevada, en ese caso, si queremos determinar esa altura de suspensión podemos utilizar la siguiente tabla:

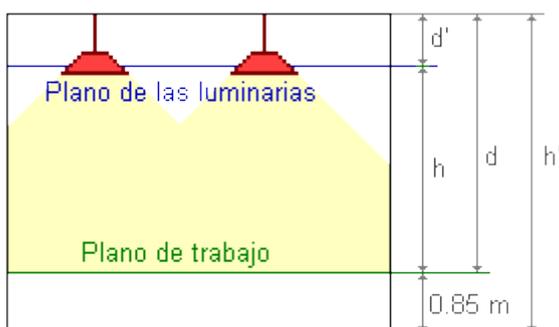
Locales con iluminación directa, casi directa y difusa:	Mínimo: $h = \frac{2}{3} \cdot (H - h')$	Óptimo: $h = \frac{4}{5} \cdot (H - h')$
Locales con iluminación indirecta	$d \approx \frac{1}{5} \cdot (H - h')$	$h \approx \frac{3}{4} \cdot (H - h')$

Tabla 12 Altura de suspensión de las luminarias en locales de altura elevada⁶

En nuestro caso, el aula es de altura normal por lo tanto colocaré nuestras luminarias lo más altas posibles, incluso empotradas, respetando el diseño actual.

Ilustración 28 Esquema de alturas del local

El esquema con las distintas alturas a las que tenemos los elementos en el aula me ayuda para visualizar los valores.



d' = altura entre el plano de las luminarias y el techo. $d' = 0$
 h = altura entre el plano de trabajo y el plano de trabajo de las luminarias.
 $h = 2,15$ m
 h' = altura del plano de trabajo al

suelo. $h' = 0,85$ m. H = altura del aula. $H = 3$ m

⁶ <http://edison.upc.edu/curs/llum/indice0.html>

Calculo el coeficiente de utilización (Cu)

El coeficiente de utilización, nos indica la relación entre el número de lúmenes emitidos por la lámpara y los que llegan efectivamente al plano ideal de trabajo. Los fabricantes de luminarias proporcionan para cada modelo unas tablas que son las denominadas tablas del factor de utilización. Este coeficiente será tanto más grande cuanto mayores sean los coeficientes de reflexión, mayores la altura y longitud y menor la altura del plano de trabajo. También influirá si el alumbrado es directo o no, pues una distribución concentrada dirigirá la luz unitariamente hacia abajo, originando que una menor proporción de luz incida en las paredes y techos, obteniendo así una considerable mejora en el rendimiento de las instalaciones.

El coeficiente de utilización, por tanto, se encuentra tabulado y es un dato que nos lo debe facilitar el fabricante (las casas comerciales más importantes habitualmente nos proporcionarán tablas, a través de su página web).

En esas tablas encontraremos, para cada tipo de luminaria, los factores de iluminación en función de los coeficientes de reflexión y el índice del local. Si no se pueden obtener los factores por lectura directa en la tabla será necesario que interpolar.

Como para deducir el coeficiente de utilización he de averiguar antes el índice del local y los coeficientes de reflexión de las superficies del aula, tendré que calcularlos antes:

a. Calculo el índice del local (k)

El índice del local (k) se averigua a partir de la geometría de este.

a = ancho; b = largo; h = altura del plano de trabajo

Sistema de iluminación	Índice del local
Iluminación directa, casi directa, directa-indirecta y general difusa	$k = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)}$
Iluminación indirecta y casi directa	$k = \frac{3 \cdot a \cdot b}{2 \cdot (h + h') \cdot (a + b)}$

Tabla 13 Cálculo del índice del local

En nuestro caso, al observar la tabla, por el tipo de luminaria que tenemos, puedo advertir que nuestro sistema es una iluminación directa (hacia abajo). Elijo la fórmula que hace referencia a una iluminación directa y sustituyo en ella los valores de nuestra aula:

$$k = \frac{6 \times 9}{2,15 \times (6+9)} = 1,67$$

b. Calculo los coeficientes de reflexión.

Teniendo en cuenta que la reflexión de la luz depende el tipo de material o superficie en el que incide, no es lo mismo que los acabados de nuestras aulas sean de un material u otro en cuanto a la luz se refiere. Los coeficientes de reflexión de techo, paredes y suelo se encuentran normalmente tabulados para los diferentes tipos de materiales, superficies y acabado.

Si no disponemos de ellos, podemos utilizar la siguiente tabla:

Coeficientes de reflexión			Factor de utilización Cu										
	Color	Factor de reflexión	Tipo de aparato de alumbrado	Índice del local k	Factor de reflexión del techo								
					0.7			0.5			0.3		
Techo	Blanco o muy claro	0.7			Factor de reflexión de las paredes								
					0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1
				1	.26	.22	.16	.25	.22	.16	.26	.22	.16
				1.2	.31	.27	.20	.30	.27	.20	.30	.27	.20
				1.5	.39	.33	.26	.36	.33	.26	.36	.33	.26
				2	.45	.40	.35	.44	.40	.35	.44	.40	.35
				2.5	.52	.46	.41	.49	.46	.41	.49	.46	.41
				3	.54	.50	.45	.53	.50	.45	.53	.50	.45
				4	.61	.56	.52	.60	.56	.52	.60	.56	.52
				5	.63	.60	.56	.63	.60	.56	.62	.60	.56
				6	.66	.63	.60	.66	.63	.60	.65	.63	.60
				8	.71	.67	.64	.69	.67	.64	.68	.67	.64
				10	.72	.70	.67	.71	.70	.67	.71	.70	.67

Tabla 14 Ejemplos de coeficientes de reflexión

Si nos falta algún coeficiente, en su defecto podemos tomar:

0.5 para el techo, 0.3 para las paredes y 0.1 para el suelo.

En nuestro caso, si sustituyo los colores que tenemos, los coeficientes de reflexión son:

Techo =0,7

Paredes (blanco)= 0.5

Suelo =0.3

Ya he establecido el índice del local ($k=1,67$) y los coeficientes de reflexión de las superficies del aula, por tanto, ya puedo averiguar el **coeficiente de utilización (Cu)**.

Tabla de corrección						
Techo		0.70	0.70	0.70	0.50	0
Pared		0.70	0.50	0.20	0.20	0
Suelo		0.50	0.20	0.20	0.10	0
k	0.6	77	58	49	48	45
k	1.0	100	77	69	67	63
k	1.5	116	91	81	80	77
k	2.5	129	100	95	90	86
k	3.0	133	103	99	93	89

Tabla 15 Cálculo del coeficiente de utilización⁷

Buscamos la tabla que nos tiene que proporcionar el fabricante en la que estén esos valores:

La lectura directa no es posible, así que tengo que interpolar:

$$(116+91+129+100)/4=436/4=109.$$

Como este valor es un porcentaje, en realidad: $Cu= 1,09$

Determino el coeficiente de mantenimiento (Cm) o conservación de la instalación:

Este coeficiente hace referencia a la influencia que tiene en el flujo que emiten las lámparas el grado de limpieza de la luminaria. Dependerá, por consiguiente, del grado de suciedad ambiental y de la frecuencia de la limpieza del local.

⁷http://www.erco.com/products/download/others/downloadaddat_3992/es/es_downloadaddat_dltut_1.php?aktion=_startseite&sprache=es&dir=27_specsheets/10_indoor_specsheet

Para determinarlo, podemos tomar los siguientes valores:

Ambiente	Coefficiente de mantenimiento (Cm)
Limpio	0.8
Sucio	0.6

Tabla 16 Cálculo del coeficiente de mantenimiento

En el aula se supone un ambiente limpio, tomo: Cm =0,8

Con todos los datos que he calculado, ya puedo calcular el flujo luminoso total necesario y para ello, aplico la fórmula:

$$\Phi_T = \frac{E_m \cdot S}{C_u \cdot C_m}$$

Ecuación 6 Definición del flujo luminoso que un determinado local o zona necesita.

Sustituyo los valores obtenidos: $\Phi_T = \frac{300 \times 6 \times 9}{1,09 \times 0,8} = 18.577,98 \text{ lm}$

El flujo luminoso total que necesito en el aula es de 18.577,98 lúmenes.

5.4.2 Cálculo del número de luminarias que son necesarias para alcanzar el nivel de iluminación adecuado

El número de luminarias, lo calculo según la ecuación:

$$NL = \frac{\Phi_T}{n \cdot \Phi_L}$$

Ecuación 7 Cálculo del número de luminarias.

$$NL = \frac{18.577,98}{2 \times 1.920} = 4,83 = \text{(Valor que se redondea por exceso)}$$

Es decir, en el aula tengo que colocar 5 luminarias con 2 lámparas cada una en su interior. Actualmente el aula tiene 6 luminarias, por lo tanto considero por extensión que el diseño de instalación de luminarias en el centro es el

adecuado y para los cálculos de potencia y energía, el número de lámparas que consideraré serán las inventariadas.

Quiero aquí hacer especial hincapié en la importancia de los coeficientes C_u y C_m . Para poder aplicar el coeficiente de mantenimiento de 0,8 se debe realizar una limpieza de luminarias, al menos, una vez al año. De igual manera, el uso de materiales y colores apropiados pueden aumentar el coeficiente de utilización.

5.4.3 Emplazamiento de las luminarias

Una vez he calculado el número mínimo de luminarias que necesitamos tengo que proceder a distribuir las sobre la planta del aula, es decir, tengo que averiguar la distancia a la que debemos instalarlas para iluminar uniformemente.

En los locales de planta rectangular, como es nuestro caso, para una iluminación uniforme las luminarias las reparto en filas paralelas a los ejes de simetría del local según las fórmulas:

$$N_{ancho} = \sqrt{\frac{N_{Total} \times a}{b}}$$

Ecuación 8 Número de filas de luminarias

$$N_{ancho} = \sqrt{\frac{6,45 \times 6}{9}} = 2,07 \approx 2 \text{ Número de filas de luminarias a lo ancho del local}$$

$$N_{largo} = N_{ancho} \times \frac{b}{a}$$

Ecuación 9 Número de columnas de luminarias

$$N_{largo} = 2,07 \times \frac{9}{6} = 3,11 \approx 3 \text{ Número de columnas de luminarias a lo largo del local}$$

a = ancho del local (en m)

b = largo del local (en m)

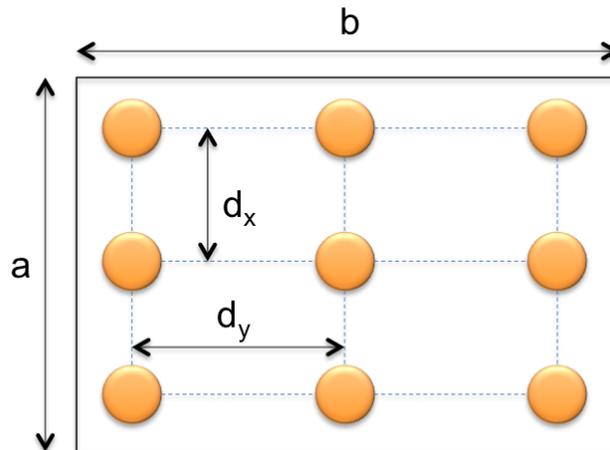


Ilustración 29 Distribución de luminarias en el aula

Es importante no olvidar que las luminarias próximas a la pared necesitan estar más cerca para iluminarla (normalmente la mitad de la distancia a la que coloquemos el resto) y que la distancia máxima de separación entre ellas dependerá del ángulo de la apertura del haz de luz y de la altura de las luminarias sobre el plano de trabajo.

Tipo de luminaria	Altura del local	Distancia máxima entre luminarias
Intensiva	>10 m	$e \leq 1.2 h$
Extensiva	6 - 10 m	$e \leq 1.5 h$
Semiextensiva	4 - 6 m	$e \leq 1.5 h$
Extensiva	≤ 4 m	$e \leq 1.6 h$

Tabla 17 Relación entre la altura del plano de trabajo y la distancia máxima entre luminarias

Cómo el aula tiene una altura ≤ 4 m, la distancia máxima entre luminarias será $e \leq 1.6 h$, es decir, deberá ser menor a 3, 44 m.

Las distancias calculadas son: a la pared 1,5 m y entre ellas 3 m. Doy por correcta esta colocación.

Si después de calcular la posición de las luminarias me hubiera encontrado con que la distancia de separación es mayor que la distancia máxima admitida querría decir que la distribución luminosa que había obtenido no es del todo uniforme. Esto podría deberse a que la potencia de las lámparas que había elegido al principio es excesiva. En esos casos, conviene rehacer los cálculos y probar a usar lámparas menos potentes, más luminarias o emplear luminarias con menos lámparas.

5.4.4 Evaluar si el número de luminarias calculado es el correcto.

Comprobar los resultados significa comparar la iluminancia media que hemos obtenido en la instalación diseñada y establecer si es igual o superior.

$$E_m = \frac{NL \times n \times \Phi_L \times C_u \times C_m}{S} \geq E_{tablas}$$

Ecuación 10 Comprobación del nivel de iluminancia media

$$E_m = \frac{6 \times 2 \times 1.920 \times 1,09 \times 0,8}{6 \times 9} = 372,05 > 300 \quad \text{Cumple}$$

Al cumplir el nivel de iluminancia media significa que el número de luminarias que he propuesto es correcto.

6. ESTRATEGIAS DE ACTUACIÓN EN ILUMINACIÓN EN EL IES LA GRANJA

Realizadas las anteriores consideraciones, cálculos y presentadas las tecnologías actuales, planteo una serie de propuestas que pueden mejorar las condiciones de iluminación a la vez que son capaces de reducir su consumo energético.

Dentro del abanico de posibilidades existentes, y dado el uso al que se someten los distintos espacios, distingo varias estrategias para abordar las mejoras para instalación de iluminación, que se escalonan dependiendo del ámbito de actuación en el que se realiza, la inversión propuesta y el tipo de autonomía de la instalación. Pensando en el grado de control, autonomía y coste de la inversión necesaria hablaré de gestión básica de sala, de gestión de zona y de sistema centralizado de control del edificio.

Así mismo, los objetivos de todas y cada una de estas propuestas pueden resumirse en las siguientes premisas, independientemente del nivel jerárquico del control:

- ✓ Flexibilidad de uso
- ✓ Ahorro de energía
- ✓ Cumplimiento de la normativa
- ✓ Confort del usuario
- ✓ Características lumínicas acordes al uso propuesto, bienestar y facilidad de mantenimiento
- ✓ Compromiso y búsqueda de ahorro energético de edificios públicos administrativos

6.1 SOLUCIONES BÁSICAS: INDEPENDIENTES PARA SALA O PEQUEÑO GRUPO DE LUMINARIAS

Bajo esta denominación, incluyo aquellas propuestas capaces de reducir inmediatamente el consumo energético de luminarias con la simple instalación de detectores de presencia y/o fotocélulas, mejora de luminarias, cambio de

tecnologías de lámparas existentes por otras más modernas y eficientes, así como su combinación con equipos electrónicos, cuando proceda. Estas actuaciones suponen medidas de bajo coste de inversión con elevados ahorros energéticos.

La instalación de detectores de presencia permitirá el encendido de las luminarias de aseos, escaleras y pasillos, siempre y cuando estas zonas sean ocupadas, evitando permanecer iluminadas innecesariamente. Esta opción puede ser aplicada en despachos.

El grado de autonomía de la instalación es elevado, consiguiendo grupos de luminarias independientes a la orden manual cuya acción queda definida en mantener unos niveles de iluminancia adecuados al momento.

Las medidas más avanzadas combinan las posibilidades anteriores con la posibilidad de generación de escenas (iluminación variable según distintos usos de una misma sala) y alumbrado dinámico, capaces de generar una mayor calidad en las instalaciones de iluminación y bienestar a los usuarios con un parecido ahorro energético al de las soluciones básicas. Para que estas medidas sean económicamente rentables deben de realizarse para mayores instalaciones que las consideradas aquí y deberían tenerse en cuenta sobremanera, para nuevas edificaciones.

Tal y como he comentado anteriormente, se encuentra una importante potencia instalada en tubos fluorescentes, en torno a 49 kW. La propuesta que voy a estudiar es la sustitución de estos por tecnología LED.

Los fluorescentes instalados presentan ratios de eficiencia sobre 70 Lm/W, mientras que los tubos LED propuestos son de 110 Lm/W, de esta manera, el mismo flujo luminoso se consigue con una fluorescente de 36 W que un tubo LED de 23 W.

Además, se presenta la ventaja de poder realizar esta propuesta progresivamente cuando los anteriores se van fundiendo. Así mismo, la sustitución de una lámpara por otra es casi inmediata pues se pueden utilizar las mismas luminarias a expensas de eliminar la reactancia y conectar directamente a 220 V.

Quiero remarcar el importante ahorro energético previsto con la importante reducción del consumo superior al 50%.

El significativo aumento de la vida útil, de las 15.000 horas del fluorescente con balastro convencional a las 40.000 horas del tubo LED genera un importante ahorro económico por adquisición y sustitución de las unidades fundidas que tendré en cuenta en los cálculos realizados.

La empresa de Santander Hervaluz, suministradora de material eléctrico, me ha proporcionado información sobre la tecnología LED que ahora está disponible. Además he adquirido dos tubos led Threeline de 17 W y dos medidores eléctricos instantáneos. Con todo ello, además de dos fluorescentes led Philips TLD Eco de 32 W, he montado este panel para poder realizar mediciones de consumos reales e iluminancia.



Ilustración 30 Medición de consumos e iluminancia. Fotografía propia

Cómo media, estos tubos LED, conectados directamente a 220, consumen un 10% más de lo indicado en la Ficha Técnica y los fluorescentes con balastro electromagnético un 20 % más.

Con relación a la iluminancia y tras hacer varias mediciones con el luxómetro PCE 172 en planos paralelos a 1, 2 y 3 m. de distancia de la lámpara LED, considero válidos los valores que recoge la Ficha técnica.

Como la oferta de lámparas LED está mejorando constantemente, en el último mes he podido conocer la serie LED de Roblan T818330F y la T89. Esta lámpara es la que utilizaré para los cálculos de mi propuesta. Las mejoras

encontradas con relación a los tubos Threeline son, que emite en 330°, el tubo es de cristal y el flujo luminoso es de 1.980 lm.

LEDT818330F



Datos Técnicos. *Technical Data* LED Tube 1200mm 18W 4100K 1980LM 4100K 330°

Características Generales. *General Characteristics*

Casquillo. <i>Base</i>	G13
Vida Media. <i>Rated Lifetime</i>	40000h
Protección. <i>Protection (IP)</i>	IP 44
# de Encendidos. <i>Switching Cycles</i>	>25000

Info. Eléctrica. *Electrical Info*

Vatios. <i>Wattage</i>	18 W
Voltage. <i>Voltage</i>	180-260 V
Regulable. <i>Dimmable</i>	no
Factor Potencia. <i>Power Factor (A)</i>	≥0.90

Info. Luminica. *Light Technical Info*

Flujo Luminoso. <i>Luminous Flux</i>	990Lm
Temp. Color.	4100K
Color Luz. <i>Light Color</i>	Luz Fria-Cool White
Color Rendering Index (CRI)	≥80
Ángulo Apertura. <i>Beam Angle</i>	330°

Datos Medioambientales. *Environmental Data*

Eficiencia Energética. <i>Energy Efficiency</i>	A+
Niveles de Mercurio. <i>Mercury Levels</i>	0

Otras Especificaciones *Other Specifications*

Luz uniforme sin espacios negros. Buena emisión de calor: incorpora un gel de silicona con alta conductividad termal. Baja decadencia luminica y alta consistencia de color

Ilustración 31 Datos técnicos LED Roblan T818330F

A la hora de realizar los cálculos, el coste material de la propuesta para la sustitución de todos los fluorescentes los detallo en la tabla siguiente:

Lámparas	Unidades	Coste unidad	Total
LEDT818330F	1084	12,97 (IVA inc.)	12.224,48 €
LEDT809330F	112	8,85 (IVA inc.)	951,35 €
TOTAL			13.175,83 €

Tabla 18 Coste del material de la propuesta

A este total habría que añadir 2.178 € IVA inc. en concepto de mano de obra ya que no sólo hay que cambiar unos tubos por otros sino que es necesario

eliminar las reactancias. He considerado que la intervención supondría aprox. 60 horas.

Como aclaración indicaré que incluir el IVA en los cálculos supone tener una visión real del gasto ya que para la administración no existe ninguna compensación por este concepto.

Para determinar el cálculo del ahorro energético total, he considerado una utilización específica para cada una de los espacios, según los usos y los patrones de consumo detectados. También he tenido en cuenta las pérdidas por balastos de un 20% y las pérdidas de los tubos LED que he medido con la práctica en el taller de un 10%. Así mismo, englobo los costes de adquisición y reposición de las unidades fundidas, dado el aumento de la vida de las lámparas, denominado ahorro mantenimiento.

Para el cálculo del ahorro energético he tenido en cuenta un histórico de las últimas 12 facturas de electricidad. En ellas se refleja que en el periodo llano se consume el 40% y los periodos punta y valle un 30 % respectivamente, del total. Teniendo en cuenta la nueva situación del IES, como hipótesis, a expensas de obtener las medidas reales y que se consiga la división de ambos centros, yo contemplaré que el consumo de energía eléctrica en el IES con la tecnología fluorescente se realiza el 100% en periodo llano.

Cálculos energético-económicos	Aulas y Biblioteca	Salón de actos	Pasillos	Aseos y almacenes	Departamentos y despachos	Total
Potencia actual fluorescentes (W)	31.284	936	5.004	1.440	2.880	41.540
Pérdidas del 20% Balastos						8.308
Horas uso año (h)	1.200	600	600	400	1.000	
Potencia LED (W)	15.642	468	2.502	720	1.440	20.772
Pérdidas 10%						2.077,2
Ahorro energético (kWh/año)	18.770,4	280,8	1.501,2	288	1.440	26.998,8
Ahorro consumo (€/año)	2.012,33	30,10	160,94	30,88	154,38	2.894,54
Ahorro mantenimiento (€/año)	104,28	3,12	16,68	4,8	9,6	138,48
Ahorro TOTAL (€/año) IVA e IE inc.						3.848,86

Tabla 19 Cálculos del ahorro energético- económico. Usos de la iluminación

Para el cálculo de los ahorros de mantenimiento he considerado que la vida de los fluorescentes que ahora están instalados será de 10.000 horas y los tubos

LED de 30.000 horas porque aunque la Ficha Técnica indique 40.000 prefiero hacer los cálculos con el principio de cautela. En ese periodo y dependiendo de las horas de uso que he estimado, las fluorescentes deberán ser cambiadas 3 veces de media frente a 1 vez los tubos LED. A precio actual de mercado, estaríamos hablando que el coste de adquisición repercutiría anualmente prácticamente igual y sólo afectaría el coste de la mano de obra para realizar los cambios. He considerado que en 1 hora se cambian 20 fluorescentes y que el precio de la hora es de 30 €.

Con relación al término de potencia, considero un ahorro del 75%.

Cuando se realice la separación de la acometida del CIFP y del IES, de continuar con un alumbrado de fluorescentes, la potencia contratada debería ser aproximadamente de 25 kW, pero en el caso de realizar el cambio a tecnología LED se podría contratar 15 kW. Esto supondría un ahorro anual de 1.216,11 € que habría que añadir al total anterior.

El impacto ambiental de nuestra electricidad depende de las fuentes de energía utilizadas para su generación. En una escala de A a G, donde A indica el mínimo impacto ambiental y G el máximo y que el valor medio nacional corresponde al nivel D, la energía comercializada por Endesa en el mes de mayo del presente año, como así queda reflejado en la factura del mismo periodo (Anexos), tiene los siguientes niveles:

- ✓ Contenido de carbono: kg de dióxido de carbono por kWh 0,28/ media nacional 0,27
- ✓ Residuo radioactivo: Microgramos por kWh 0,60/ media nacional 0,58

Medida	Ahorro energético (kWh/año)	Ahorro económico (€/año)	Ahorro emisiones kgCO ₂ /año	Ahorro µg residuos radiactivos/año
Sustitución de las fluorescentes y balastros del IES La Granja por tubos LED	26.998,8	5.064,97	7.559,66	16.199,28

Tabla 20 Sostenibilidad de medida

Me resta definir el retorno de la inversión propuesta.

$$\text{Amortización simple} = \frac{13.175,83}{5.064,97} = 2,6; \text{ 2 años y 8 meses.}$$

Este periodo de retorno de la inversión convierte a esta propuesta en una inversión muy interesante desde el punto de vista económico.

Otra consideración importante, además del elevado consumo, es el hecho de mantener encendidas todas las luminarias de pasillos, aseos, departamentos, despachos y distribuidores aun cuando las condiciones de iluminación natural exterior son las adecuadas para apagarlas.

Para minimizar este hecho, recomiendo evitar toda acción manual de pulsadores en favor de sistemas autónomos en la medida de lo posible, tal es el caso de instalar detectores de presencia.

De los diferentes modelos he analizado el detector de movimiento de techo Dinuy DM TEC 001 (Ficha técnica en el Anexo) que tiene una cobertura de 360° en un diámetro de 7 m a 2, 5 m de altura. En el caso de iluminación Led admite 1.300 W y su consumo es menor de 1 W.

Teniendo en cuenta las necesidades, con 20 unidades podríamos cubrir los espacios antes indicados. El precio neto dado por el comercial es de 36, 20 €.

Si considero que con esta tecnología se puede reducir el consumo un 50 %, el retorno sería de 3 años y medio con lámparas LED y de un poco menos de dos años con las fluorescentes actuales.

Cálculos energético-económicos	Pasillos	Aseos y almacenes	Departamentos y despachos	Total
Potencia actual fluorescentes (W)	5.004	1.440	2.880	9.324
Pérdidas del 20% Balastos				1.864,8
Horas uso año (h) (-50%)	300	200	500	
Potencia LED (W)	2.502	720	1.440	4.662
Pérdidas 10%				466,2
Ahorro energético F (kWh/año)				11.188,8
Ahorro energético Led (kWh/año)				5.128,2

Tabla 21 Cálculos del ahorro energético. Usos de la iluminación parcial

	Fluorescentes	Led
Ahorro consumo (€/año) IVA e IE inc.	1.525,62	699,25
Coste de 20 detectores y colocación	2.328	2.328
Amortización	1 año y 7 meses	3 años y 5 meses

Tabla 22 Retorno simple de la instalación de 20 detectores

Para concluir con este punto y a modo resumen, la propuesta de cambio de tecnología fluorescente a Led según especificaciones y la colocación de 20 detectores queda abalada técnicamente y económicamente.

6.2 SOLUCIONES INTEGRALES DE CONTROL EN LOS EDIFICIOS

El control global de toda la instalación podría realizarse a través del sistema *Light Master Modular* de la casa comercial Philips, existiendo otras soluciones equivalentes en el mercado.

El sistema de gestión del alumbrado *Light Master Modular*, de aquí en adelante *LMM*, se diseña como opción más completa, autónoma y flexible que puede instalarse a nivel de edificio consiguiendo ahorros energéticos muy importantes, según la información comercial que ellos proporcionan. El método de instalación de los elementos, la actualización, reconfiguración del sistema y aumento de la calidad en los equipos electrónicos garantizan una mayor vida útil de la tecnología instalada, garantizándose un ahorro energético durante todo el uso del edificio.

Representa la opción completa para control y regulación que satisface de manera más que satisfactoria los requisitos de ahorro y eficiencia energética establecidos en la Sección HE-3 del CTE.

LMM posibilita un funcionamiento, bien conmutación de encendidos/ apagados, o bien combinación de conmutación y regulación. Así mismo, el funcionamiento de las luminarias puede ser gobernado por la acción de pulsadores de pared y/o controladas por sensores. Para un funcionamiento adecuado de la instalación y potenciar las posibilidades de monitorizar el estado de cada luminaria, realiza cálculos energéticos mediante software.

Los elementos principales que conforman una instalación centralizada de control para distintos espacios, con detectores de presencia y/o receptores de infrarrojos, pulsadores, multisensores, etc, son los siguientes:

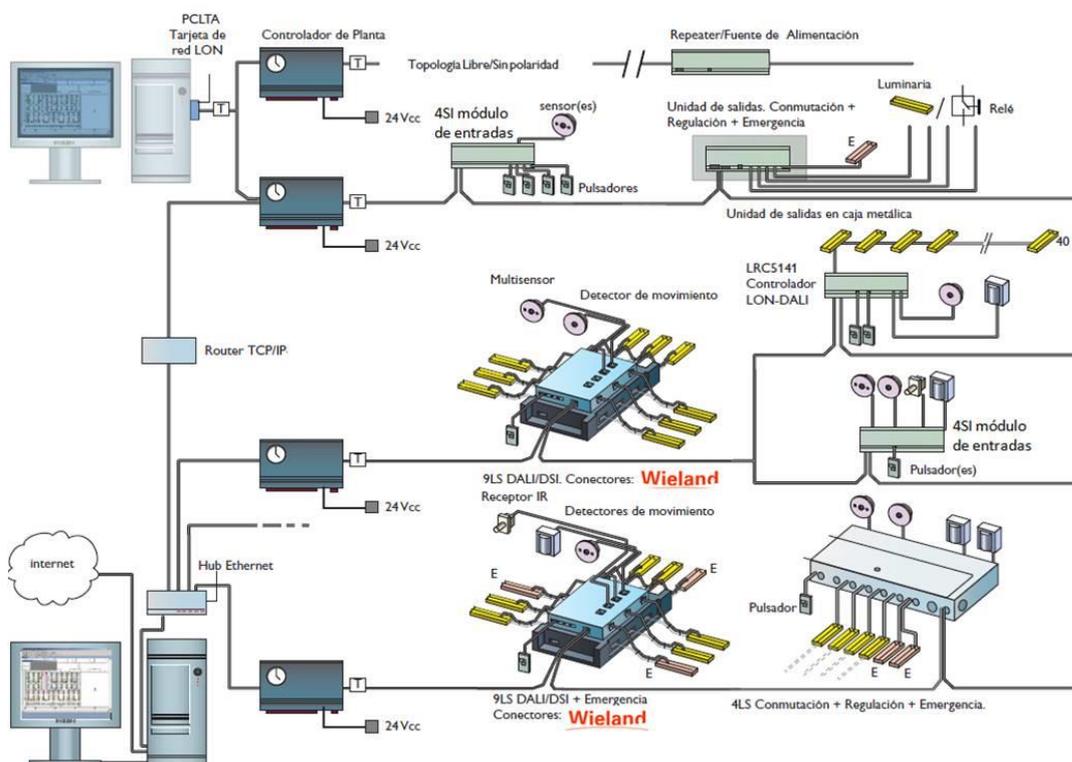


Ilustración 32 Sistema de control centralizado en edificio

Consultados precios de los elementos necesarios para este sistema y el coste de la intervención me hace pensar que el retorno sería muy alto y no recomendable de momento, para instalaciones antiguas y Colegios e Institutos de Educación Secundaria, como es en este caso. Sin embargo es un sistema

que se debería tener en cuenta en las nuevas instalaciones y reformas integrales de los Centros de enseñanza.

6.3 NUEVAS OBRAS

Consultada la Consejería de Educación, Cultura y Deporte de Cantabria sobre las prescripciones técnicas que la administración incluye en los pliegos para la contratación de proyectos de construcción y reformas de Centros de enseñanza concernientes a iluminación me han respondido que “las normas que se aplican son el Reglamento electrónico de BT y el código técnico de la Edificación. Los pliegos se suelen remitir a estas normas”.

Sin embargo y como ejemplo, en el pliego de prescripciones técnica de 2013 que rigió la contratación de la redacción del proyecto y dirección de las obras de construcción del nuevo Instituto de Educación Secundaria obligatoria en Ezkaba, Pamplona, el apartado 5.15 referente a la instalación de iluminación, recogió ampliamente y con detalle los pormenores de un sistema eficiente y se contempla el control centralizado.

Por todo ello considero importante incluir esta información en este trabajo.

“5.15. Instalación de Iluminación

1) Condiciones generales de diseño.

*Se aprovechará al máximo las **posibilidades de luz natural**, aunque **evitando deslumbramientos y reflexiones molestas** tanto en las aulas como en despachos.*

*La **iluminación**, tanto natural como artificial, será la **apropiada para realizar las actividades escolares** como lectura, escritura, dibujo, pintura, manualidades, etc, de forma que las características de las lámparas o situación de ventanales no produzcan distorsión en los colores, sombras u otras anomalías.*

*Las instalaciones de iluminación serán **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**, en las zonas que reúnan unas determinadas condiciones.*

Se proyectará una **sectorización de encendidos** de iluminación, posibilitando encendidos **a 1/3, 2/3 y total**. (Encendidos a través de sensor de presencia para limpiezas nocturnas o zonas poco comunes y en los aseos).

Se puede utilizar como documento de apoyo la “Guía Técnica de Eficiencia Energética en Iluminación. Centros docentes” editada por Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), siempre con el criterio de ahorro energético y sostenibilidad.

Debe de integrarse dentro de un sistema de Gestión y Control de las instalaciones mediante Ordenador.

Los niveles mínimos de iluminación serán los definidos en la tabla 1.1 de CTE-DB-SU4

Son valores aceptables, los parámetros definidos en:

- _ UNE-EN-12464-1.2003 iluminación en los lugares de trabajo en interiores
- _ Guía técnica para la prevención de riesgos que adopta la norma EN-12464
- _ Norma UNE EN 12193 Alumbrado de Instalaciones deportivas
- _ Norma UNE 72112 Tareas visuales. Clasificación
- _ Norma UNE 72163 Niveles de iluminación, asignación de tareas

2) Regulación y control.

En cabina de control (conserjería) existirá un panel con la centralización de encendidos de los diferentes circuitos correspondientes a las zonas comunes como vestíbulo, pasillos, escaleras, etc. **CONTROL CENTRALIZADO mediante ordenador.**

Las **zonas de uso esporádico** (aseos, vestuarios, etc.) dispondrán de un control de encendido/apagado por **sistema de detección de presencia**.

Las **aulas** dispondrán de sistema de **encendido/apagado manual, en varios puntos**.

Se instalará un **sistema de aprovechamiento de la luz natural** en la primera línea de luminarias situadas a menos de 3m de las ventanas. **El sistema permitirá un ajuste progresivo, que en función de la luz natural incidente permita obtener el nivel de iluminación prefijado.**

3) Luminarias.

*La iluminación interior del centro se realizará mediante equipos de fluorescencia de reactancias electrónicas y con pantallas de acero esmaltado con balasto electrónico situados a una **altura mínima de 2,50m.***

Evitarán el deslumbramiento y dispondrán de pantallas y reflectores adecuados.

Se utilizarán lámparas fluorescentes y/o de bajo de consumo y alto rendimiento.

La iluminación de la sala de calderas, vestuarios, aseos, sótanos y en general en los locales que así lo requieran, se realizará con equipos estancos.

En los locales que así lo requieran por normativa, se instalarán luminarias y emergencias antideflagrantes.

La iluminación del gimnasio se realizará mediante luces de proyección protegidas. Serán de halogenuros metálicos, de sodio blanco, o de otro tipo que ofrezca una buena reproducción cromática.

Se preverán protecciones de las luminarias situadas en espacios de circulación de personas y en las cocinas y comedores.

*En las aulas se instalarán interruptores diferentes para luminarias próximas a las fachadas e interiores para poder aprovechar luz natural. También se dispondrá de **iluminación específica para las pizarras mediante pantallas de reflector esférico asimétrico.***

*Los **niveles luminosos** de los diferentes espacios son los siguientes, según UNE*

*12464.1: 12464.1”.....“**En las zonas comunes se preverán tres encendidos diferentes. Uno de los tres encendidos será un 15% de la iluminación general y servirá como alumbrado de socorro.***

Los elementos de aparatos de iluminación cumplirán las especificaciones establecidas por las normas UNE y serán fácilmente limpiables.

Las instalaciones de iluminación especial, de emergencia y señalización se realizarán de acuerdo a lo establecido en el DB SI (Seguridad en caso de

Incendio) del CTE. Se realizarán mediante aparatos autónomos que iluminen los locales y las vías de comunicación o de evacuación hasta las salidas.

La iluminación de señalización indicará permanentemente la situación de las puertas, los pasadizos, las escaleras y las salidas de los locales.

Se preverá iluminación permanente en el exterior de las puertas de ascensores y en el interior de la caja del ascensor.

Se valorará la contribución a la difusión técnica y componentes para la mejora de la Eficiencia Energética en instalaciones de iluminación, como las propuestas por el IDEA (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía) y el Comité Español de

Iluminación (CEI) en su Guía Técnica de Eficiencia Energética en Iluminación para Centros Docentes.”⁸

⁸ PLIEGO DE PRESCRIPCIONES TÉCNICAS PARA LA REDACCIÓN DEL PROYECTO Y DIRECCIÓN DE LAS OBRAS DE CONSTRUCCION DEL NUEVO INSTITUTO DE EDUCACION SECUNDARIA OBLIGATORIA EN EZKABA (PAMPLONA).Pág. 23

7. PLAN ENERGÉTICO

El análisis y evaluación de la mejora energética del sistema de iluminación de un Centro educativo se debería concebir como una de las parte importantes del Plan Energético en Centros escolares. (Mirón Peña, 2008)

Un Plan Energético es un proceso en el que, a través de la participación de toda la comunidad educativa:

1. Se reestructura, implementa y coordina “La Energía” en el currículo escolar a través de los contenidos específicos en las áreas de Biología, Física y Química y Tecnología. Y transversalmente en el resto de las áreas. En educación primaria se abordará en el tercer ciclo a través de la asignatura: conocimiento del medio.
2. Se realiza un diagnóstico valorando los hábitos y actitudes de la comunidad educativa y la gestión, uso y eficiencia de las instalaciones energéticas.
3. A partir del diagnóstico, se decide un plan de acción.
4. Se promueven una serie de actuaciones tendentes a la eficiencia y ahorro energético en el Centro.
5. Por extensión se llevan estas acciones a los hogares de los miembros de la comunidad educativa y al resto de la población.

Los objetivos generales del Plan Energético serán:

1. Reducción de las emisiones de CO₂.
2. Reducción del consumo energético del Centro. Ahorro cuantificable en dinero.
3. Reducción del consumo en los hogares. Ahorro cuantificable en dinero.
4. Extrapolar la experiencia al resto de la Administración General de la Comunidad Autónoma de Cantabria y sus Organismos Públicos Dependientes.
5. Mejorar los hábitos de uso de la energía en el Centro Escolar y en el hogar.
6. Integrar “La Energía” en nuestra vida, desde el conocimiento.
7. Educar en valores ambientales y de compromiso social.
8. Fomentar la participación activa de la comunidad educativa.

La consecución de los objetivos se realiza a través de un proceso en el que se desarrollan aspectos:

EDUCATIVOS:

- ✓ Información acerca de los beneficios y las consecuencias del uso de la energía.
- ✓ Promover actitudes de consumo responsable de la energía.
- ✓ Fomentar la capacidad de compromiso de cada persona y trasladarlo a otras esferas de la vida (familia).
- ✓ Impulsar el trabajo en equipo
- ✓ Potenciar el valor de la cooperación en los Centros, en la localidad, incluso internacional, con un objetivo común.

SOCIALES:

- ✓ Difundir el problema del consumo de energía y cambio climático, mediante la comunicación ambiental desde los centros a toda la sociedad.
- ✓ Que el ciudadano participe y se involucre conscientemente en la necesidad de adoptar hábitos de control en su domicilio, tanto en lo referente al consumo energético directo, como a la reducción de la huella ecológica en la cesta de la compra.
- ✓ Trasladar la experiencia del Plan Energético al resto de la Administración General de la Comunidad Autónoma de Cantabria y sus Organismos Públicos Dependientes.

AMBIENTALES

- ✓ Conseguir efectos directos positivos en el medio ambiente por acciones realizadas en la comunidad educativa, en definitiva: reducir las emisiones de CO₂ de los Centros Escolares
- ✓ Cada centro debe fijar sus propios objetivos, fácilmente asumibles aunque presenten un reto importante.

7.1 CARACTERÍSTICAS DEL PLAN

El centro debe asumir la elaboración del Plan Energético entre sus actividades educativas. Este proceso se incluirá en el Proyecto Educativo de Centro y en el

Proyecto Curricular de Centro y su elaboración en la Programación General Anual. El proyecto se presentará para su concreción en la Comisión de Coordinación Pedagógica, en el Claustro para su aprobación y en el Consejo Escolar para su difusión.

7.1.1 Quienes intervienen en el Plan

El Plan será multidisciplinar, y en él participarán los representantes de todos los ámbitos de la comunidad educativa: la dirección, el profesorado, el alumnado, el personal no docente, miembros de asociaciones de padres y madres y si es posible, ayuntamiento y grupos sociales diversos (ONG, Asociaciones,...).

Estos grupos, además de formar parte activa del Comité Energético, tendrán funciones concretas como por ejemplo:

El profesorado será quien dirija, coordine y promueva el desarrollo del Plan Energético en el aula y en el centro. El profesorado debe conjugar un proceso de participación y un proceso educativo en valores. Es además responsable de integrar el tratamiento de la energía en el proyecto curricular según establezca el Decreto y el Comité Energético.

El alumnado como eje del proyecto, serán los verdaderos protagonistas. La Comisión Energética se reunirá periódicamente con la asociación de alumnos, actividad que servirá para dinamizar este colectivo. Basándose en la ayuda y datos que le ofrezcan el resto de grupos, tendrá que investigar, proponer acciones de mejora, objetivos a lograr y finalmente deberá comprometerse a conseguir esos objetivos.

El personal no docente, como conserjes o personal de secretaría, mantenimiento y limpieza, serán quienes faciliten los datos para la investigación que realizará el alumnado en grupos de trabajo. Finalmente se ocupará de llevar a cabo las propuestas de mejora que correspondan a sus funciones, y estará, a través de la CCP, coordinado con el Comité Energético.

Tanto el ayuntamiento como la dirección del centro, se ocuparán de apoyar y facilitar recursos para poder llevar a cabo el plan energético, comprometiéndose a adoptar en la medida de lo posible las actuaciones de mejora o medidas correctoras que se propongan.

La implicación de la familia es deseable y muy importante: cualquier norma de conducta a fomentar en la escuela debería también reforzarse desde casa.

Y por último, la Consejería de Educación, Ayuntamiento, las asociaciones, grupos ecologistas, etc. colaborarán apoyando las actividades que se realicen a lo largo de todo el proceso del plan energético, y participando en el Comité Energético del centro.

7.1.2 Comité Energético del Centro

El Comité Energético se encargará de la elaboración del Plan Energético de centro y será el motor de desarrollo del Plan. Estará formado por tres profesores, coordinador del Comité y dos vocales. El coordinador y los vocales tendrán una hora lectiva semanal en su horario, encaminada a posibilitar una reunión semanal de coordinación. El tiempo y la dedicación necesaria para la elaboración del plan, sus documentos y el resto de obligaciones que iremos viendo se compensará habilitando un complemento económico mensual y por año de pertenencia al Comité.

El profesorado del centro que quiera integrarse en el proceso se presentará voluntariamente y/o será designado desde dirección. En muchos centros ya existen profesores que han demostrado su interés y han participado en programas, campañas, cursos relacionados con la sostenibilidad y se trata de que entren a formar parte de este grupo reglado. Se recomienda que sean los Departamentos de Biología, Física y Química y Tecnología, pudiendo ser otros los involucrados en secundaria y los profesores de tercer ciclo en primaria.

Para aprovechar la dinámica organizativa de los centros, el responsable del Comité será un Jefe de Departamento y coordinará todas las labores con la CCP y uno de los vocales será miembro del Consejo Escolar. De esta forma imbricamos el Comité Energético con la CCP y el Consejo Escolar.

Serán los responsables de incorporar al proyecto curricular y al proyecto educativo de centro el Plan Energético.

7.1.3 Cometidos del Comité Energético del Centro

- ✓ Promover el conocimiento del ciclo de la energía y de la problemática del cambio climático, asegurando su integración curricular.
- ✓ Promover el conocimiento de la situación energética del centro.
- ✓ Dar a conocer el proceso de la elaboración del Plan a toda la comunidad educativa.
- ✓ Definir el ámbito de aplicación del plan.
- ✓ Crear grupos de trabajo para llevar a cabo las diferentes actividades.
- ✓ Proponer temas, acciones para esos grupos.
- ✓ Recopilar y organizar toda la información recogida a través del diagnóstico.
- ✓ Proponer los objetivos del plan energético.
- ✓ Recibir las propuestas de planes y determinar el tipo de acciones que se van a llevar a cabo.
- ✓ Coordinar y realizar el seguimiento y evaluación del programa.
- ✓ Informar sobre los resultados obtenidos en las distintas fases a lo largo de todo el programa.
- ✓ Llevar un registro de las reuniones que realice el Comité para facilitar el análisis del proceso al realizar la evaluación final del mismo.
 - El Comité Energético asistirá durante el mes de Octubre a un curso de formación de 20 horas que tendrá lugar en IES cabecera de zona y a donde acudirán los integrantes de todos los centros adscritos a esa zona. Posteriormente se contará con asesoramiento constante de la Agencia Cántabra de la Energía y/o SODERCAN.
- ✓ Se encargará de la difusión de las actividades desarrolladas por el Plan, especialmente entre el alumnado y los padres y madres, pero también entre otros entes sociales ligados al centro, como puede ser el ayuntamiento, asociaciones culturales, grupos ecologistas,...

Son las personas encargadas de la difusión interna y externa del Plan y de conseguir el apoyo de todos para su realización.

7.2 FASES DEL PLAN ENERGÉTICO

Para que esta iniciativa de plan tenga éxito, además de estar regulada por el marco legislativo correspondiente que establecerá casi todos los pormenores del Plan Energético, deberá existir un compromiso del equipo directivo, nacido del conocimiento y de la sensibilización en los temas relacionados con la sostenibilidad y estar acompañada del apoyo y complicidad del mayor número de miembros de la comunidad educativa.

Dentro del Plan Energético del centro escolar podemos diferenciar dos partes. La primera parte de elaboración del plan, que se desarrollará durante un primer curso en la que el centro tendrá como objetivo definir a través del diagnóstico unos planes de acción para conseguir los objetivos de ahorro planteados.

La segunda parte del Plan será la aplicación de los planes de acción propuestos. Esta fase se desarrollará en los cursos siguientes.

En el caso de Cantabria, la Sociedad para el Desarrollo (SODERCAN) que promociona y gestiona el ahorro y la eficiencia energética o bien otra nueva figura como la Agencia Cántabra de la Energía sería quien se encargue de marcar las pautas de acción, establecer los plazos, coordinar, controlar, evaluar, aprovechar las sinergias, elaborar los materiales, supervisar los planes, proporcionar recursos, etc.

Es impensable que cada centro deba arrancar en blanco con un plan energético y establecer acciones y llevarlas a cabo sin poner en común y poder utilizar el conocimiento y la experiencia de todos y entre todos.

En cualquier fase del Plan, tanto en su diseño como en su desarrollo, la sensibilización, difusión y evaluación deberán ser procesos continuos y participativos.

7.2.1 Sensibilización

La sensibilización, hoy por hoy, es un término bastante desgastado dentro de las fases de cualquier proyecto. Se ha usado en exceso con escaso contenido y vaciándolo de importancia, pero no por ello hemos de pasarlo por alto, más cuando es vital para el éxito de cualquier Plan novedoso.

Será importante promover las acciones que proponen el marco legal y todas aquellas que procedan del ámbito del centro, en particular, con el propósito de sensibilizar a toda la comunidad. De esta manera este plan será, además de un nuevo contenido curricular, un referente de comportamiento diario.

El proceso de sensibilización e información lo llevará a cabo el Comité Energético, y deberá dirigirse a todos los sectores de la comunidad que vayan a participar, creando para ello actividades específicas en cada caso. Esta fase no lleva una temporización dentro del Plan Energético sino que se mantiene a lo largo de todo el proceso.

El primer paso para conseguir sensibilizar y concienciar es INFORMAR a toda la comunidad educativa y al entorno del centro sobre la participación en el Plan Energético. Como no se puede acceder a todos los colectivos de la misma manera, se deberán seguir distintas estrategias.

Es importante inicialmente llamar la atención, crear expectación ante un nuevo proyecto.

La sensibilización del alumnado dependerá del nivel formativo, pero en cualquier caso, sería conveniente que todas las actividades comenzasen el mismo día, para que de forma simultánea impactaran y en todo el centro se hablara de energía al mismo tiempo.

Finalmente, se les debe explicar que forman parte del proyecto que va a desarrollar su centro, y que sin duda alguna ellos son la clave y la parte más importante para que éste se pueda llevar a cabo correctamente. Como hecho relevante se presentará el Plan a los Delegados y Delegadas de clase en el Salón de Actos, incentivando su participación a través del equipo directivo, Dpto. de Orientación y del Comité Energético donde se les mostrará los mecanismos para que participen en todo el proceso de elaboración y ejecución del Plan Energético del Centro.

Algunas actividades de sensibilización

- ✓ Diseñar el Logo y un eslogan del Plan Energético. Concurso entre el alumnado.
- ✓ El apagón.
- ✓ Juego sobre "La Energía".

- ✓ Marea Negra.
- ✓ La energía que utilizaban nuestros mayores.
- ✓ Impacto de los edificios modernos en la persona y el medio ambiente.
- ✓ Visita a instalaciones de Energías Renovables.

Con relación a la sensibilización de padres/madres, en la reunión de inicio de curso se les explicará el proceso que se ha iniciado en el centro escolar de elaboración del Plan Energético. Como no es una reunión a la que asistan mayoritariamente los padres, se tienen que utilizar cualquier otra oportunidad de contacto entre estos y el centro.

Para motivar su interés se les entregará, a través de sus hijos, una hoja que lleve una pregunta que les haga reflexionar sobre la energía y su consumo. Se les puede indicar que deben comentarla con los hijos e hijas. Al cabo de una semana se los debe enviar información referente al proyecto que se va a desarrollar y se solicitará su colaboración.

Por último, a toda la comunidad educativa:

- ✓ Realizar o visitar una exposición sobre energía. Esta deberá hacerse coincidir con el primer trimestre del curso escolar y será de ámbito regional y en colaboración con la Consejería de Medio Ambiente.
- ✓ La web del centro escolar es una buena herramienta para informar sobre la participación en el proyecto de elaboración del Plan Energético, entre padres y madres, alumnado y otras personas relacionadas con el centro. A través del correo electrónico se puede hacer llegar toda la información sobre el proyecto a todo el profesorado.

Al concluir la explicación e información acerca del proyecto a toda la comunidad educativa, es necesario aclarar qué es y qué funciones tiene el Comité Energético y animarles a formar parte de ella.

7.2.2 Valoración energética del Centro

La valoración energética es una parte vital del proceso que nos permitirá obtener los datos a partir de los cuales desarrollaremos el plan. Nos permitirá conocer:

- ✓ La integración curricular de la temática de la energía.

- ✓ Los hábitos y actitudes de la comunidad educativa frente al consumo energético.
- ✓ La gestión y uso que se hace de las instalaciones energéticas.
- ✓ La eficiencia de las instalaciones del centro.

Para la parte más técnica se contará con la colaboración y el asesoramiento del personal técnico de la Agencia Cántabra de la Energía y/o SODERCAN, Oficina Técnica de la Consejería de Educación, algún padre o madre, técnico de medio ambiente de la localidad, responsable de mantenimiento del centro, empresa de Servicios Energéticos, etc.

La valoración consta de varias partes, como anteriormente he indicado.

1. Para valorar la integración curricular de la energía, será el propio Comité Energético con los miembros representantes de los departamentos de Biología, Física y Química y Tecnología, los que la realicen. La valoración de la inclusión transversal en el resto de las áreas se realizará a través de informe solicitado al resto de los departamentos.

2. Para la valoración de hábitos y actitudes frente al consumo energético de toda la comunidad educativa, se utilizarán Fichas de investigación que proponen actividades que permiten al alumnado, familias y personal docente y no docente, conocer y valorar los procesos energéticos estudiados, los problemas que se generan, sus causas y sus consecuencias.

El Comité Energético implementará, si fuera necesario, las Fichas propuestas en la normativa y una vez preparado el material, a través del Departamento de Orientación del centro y de las reuniones que se llevan a cabo con los Tutores de grupo, se presentará este material a los tutores, para que ellos a su vez en horario de tutoría realicen las actividades relacionadas.

Serán desde fichas fundamentalmente gráficas, tablas para rellenar entre todos y/o individualmente, con información referente a la energía (qué energías conocemos, en qué se utilizan, para qué, de dónde se obtienen; consecuencias de su utilización; etc.), test de verdadero o falso con datos curiosos sobre la energía o incluso preguntas sobre sus hábitos con respecto a la energía dentro y fuera del centro de estudios.

En muchas ocasiones tendrán que buscar la información necesaria en libros, internet, etc. Lo que les irá introduciendo en el tema.

Se trata de investigar al tiempo que se adquieren conocimientos.

Es interesante realizar un test, creado por ellos mismos, en su casa a alguno de sus familiares mayores, para detectar las diferencias que existen entre el uso de las energías hace años y el uso de la energía hoy en día.

En el caso de los padres, a través de la Asociación padres, se les hará llegar las fichas que les corresponde a ellos cumplimentar. Y serán sus hijos los encargados de recoger las fichas y hacerlas llegar al centro y entregarlas a su profesor tutor.

Las fichas de personal docente y no docente serán administradas directamente por el Comité Energético.

La Comisión Energética recogerá toda la información, evaluará los resultados de la valoración y sacará conclusiones.

En este punto, uno de los departamentos implicados en el Comité Energético hará partícipes a todos los grupos escolares de las conclusiones abiertas de la valoración, pudiéndose realizar por clases con la técnica de tormenta de ideas. Esta es una manera de que todos participen y se sientan implicados en el proyecto.

Los resultados estadísticos, así como las tablas de resumen de resultados y conclusiones serán expuestos en el “Espacio de la Energía “.

Las conclusiones referidas a padres y personal se les harán llegar de igual forma al sistema seguido para la encuesta.

3. La gestión, uso y eficiencia de las instalaciones energéticas del centro las realizará el Comité Energético, con la colaboración del resto del profesorado y en su caso de los técnicos de la propia administración o de empresas de Servicios Energéticos.

El alumnado será el grupo más activo dentro del proyecto, haciéndoles responsables de alguna de las partes de la investigación y de la obtención de conclusiones, trabajando conjuntamente con el profesorado.

Para la realización de esta investigación, se le facilitará las plantillas para la toma de datos, que deben rellenar y que definen las características de las instalaciones del centro.

Estas estarán adaptadas, si fuera preciso, a las necesidades concretas de cada centro.

Tanto el profesorado como el personal no-docente (sobre todo las personas encargadas del mantenimiento y secretaria) se ocuparán de ayudar a cumplimentar los informes, aportando los datos necesarios.

Para el estudio de la gestión, uso y consumos energéticos, la toma de datos que realice el alumnado y el Comité Energético, según lo establecido por la normativa, harán uso de:

- Luxómetro: mide la intensidad lumínica.
- Termómetros: medida de la temperatura.
- Cámaras termográficas: determinan las pérdidas de calor del edificio a través de una fotografía.
- Contadores digitales de energía.

Es importante identificar los tipos de suministros de energía en el centro, realizar un inventario de luminarias y estudiar las características de la envolvente del edificio para determinar dónde se pierde la energía y realizar mediciones en el aula.

Además, conocer los consumos del centro es una herramienta educativa y permite tener un mayor conocimiento de las instalaciones, así como comparar datos y controlar los ahorros generados con la toma de diferentes medidas.

La valoración de las instalaciones será realizada/gestionada por el Comité Energético y presentada por el coordinador en el Claustro a través de una grabación de vídeo no superior a 10 minutos.

La valoración requiere moverse por el centro y es complicado compaginar todos los grupos sin interferir en las clases, así que se recomienda organizar el Día de la Energía en el centro, coincidiendo con la semana cultural o cualquier otro

evento de estas características, en el que todo el centro se dedique a labores de investigación de la energía. Cada año se puede repetir el Día de la Energía

El Comité Energético del centro elaborará un documento resumen que defina la situación actual de la gestión, uso y eficiencia de las instalaciones energéticas del centro escolar. Estos resultados se deberán difundir en el centro y a toda la comunidad educativa.

Se realizarán carteles informativos así como un boletín informativo que llegue a todos los padres y madres, incluso por la radio o periódico del centro y a través de la página Web.

La Agencia Cántabra de la Energía y/o SODERCAN se encargará de hacer de puente entre las diferentes experiencias que se irán generando en el proceso de todos los centros de Cantabria, para intercambiar datos, pautas, procedimientos singulares que favorezcan la implantación del Plan Energético.

Entre sus labores, hay que mencionar la recopilación y evaluación de los ratios de emisiones equivalentes de CO₂ de los diferentes centros, así como la comparación de los consumos energéticos de los centros escolares de Cantabria con respecto a valores medios europeos.

Es importante definir la dificultad de encontrar un ratio objetivo que realmente sea significativo del consumo de energía, ya que la relación del consumo por superficie depende de si se tiene en cuenta el total de superficie del centro o bien únicamente la calefactada o iluminada, así como el uso que se haga de ella (horario mañana y tarde, actividades extraescolares en el centro,...)

7.2.3 Objetivos del Plan Energético

A partir de las conclusiones obtenidas en la valoración se establecen los objetivos que deseamos conseguir con el plan energético.

Hay que recordar que estas conclusiones se han comunicado, por diferentes medios, a toda la comunidad, por lo que estaremos en disposición de pedirles a todos ellos que participen en la elaboración de los objetivos.

El Comité Energético guiará el proceso de participación del resto de los implicados. De nuevo, a través de la Tutoría, se les pedirá a todos los alumnos

y por deriva, a sus padres, la aportación de propuestas e ideas a las conclusiones, proceso que no debe durar más de una semana.

A los profesores y resto de personal se les animará a que utilicen un buzón de sugerencias habilitado para ser utilizado en todo el proceso.

La página Web será un vehículo muy útil en esta parte del Plan.

Finalmente, estos objetivos irán al Comité Energético que será el que decida cuáles de ellos se pretenden alcanzar.

Los objetivos serán expuestos con el fin de que toda la comunidad pueda ser partícipe de ellos.

Una vez decididos los objetivos, se establecerá el grado de prioridad en base a:

- la eficiencia energética y económica
- la facilidad de alcanzar el objetivo; disponibilidad técnica y económica
- el aprovechamiento didáctico
- su nivel de uso

Ejemplos de Objetivos que se pueden proponer en el Plan Energético:

- Aumentar la información y formación sobre el tema de la energía y el uso responsable de la energía.
- Fomentar un cambio de hábitos en toda la comunidad educativa.
- Mayor participación en la toma de decisiones respecto a la energía.
- Disminuir el consumo de energía un 5% anual durante 3 años consecutivos.

7.2.4 Plan de acción

El plan de acción recoge todas las medidas que son precisas afrontar, agrupadas y temporizadas, en el centro, para desarrollar el Plan Energético y como respuesta a la fase de valoración. Se trata de conseguir con ello el ahorro y la eficiencia energética que se persigue desde el inicio.

Las medidas deben ser accesibles y deberán tener en cuenta tres preguntas; qué hacer, para qué, cómo.

¿Quién?

El Comité Energético definirá los agentes involucrados y responsables en la medida correspondiente, teniendo en cuenta que toda la comunidad deberá estar involucrada para garantizar el éxito del Plan.

¿Cómo?

Se deberá buscar varias acciones para cada objetivo propuesto,

¿Qué se puede hacer para conseguir este objetivo?

Definir medidas de mejora. Estas medidas de mejora se pueden clasificar en:

- ✓ Medidas que dependen directamente de la Comunidad Educativa.
- ✓ Medidas que dependen de agentes externos (Ayuntamiento o Consejería de Educación)

Es aconsejable la adopción simultánea de diferentes tipos de medidas: Administrativas, de gestión, de hábitos... ya que supone un compromiso compartido por diferentes actores y una multiplicación de los efectos de las medidas.

Además cada medida deberá tener un indicador que posteriormente nos permita evaluar el grado de cumplimiento.

Dentro de las medidas que dependen de la Comunidad Educativa, cabe resaltar:

1. Medidas de Integración Curricular y Participación

- Incluir el Plan Energético en la PGA y en el PEC.
- Introducir el tema de ahorro y responsabilidad energética dentro del plan de acción tutorial de todos los niveles.
- Estudio del tratamiento de la energía en los diferentes cursos y etapas seleccionados.
- Hacer uso de los consumos energéticos en clase.
- Trabajar problemas de la energía haciendo ejercicios. Es importante coordinar las actividades entre diferentes departamentos, de manera que no resulten ejercicios puntuales. Ej. Toma de datos energéticos y estudios de recibos de electricidad en Física y Química, tratamiento de estos datos en Matemáticas, elaborando gráficas que se podrán presentar en carteles diseñados en Plástica o se podrán realizar maquetas sobre el uso de la energía en Tecnología. Diseño de análisis

y campañas publicitarias y comentarios de textos relacionados con la energía en lengua castellana e inglés y búsqueda de información sobre energía en páginas web en Tecnología.

- Utilizar las propias instalaciones del centro para el estudio energético.
- Difundir las actuaciones encaminadas a la realización del Plan Energético.
- Crear un foro energético en la web del instituto.
- Visita a exposiciones sobre ahorro energético y eficiencia energética y a instalaciones de energía renovable.
- Realizar el "Día de la energía".

Indicadores:

- Número de departamentos que incluyen aspectos relacionados con la Energía/total de departamentos del centro.
- Número de horas de tutoría dedicadas al Plan Energético/total de horas de tutoría.
- Número de actividades específicas sobre la Energía/curso.
- Número de participantes en las actividades de formación/número total de integrantes del grupo destinatario.
- Número de actividades de información sobre el Plan Energético a la Comunidad Educativa/total de actividades de información realizadas en el centro.
- Número de personas de la Comunidad Educativa que participan en el Plan Energético/Total de personas que componen la Comunidad Educativa.
- Número de aportaciones y propuestas para el Espacio de la Energía/mes.
- Número de actividades sobre energía realizadas con las familias/curso.
- Número de profesores y profesoras que participan en el Plan Energético/total de profesorado del centro.

2. Medidas de Hábitos y Actitudes

- Realizar test de conocimientos previos para definir las necesidades de formación e información para el año siguiente.

- Implantar el código de conducta o Decálogo de Ahorro de energía recogido en la normativa e implementado, si cabe, a partir de las propuestas de las distintas clases o grupos y relacionado con el plan de acción. Serán acciones o comportamientos que deberán seguir todos los colectivos del centro para cumplir los objetivos del Plan de acción.
- Difundir los consumos de energía del centro en el Espacio de la Energía.
- Poner carteles informativos de cómo utilizar eficientemente las instalaciones y carteles recordatorios de apagar los equipos.

Indicadores:

- Número de lugares donde está expuesto el Decálogo de la energía en el centro.
- Número de actividades de información sobre buenas prácticas en el uso de la energía/durante el curso.
- Resultados satisfactorios conseguidos en el Test de hábitos/curso.
- Número de medios utilizados para la difusión de buenas prácticas/ total de medios disponibles en el centro.

3, Medidas de Gestión y Usos de las instalaciones

- Informar a todo el centro sobre los consumos y medidas de ahorro.
- Definir una persona responsable en cada clase para que se encargue de apagar la luz y controlar la calefacción.
- Dar un uso correcto a los mandos de la calefacción según la temperatura ambiente de cada aula.
- Instalar termómetros en las aulas.
- Estudiar la luminosidad de las aulas y el centro con el uso de luxómetros.
- Conocer dónde están colocados los contadores de consumos de agua, electricidad y gas natural, y hacer seguimiento de su evolución.
- Conocer exactamente a qué consumos se refiere cada contrato de suministro energético.
- Definir manuales de buen uso y mantenimiento de las instalaciones energéticas.
- Estudiar la distribución y horarios de funcionamiento de la calefacción.
- Establecer un manual de gestión de compra responsable para las adquisiciones del centro escolar.

- Realizar actividades educativas para el respeto a las instalaciones.
- Establecer protocolos para apagar los standby.
- Establecer protocolos para cerrar las puertas y ventanas.

Indicadores:

- Periodicidad de la difusión de los datos de consumos de energía realizados/curso.
- Número de actividades educativas con los datos de consumo del centro/curso.
- Número de actividades educativas de medida de consumos/curso.
- Disponibilidad de aparatos de medida de consumos energéticos en el centro/curso.
- Aulas con responsable de la energía/aulas del centro.
- Aulas con termómetros/total de aulas.

Y dentro de las medidas que dependen de agentes externos (Ayuntamiento o Consejería de Educación), tenemos:

1. Medidas de mejora de las instalaciones energéticas

- Estudiar las diferentes instalaciones existentes en el centro a través de actividades de Aula.
- Migrar a tecnologías lumínicas más eficientes
- Aprovechar al máximo la luz natural, evitando los reflejos del sol en la pizarra.
- Ordenar los golpes de luz de cada sala según el aporte de luz natural desde las ventanas.
- Instalar burletes en las ventanas para evitar las pérdidas de calor.
- Instalar válvulas termostáticas en los radiadores para poder controlar la calefacción por salas.
- Instalar un temporizador en los ordenadores para que se apaguen solos.
- Colocación de mando centralizado para el apagado completo de todos los ordenadores de la sala de informática.
- Colocar sistemas de control de encendido de las zonas de paso, como baños y pasillos.

- Aprovechar reformas y obras para mejorar la eficiencia de las instalaciones energéticas.

Indicadores:

- Número de mejoras en las instalaciones realizadas/curso.
- Número de medidas realizadas para la mejora de la gestión de las instalaciones existentes/curso.
- En definitiva debemos hacer el seguimiento del principal objetivo del Plan Energético, que es la reducción del consumo de energía.
- KWh consumidos al año/consumos de años anteriores.
- Calefacción: kWh año/superficie calefactada.
- Electricidad: kWh año/m² útil.
- M³ de agua, gas natural o gasóleo consumida al año/consumo de años anteriores.
- Kgs de CO₂ emitidos al año/por número de usuarios (alumnado+ profesorado+personal no docente).
- Número de árboles que se deben plantar para depurar las emisiones generadas/número de usuarios.

Una vez se ha conseguido una lista de medidas a realizar, éstas las podemos clasificar e incluir en diferentes planes de acción, que permiten la consecución de los objetivos anteriormente planteados.

Planes de Acción:

1. Integración del Plan Energético en el PGA y PEC del Centro.
2. Plan de Formación a toda la Comunidad Educativa.
3. Información a toda la Comunidad Educativa y al Entorno del Centro.
4. Difusión del Plan Energético.
5. Información de Buenas Prácticas en el Uso de la Energía.
6. Ampliar la participación en el Plan Energético, Espacio de la Energía.
7. Seguimiento de los consumos y su evaluación medioambiental.
8. Disponer de aparatos de medida y control de las condiciones energéticas del centro.

9. Mejoras en las instalaciones existentes.

10. Mejora de la gestión de las instalaciones.

Es importante disponer de tiempo para realizar planes de acción completos que engloben las medidas propuestas y permitan el desarrollo del Plan en los cursos siguientes, según determine el Comité Energético.

Cada Plan de Acción engloba diferentes medidas y en cada medida se determinará los plazos de ejecución, los responsables, los recursos necesarios para llevarlas a cabo, y los indicadores que permitan la valoración y seguimiento de la misma.

Por lo tanto, al finalizar el curso se debe tener bien definido, consensuado y difundido entre toda la comunidad educativa, los objetivos del Plan Energético y los Planes de Acción diseñados para conseguirlos.

Los Planes de Acción deberán estar presentados en un documento final que explique el proceso de su elaboración y deberán ser aprobados por la Dirección del Centro, el Claustro y el Consejo Escolar. Conocer los Planes de acción permitirá definir los recursos necesarios, especialmente humanos, para en el curso siguiente poder ejecutarlos según lo previsto.

Plan Energético:

1. Diagnóstico de la situación actual
2. Objetivos de mejora
3. Planes de acción
4. Medidas
5. Indicador
6. Responsable
7. Plazos

7.2.5 Ejecución y seguimiento

En esta fase, el Centro se encuentra con los Planes de Acción ya definidos y es entonces cuando hay que arrancar con la puesta en marcha de las medidas propuestas.

¿Quién lo realiza?

Las llevará a cabo el Comité Energético. Este a su vez, delegará acciones que así lo recojan en los planes de acción, en todos aquellos implicados. Se trata de una labor constante de todos y entre todos. A partir de aquí, los formalizará y se encargará de coordinarlos, según las responsabilidades y plazos de cumplimiento definidas el curso pasado.

Se pueden establecer comisiones de alumnos, profesores, padres, que se responsabilicen de la puesta en marcha de las diferentes actuaciones de mejora y del seguimiento de estas acciones.

¿Qué es el seguimiento?

El seguimiento sirve para evaluar la ejecución de los planes de acción.

¿Quién lo realiza?

El Comité Energético, con la colaboración de todo el claustro y/o tutores se ocupará del seguimiento de los planes de acción y de delimitar fechas en las cuales se pueda evaluar y cuantificar los resultados del proceso, para, si fuera necesario, corregir errores y proponer nuevas acciones.

¿Cómo se lleva a cabo la ejecución y el seguimiento?

En el momento en que las comisiones o responsables establecidos para cada labor den comienzo la ejecución de los planes de acción, se pondrán en marcha los planes de seguimiento que controlarán la manera en la que se llevan a cabo los planes y los resultados que se vayan obteniendo.

Para realizar el seguimiento nos serviremos de la evaluación del valor del indicador propuesto para cada medida.

7.2.6 Evaluación

La evaluación de la consecución de objetivos a través del control de indicadores puede realizarla el alumnado mediante actividades similares a las realizadas en la Valoración, que servirá para que puedan apreciar los resultados de su trabajo.

La evaluación del cumplimiento de las acciones previstas por el Plan debe recaer en el Comité Energético. Será más completa que la realizada por el alumnado, pero debe incluir los resultados obtenidos por ellos.

El Comité, además del seguimiento y la evaluación de los planes de acción, también se ocupará de evaluar todo el proceso llevado a cabo a lo largo del plan para determinar si la formación, la comunicación, la participación y la evaluación realizadas durante el proceso han sido adecuadas, y en su caso, de qué manera mejorarlos.

¿Cómo?

Para poder evaluar la consecución de los objetivos es necesario volver a investigar y medir, anualmente, tal y como se realizó en la valoración, los indicadores definidos. Los resultados de la evaluación servirán de pauta para la actualización periódica del Plan.

¿Qué se evalúa?

- ✓ Evaluación del Proceso de elaboración del Plan.
- ✓ Evaluación del Plan: consecución de los objetivos planteados.

7.2.7 Difusión del Plan

Dar a conocer dentro y fuera del centro educativo el proceso de elaboración y los resultados conseguidos.

Durante todo el proceso y preferiblemente al final de cada bloque, el Comité Energético se ocupará de realizar acciones de difusión para toda la comunidad educativa, en las que se informará sobre el diagnóstico, los objetivos planteados, las líneas de acción llevadas a cabo, el seguimiento de éstas y los datos o resultados obtenidos.

Especialmente en dos momentos:

- Junio Curso 1 de aplicación del plan: definición del Plan de Acción; qué pretende hacer el centro escolar para ahorrar energía.
- Junio Curso 2 de aplicación del plan: al finalizar la ejecución de los Planes de Acción se debe realizar una mayor difusión, del centro hacia el exterior, de los resultados conseguidos en ahorro de energía en el centro escolar.

El plan de difusión estará basado en:

- Utilizar el "EL ESPACIO DE LA ENERGÍA" como lugar físico para presentar toda la información que se genere. Otros medios son la web del centro, boletines, cartas
- Elaboración de la Memoria final del "Plan Energético en el centro escolar".
- El trabajo desarrollado por el centro debe ser puesto en conocimiento de toda la comunidad educativa y adjuntarlo a la memoria anual del centro. Un resumen del informe se entregará a organismos e instituciones del entorno del Centro

A partir del informe se establecerá el nuevo plan que permita disminuir el nivel de consumo y conseguir un mayor ahorro, desarrollándose así un procedimiento de mejora continua en la gestión energética del centro.

Otras ideas para la difusión:

- Cartas al periódico.
- Exposición continua de resultados del diagnóstico y de las propuestas realizadas (incluso itinerante por el municipio)
- Desarrollo de unas jornadas ambientales
- Charlas
- Concursos
- Elaboración de Lemas en el centro
- Boletines energéticos que puedan llegar a toda la comunidad educativa
- Difusión por los medios de comunicación con que cuente el centro (radio, periódico, revista, Web, etc.)
- Los "Cinco minutos energéticos". Un miembro del Comité Energético que puede ir informando clase a clase los resultados obtenidos
- El Día Mundial del Medio Ambiente (5 de junio) será una buena ocasión para invitar a todos los sectores involucrados a que formen parte de la fiesta y puedan observar el trabajo realizado.

7.2.8 Continuidad del Plan

El Plan Energético debe conseguir la mejora continua del centro.

Se debe configurar, por lo tanto, como un programa permanente de Educación Ambiental y de gestión de la calidad ambiental del centro. Por ello se fijará un

plazo de ejecución del Plan propuesto, así como la continuidad y mejora del Plan a lo largo del tiempo.

Ejemplo de Continuidad del Plan Energético:

Curso 1: Elaboración del Plan Energético

Curso 2: Desarrollo del Plan Energético; evaluación de resultados y propuestas de mejora.

Curso 3: Nuevo Plan Energético

Curso 4: Desarrollo del Plan Energético; evaluación de resultados y propuestas de mejora.

De esta manera cada 2 cursos se propondrán medidas más ambiciosas que permitirán una mayor integración del contenido energético en el centro escolar, y una disminución continua del consumo de energía, y finalmente una mejora de la calidad medioambiental de la vida en el centro escolar.

8. PRESUPUESTO

LABORES	HORAS UTILIZADAS	COSTE (€)
Formación luminotecnia	120	600
Formación DIALux	40	200
Documentación y recursos	60	1.800
Inventario	50	1.500
Práctica en taller	20	600
Informe	80	2.400
Equipo informático	6 meses	125
Material práctica taller		60
TOTAL		7.285
TOTAL IVA INC.		8.814,85

Tabla 23 Presupuesto

1. El tiempo estimado de ejecución de este trabajo es de 6 meses.
2. El coste de la hora trabajada: 30 €/h
3. Con relación a la formación, estimo un periodo de validez de la misma de 3 años. Por tanto repercuto el tiempo utilizado de 6 meses con respecto al total.
4. El periodo de amortización del equipo informático: 48 meses.
Coste de compra: 1.000 €
5. El coste del material para la práctica se refleja en su totalidad ya que sólo se prevé su uso para este trabajo.

9. CONCLUSIONES

Aquí, como en otros muchos momentos de la verdad, miro hacia atrás y no sólo hasta el inicio de este trabajo Fin de Grado y sus propios objetivos, sino mucho más lejos porque de alguna manera también concluyo un empeño personal de continuar la formación formal en el ámbito de la Universidad e inevitablemente quieren entremezclarse mis propias valoraciones con lo que aquí debo recoger.

Mi interés por la gestión eficiente de los recursos, sobremanera dentro de la administración, definió la temática de este trabajo. Además, la posible aplicación inmediata de los resultados, avaló definitivamente la propuesta.

Como en cualquier proyecto, la puerta de la creatividad se abrió y me ha permitido disfrutar con el pasado, con el presente y también con el futuro, de la iluminación.

Recordaba que nuestra villa marinera de Comillas había sido la primera población de España en tener luz en sus calles y quise hacer un pequeño recordatorio de los principales hitos y de las personas, que con su tesón, esfuerzo y visión han hecho posible que hoy dispongamos de unas tecnologías lumínicas impensables hace 100 años. En estos momentos, una línea de investigación son las lámparas de grafeno.

La luz artificial es una constante en nuestra vida que nos acompaña durante muchas horas a lo largo del día y por ello he querido exponer que el estado emocional, nivel de estrés y capacidad de trabajo de las personas puede estar influenciado por la iluminación.

Teniendo en cuenta que el trabajo lo he limitado a los Centros educativos, el público objetivo en su mayoría son los jóvenes, quienes conviven con la iluminación artificial durante su etapa formativa y he querido dar una visión de que puede existir alguna relación directa entre parámetros de la luz y el aprendizaje, aspecto muy interesante para futuros trabajos.

He considerado necesario incluir aquí los conceptos básicos de ingeniería luminotécnica porque quiero que el trabajo sea un documento que pueda ser útil incluso para aquellos que se acerquen por primera vez a esta temática.

En muchas ocasiones me había preguntado si el diseño de la instalación de iluminación en el IES La Granja sería la correcta, si se podría mejorar la eficiencia y si la tecnología LED podría sustituir las lámparas actuales.

Con este trabajo he constatado que no existe inventario de luminarias, que se desconoce la fecha de colocación de los tubos con lo que difícilmente podemos saber si cumplen las especificaciones de duración, que a la hora de realizar la compra no existe ningún criterio establecido, que no hay un plan de mantenimiento y que la Consejería de Educación, Cultura y Deporte de Cantabria no aborda en profundidad los requerimientos en iluminación necesarios en los contratos públicos para reformas o nuevas construcciones.

Después de realizar el inventario del número de lámparas y potencia instalada, detallé su tipología. Esto me permitió centrar el trabajo en el estudio comparativo de fluorescentes- LED ya que el resto de las tecnologías existentes son minoritarias y adecuadas.

También realicé las curvas de demanda de un mes, de las dependencias del IES y el CIFP con medidas cada 15 minutos.

Terminados los cálculos, he tenido constancia que el diseño actual de luminarias así como su colocación es la correcta, ya que los realicé para el caso más desfavorable, con tubos LED de 1920 lm.

He podido conocer el software DIALux, una herramienta potente y gratuita que permite diseños tridimensionales con lo que se puede recrear efectos luminosos reales en cualquier lugar. Su interfaz de cierta complejidad está llena de posibilidades, como en el resultado de los proyectos, muy profesionales. Pero como este trabajo no consistía en diseñar una instalación nueva decidí no profundizar en su uso. Aun así he conseguido los planos en CAD del Centro y estoy haciendo una recreación con DIALux evo 4. Algo que me suscitaba dudas era la cuestión sobre la energía real de consumo de los fluorescentes con balastro electromagnético, que es nuestro caso y los tubos LED conectados directamente a la red. Y para tener datos concretos hice un pequeño montaje de una luminaria con fluorescentes y otra con tubos LED a los que conecté a cada una de ellas, un sencillo contador.

Después de varias medidas, la conclusión fue que los fluorescentes incrementan un 20 % la demanda y los LED un 10%, con relación a las especificaciones de la Ficha Técnica.

Deseo incluir aquí alguna observación sobre potenciales oportunidades. En bastantes ocasiones he recibido llamadas de teléfono ofreciéndome tubos LED de fabricación española. Cuando yo les he invitado a que me indicasen concretamente dónde estaba la fábrica, no el almacén, se ha dado el caso de que incluso han colgado sin contestar. Sería interesante saber si podríamos ser competitivos en la fabricación de lámparas LED, aquí en España. Y por otro lado están las empresas de Servicios Energéticos, que en los últimos cinco años, no me consta que alguna se haya dirigido por ningún medio al IES La Granja para ofrecerle sus servicios.

Después de comprobar que podía aprovechar la instalación de iluminación existente, que podía cambiar las lámparas fluorescentes por LED en igual cantidad, 1084 unidades de 1200 mm y 112 unidades de 600 mm y además instalar 20 detectores, he realizado los cálculos del ahorro energético-económico, de la sostenibilidad de la medida y de los retornos. En dos años y ocho meses se amortizaría el cambio a tubos LED y en 3 años y cinco meses, los detectores. Además las cifras de ahorro en CO₂ y microgramos de residuos radiactivos son muy interesantes.

Con relación a las soluciones integrales de control son una alternativa llena de posibilidades para las nuevas edificaciones y reformas integrales.

Para finalizar, he querido incluir en este trabajo un planteamiento particular a la hora de abordar cualquier intervención en las instalaciones energéticas, como es el propósito de este trabajo. Y es la implantación de un Plan Energético.

La creación de un comité energético en los centros de enseñanza, la sistematización en las intervenciones, la sensibilización, difusión, valoración e investigación energética serían algunas de las aportaciones para la eficiencia energética no sólo en el IES sino también en el resto de la comunidad escolar.

BIBLIOGRAFIA:

(1)http://www.lighting.philips.es/connect/tools_literature/assets/pdfs/COLEGIOS%20MAS%20LUMINOSOS.pdf

(2)Wirksamkeit von dynamischen Licht in Hamburger Schulklassen”, mayo de 2009 Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf, Klinik und Poliklinik für Kinder- und Jugendpsychosomatik, Michael Schulte-Marktwort, Claus Barkmann y Nino Wessolowski.http://www.uke.de/kliniken/kinderpsychosomatik/index_53560.php

(3)Edificios educativos de la Norma Europea UNE-EN 12464-1:2003. Iluminación de los lugares de trabajo. Parte I: Lugares de trabajo en interior, pág. 28

(4)<http://edison.upc.edu/curs/llum/indice0.html>¹http://www.erc.com/products/download/others/downloadaddat_3992/es/es_downloadaddat_dltut_1.php?aktion=_star_tseite&sprache=es&dir=27_specsheets/10_indoor_specsheet

(5)Pliego de prescripciones técnicas para la redacción del proyecto y dirección de obras de construcción del nuevo Instituto de Educación Secundaria Obligatorio en Ezkaba (Pamplona). Pág. 23

(6) Proyecto Energético en la Administración General de la Comunidad Autónoma de Cantabria y sus Organismos Públicos Dependientes. Proyecto Piloto: Plan Energético en los Centros Escolares. Parte I. María Jesús Mirón Peña. 2008. ISBN 978-84-691-1708-8

(7) Proyecto Fin de Carrera: Proyecto de iluminación de las dependencias de la biblioteca Rey Pastor de la Universidad. Por María Ruiz Fernández Julio 2005 de la Universidad Carlos III de Madrid

(8) Proyecto Fin de Carrera: Ahorro energético en iluminación. Por Sergio Gismera Martínez Febrero 2005 de la Universidad Carlos III de Madrid

(9) Proyecto Fin de Carrera: Estudio y diseño del sistema de iluminación de un centro de uso general. Por Rubén Colomer Rodríguez. Octubre 2011 de la Universidad Carlos III de Madrid

(10)Proyecto Fin de Grado. Realización de un estudio de eficiencia energética de iluminación interior de edificios docentes aplicado a la ETS de Ingenieros Industriales y de Telecomunicaciones. Por David Ibañez Cervera. Octubre 2014. Universidad de Cantabria

ANEXOS



C/. Peña Sagra, 4 (Polígono Candina)
 Telf.: 942 320 132 - Fax: 942 320 829
 Móvil de Empresa: 629 452 525
 39011 SANTANDER
 herveluz@herveluz.com
 www.herveluz.com



PAGINA 1

FECHA	07/07/2015	
ALBARAN	OR	1.950
CLIENTE	10.042	
DNI / CIF	Q3968005C	

I.E.S "LA GRANJA"
 BARRIO LA ESTACION S/N.-
 39792 HERAS
 CANTABRIA
 942-526232
 AT.MARIA JESUS MIRON PEÑA

CONCEPTO	Unid.	PRECIO	Ecotasa	% Dto.	TOTAL
TUBO LED ROBLAN 18W 1200mm 4100-6500k 330° 1980 lms CRISTAL	1.084	9.2000	0,1200		10.102,88
TUBO LED ROBLAN 9W 600mm 4100-6500k 330° 990lms CRISTAL	118	6.9000	0,1200		828,36
DETECTOR MOVIMIENTO SUPERF DINUY DM-TEC-001	20	36.2000			724,00
PRECIOS ESPECIALES POR ESAS CANTIDADES VALIDEZ DE LA OFERTA 30 DIAS PLAZO DE ENTREGA 4-5 DIAS, SALVO VENTA					



Electricidad

Datos del Cliente

Razón Social: I.E.S. "LA GRANJA" HERAS
 NIF/CIF: Q3968005C
 Dir.Fiscal: B. LA ESTACION S/N S/N
 39792- CANTABRIA ESPAÑA
 Dir.Suministro: BARRIO LA ESTACION- BAJO
 INSTITUTO HERAS CANTABRIA
 CUPS: ES0027700012760001Y2OF
 Cod.Cliente:
 Modalidad de Contrato: Tarifa Óptima

RESUMEN DE LA FACTURA

Fecha Factura: 26 de junio de 2015
 Fecha Devengo: 15 de junio de 2015
 Periodo facturación: del 01/05/2015 al 31/05/2015
 Factura nº: PZZ5011N0081641
Total Factura 3.058,09 €

I.E.S. "LA GRANJA" HERAS
 BARRIO LA ESTACION- BAJO INSTITUTO
 39792 HERAS CANTABRIA
 CANTABRIA

Facturación

CONCEPTO	CALCULO	IMPORTE
TERMINO DE ENERGIA VARIABLE		1.670,48
	P1: 5.279 kWh x 0,120738 Eur/kWh = 637,38 Eur P2: 6.335 kWh x 0,10721 Eur/kWh = 679,18 Eur P3: 5.123 kWh x 0,069085 Eur/kWh = 353,92 Eur	
FACTURACION POTENCIA PERIODOS		676,86
	P1: 77 kW x 59,475288 Eur/kW = 4.579,6 Eur P2: 81 kW x 36,676813 Eur/kW = 2.970,82 Eur P3: 68 kW x 8,410411 Eur/kW = 571,91 Eur 8.122,33 Eur x 1 MESES / 12 MESES	
ENERGIA REACTIVA		0,00
DESCUENTO SOBRE LOS TERMINOS DE ENERGIA		0,00
DESCUENTO SOBRE LOS TERMINOS DE ENERGIA		0,00
IMPUESTO SOBRE LA ELECTRICIDAD	5,11269632 % sobre 2.347,34 Eur	120,01
ALQUILER DE EQUIPOS DE MEDIDA		60,00
IVA NORMAL	21 % sobre 2.527,35 EUR	530,74
Total Factura		3.058,09 EUR

Datos de Pago

El importe de la factura le será adeudado a partir del 10/07/2015 en

CA SANTAND 2066-0033-78-0200*****
 ES3220660033780200***** Dígitos
 ocultos por su seguridad

Nota:
 Pequeños cambios, grandes mejoras
 Ahora su factura, con más información.
 Para más información llame al 800 760 266, o visite:
www.endesaonline.com
<http://www.endesaonline.com>



Contrato nº: 9993571/8478/7

Atención al Cliente

800 760 266

Fax: 912134633

Teléfono de Averías

900 10 10 51

WWW.ENDESAONLINE.COM

CIB11A0020-2-2706/15 N00000758NNNN

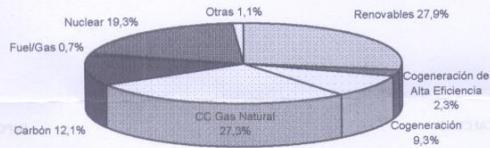
Factura emitida en Madrid por Endesa Energía, S.A. Unipersonal. Inscrita en el Registro Mercantil de Madrid. Tomo 12.767, Libro 0, Folio 208, Sección Bº, Hoja M-205.381, CIF A81948077. Domicilio Social: C/ Ribera del Loira, 60 - 28042 Madrid. Registro Administrativo de Distribuidores, Comercializadores y Consumidores Cualificados. Actividad de Comercialización nº 1. Sección Suscrita.

INFORMACIÓN SOBRE SU ELECTRICIDAD

Si bien la energía que llega a nuestros hogares es indistinguible de la que consumen nuestros vecinos y otros consumidores conectados al mismo sistema eléctrico, ahora sí es posible garantizar el origen de la producción de energía eléctrica que usted consume

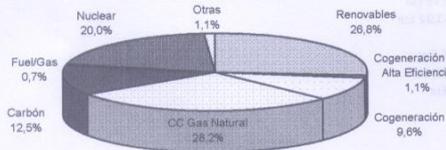
A estos efectos se proporciona el desglose de la mezcla de tecnologías de producción nacional para así comparar los porcentajes del promedio nacional con los correspondientes a la energía vendida por su Compañía Comercializadora.

Mezcla de Producción sistema eléctrico español



Origen	ENDESA ENERGÍA S.A.U.	Mezcla de Producción sistema eléctrico español
Renovables	26,8%	27,9%
Cogeneración de Alta Eficiencia	1,1%	2,3%
Cogeneración	9,6%	9,3%
CC Gas Natural	28,2%	27,3%
Carbón	12,5%	12,1%
Fuel/Gas	0,7%	0,7%
Nuclear	20,0%	19,3%
Otras	1,1%	1,1%

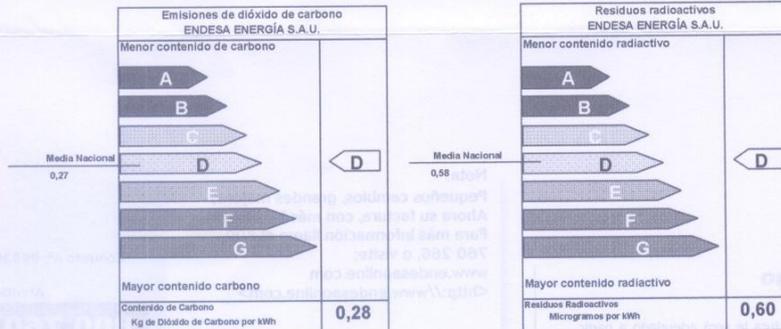
Mezcla ENDESA ENERGÍA S.A.U.



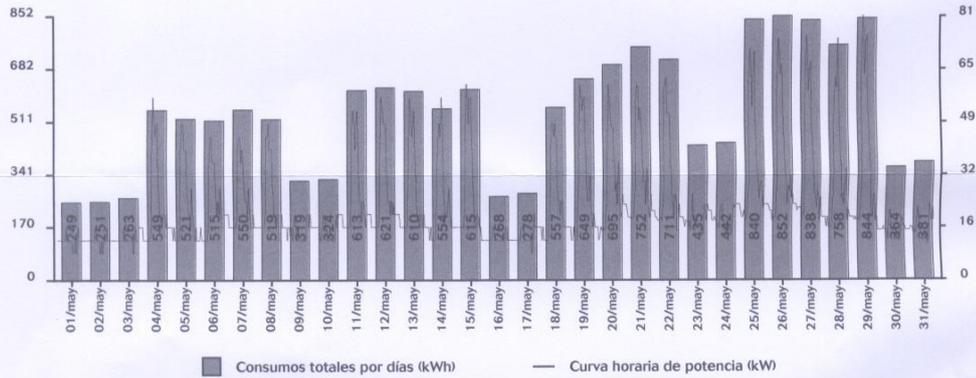
Adicionalmente, el sistema eléctrico nacional ha importado/exportado un 3,1% de producción neta total nacional.

IMPACTO MEDIOAMBIENTAL

El impacto ambiental de su electricidad depende de las fuentes energéticas utilizadas para su generación. En una escala de A a G donde A indica el mínimo impacto ambiental y G el máximo y que el valor medio nacional corresponde al nivel D, la energía comercializada por su "Comercializadora A" tiene los siguientes niveles:



Consumos y Curva horaria



Desglose de Consumos

Origen de la medida: Curva de Consumo
 Modalidad de la tarifa de acceso: 3.1A

	Energía Reactiva (kVArh)			
	Consumos	Excesos	Cos Φ	(1) Importe
Periodo 1	1.032	0,00	0,98	0,00
Periodo 2	1.405	0,00	0,98	0,00
Periodo 3	962	0,00	0,00	0,00
Periodo 4	0	0,00	0,00	0,00
Periodo 5	0	0,00	0,00	0,00
Periodo 6	0	0,00	0,00	0,00
Total				0,00

	Potencia kW				
	Contratada	Max.Reg.	Aci	Ki	(2) Importe
	80	77	0,000	1,00	0,00
	80	81	0,000	0,50	0,00
	80	36	0,000	0,37	0,00
	0	0	0,000	0,37	0,00
	0	0	0,000	0,37	0,00
	0	0	0,000	0,17	0,00
Total					0,00

Definición de los periodos (P1 a P6) según art. 8 del R.D. 1164/2001 por el que se establecen las tarifas de acceso a las redes.
 Los valores en Euros no incluyen los impuestos correspondientes (I.E. e I.V.A.).
 Precios de energía reactiva y excesos de potencia según Orden IET/2444/2014 (BOE 26-12-2014) o norma que lo modifique y en concreto:

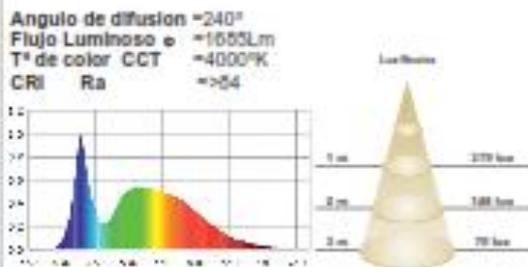
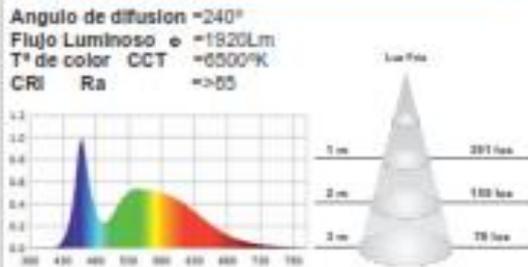
- (1) El precio kVArh facturado en cada uno de los periodos dependerá del cálculo del cos Φ de forma que:
 cos Φ \geq 0,95 el precio será 0,00000000 €/kVArh
 0,95 < cos Φ \leq 0,90 el precio será 0,04155400 €/kVArh
 0,90 < cos Φ \leq 0,85 el precio será 0,04155400 €/kVArh
 0,85 < cos Φ \leq 0,80 el precio será 0,04155400 €/kVArh
 0,80 < cos Φ \leq 0,00 el precio será 0,06233200 €/kVArh
 cos Φ \geq 0,00 el precio será 0,06233200 €/kVArh
 Se factura el consumo de reactiva que exceda del 33% del consumo de activa para cada periodo. No se aplica sobre el último periodo (periodo 3 si es tarifa 3.x o 6 si es tarifa 6.x).
- (2) Para mayor detalle sobre los excesos de potencia, analizar la curva cuartohoraria disponible en www.endesaonline.com.

T833120

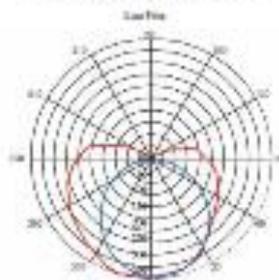
Tubo de Leds en SMD2835



Datos Fotométricos



Curva de Distribucion Luminosa



© 2014 by ThreeLine

Imagen del Producto

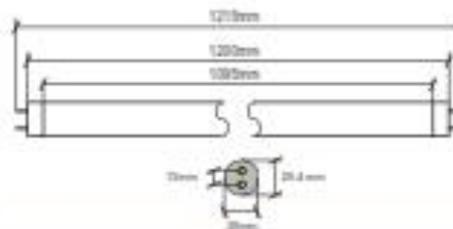


Datos Técnicos

Entrada	AC 100-250V 50~60Hz
Potencia	17W
N° de LEDs	72 chips SMD 2835
Factor Potencia	$>0.92 \pm \cos\phi$
Eficiencia Luminica	112 lm/W
Potencia LED	0.25W
Flujo Luminoso	$>1820\text{lm}$ (BF) $>1653\text{lm}$ (BN)
Intensidad Luminosa	$>370\text{cd}$
Grado de UGR	<19
Temp. Trabajo	$-20^\circ\text{C} \sim +50^\circ\text{C}$
N° Conmutaciones	50.000
Certificaciones	CE, RoHS
Eficiencia Energetica	A+
Vida Útil	30.000 h.

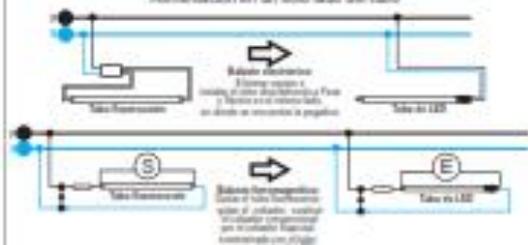
Dimensiones

Medidas en mm



- Instalación -

Alimentación en un solo lado del tubo



Chip Utilizado

EPISTAR



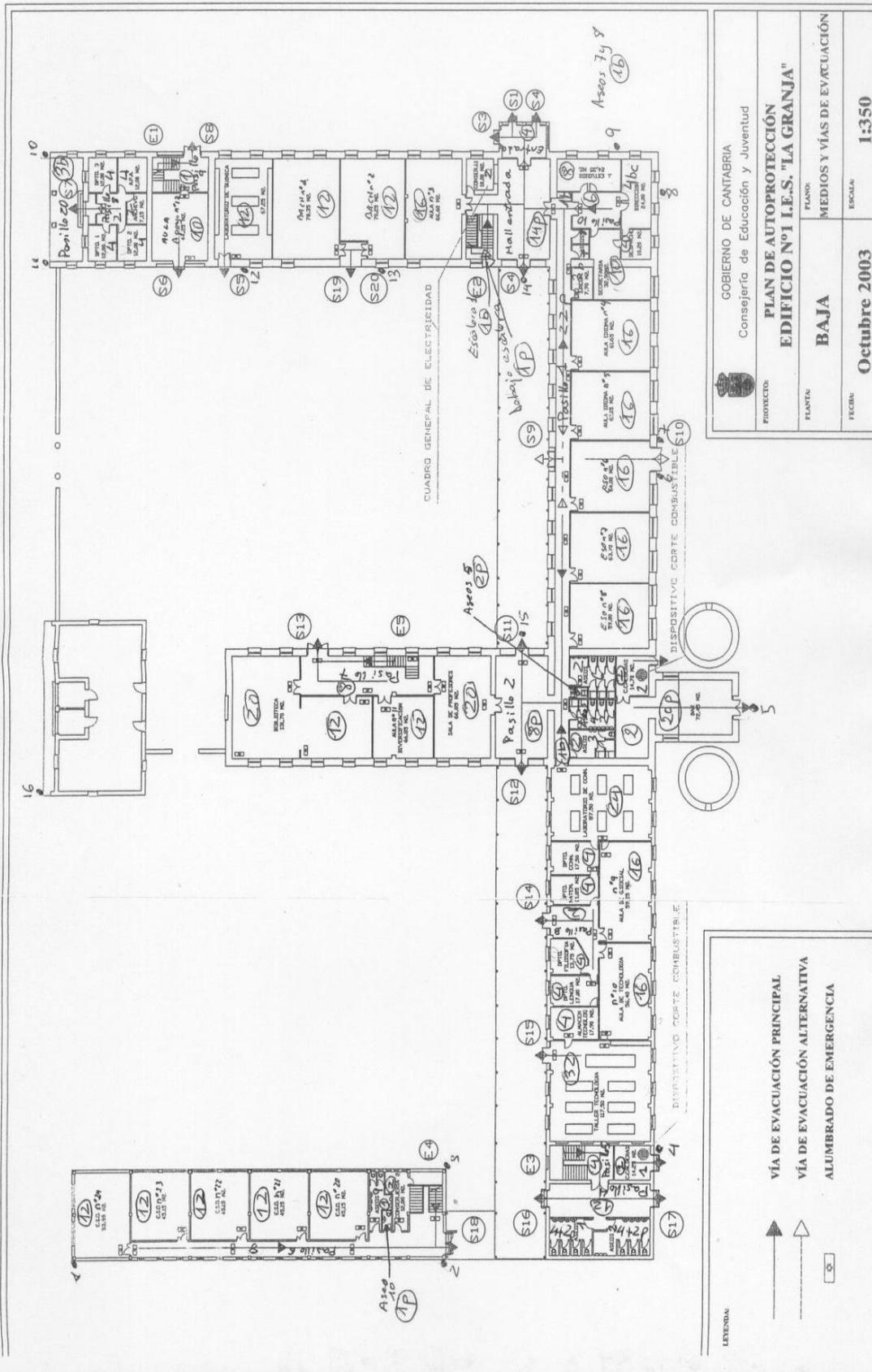
Temperatura LED de muy bajo consumo





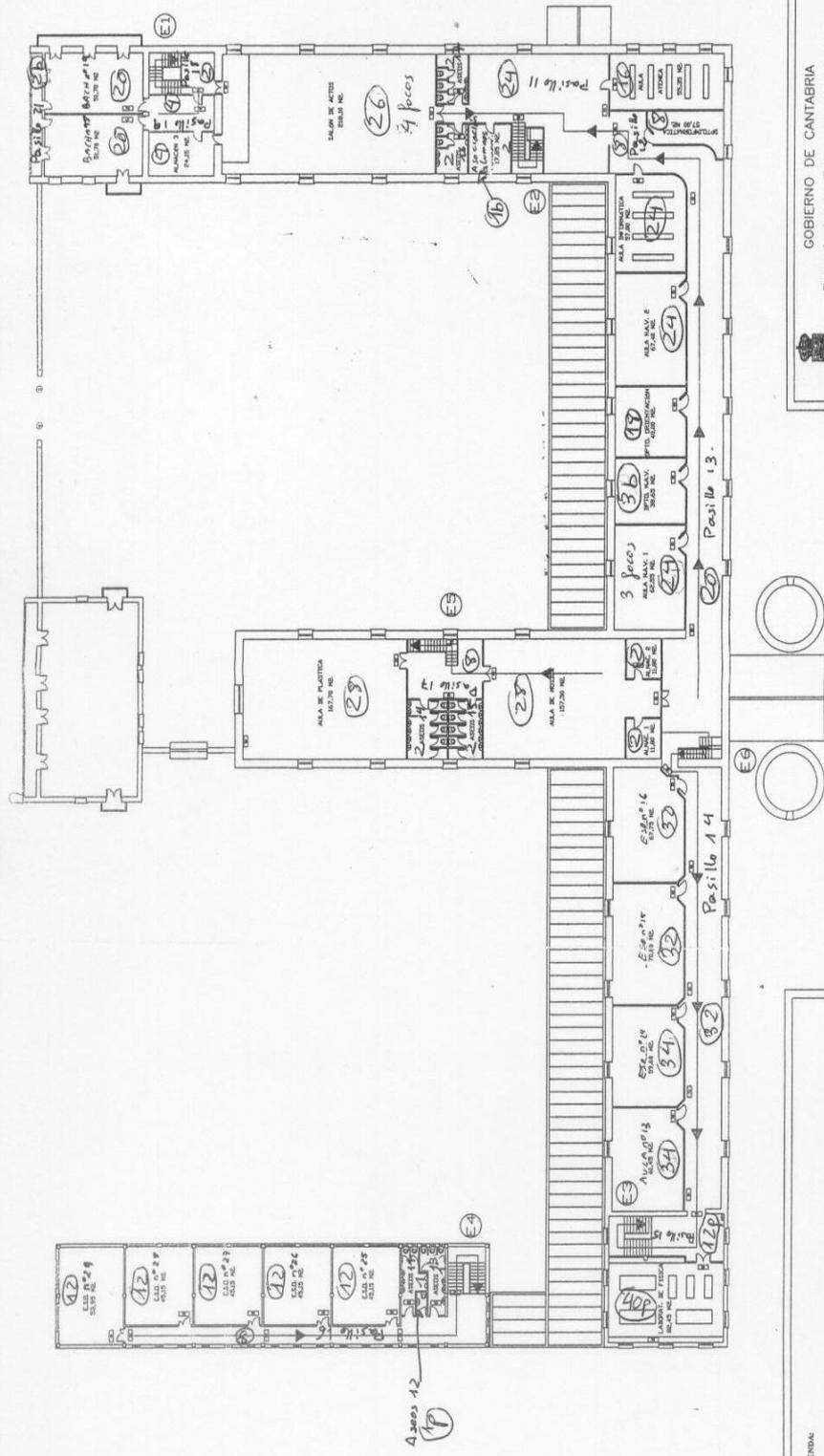
Especificaciones Medidor Eléctrico Instantáneo:

- Voltaje de entrada / salida: 230 V ~ / 50 Hz
- Consumo de energía: Max. 16
- Rango de voltaje: 190 V - 270 V
- Rango de corriente: 0,01 A - A 19.999
- Gama de energía: 1 W - 3680 W
- Indicación de frecuencia: 46-65 Hz
- Resolución: 0,5 W
- Medición de consumo: 0.00 a 9.999,999 kWh
- Duración de la indicación: hasta 9.999 horas



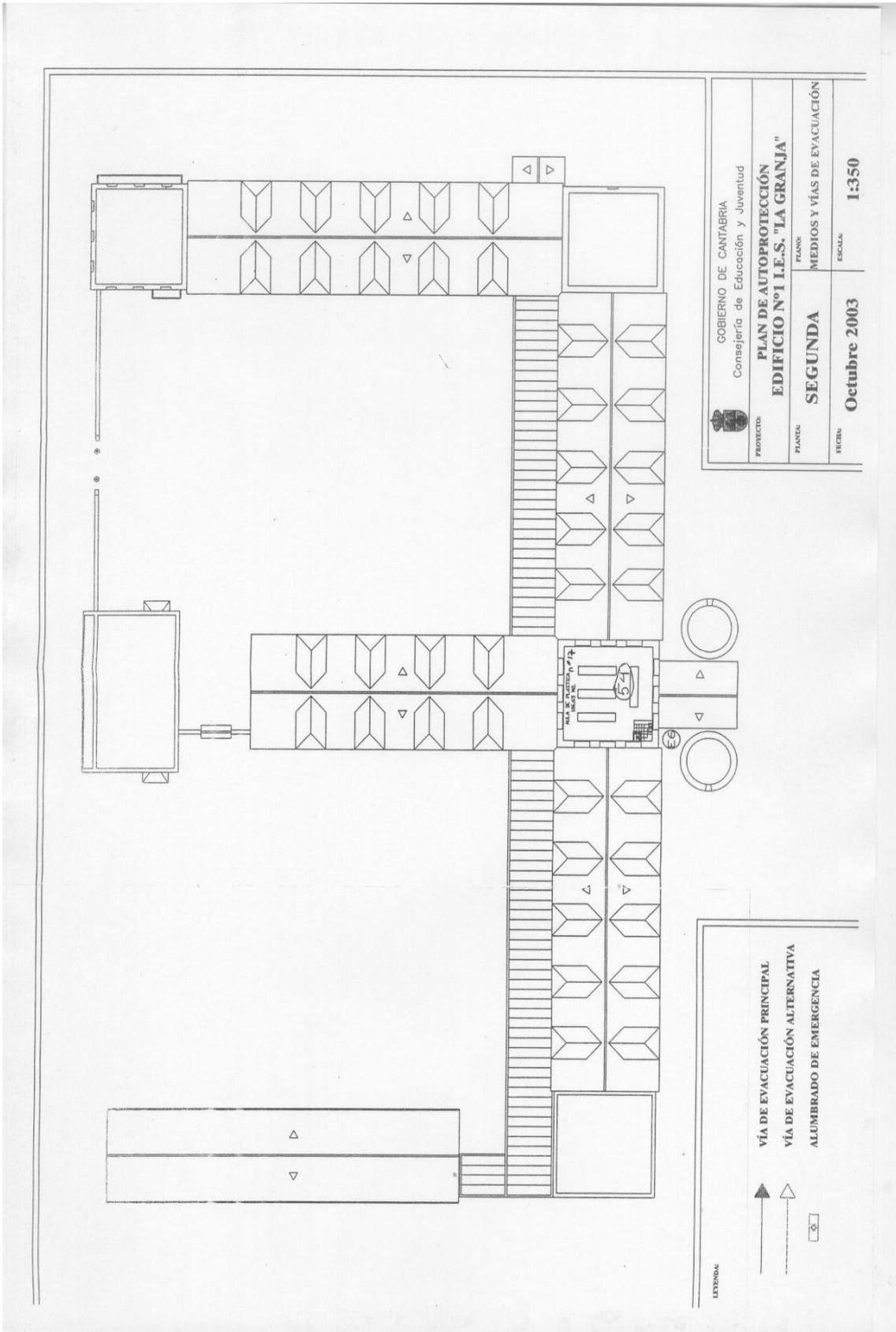
 GOBIERNO DE CANTABRIA Consejería de Educación y Juventud	
PROYECTO:	PLAN DE AUTOPROTECCIÓN EDIFICIO Nº1 I.E.S. "LA GRANJA"
PLANTA:	BAJA
FECHA:	Octubre 2003
ESCALA:	1:350

 VÍA DE EVACUACIÓN PRINCIPAL
 VÍA DE EVACUACIÓN ALTERNATIVA
 ALUMBRADO DE EMERGENCIA



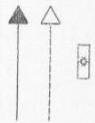
 GOBIERNO DE CANTABRIA Consejería de Educación y Juventud	
PLAN DE AUTOPROTECCIÓN EDIFICIO Nº1 I.E.S. "LA GRANJA"	
PROYECTO:	PLANTA
FECHA:	ESCALA:
PRIMERA	1:350
TÍTULO: MEDIOS Y VÍAS DE EVACUACIÓN	

 VÍA DE EVACUACIÓN PRINCIPAL
 VÍA DE EVACUACIÓN ALTERNATIVA
 ALUMBRADO DE EMERGENCIA

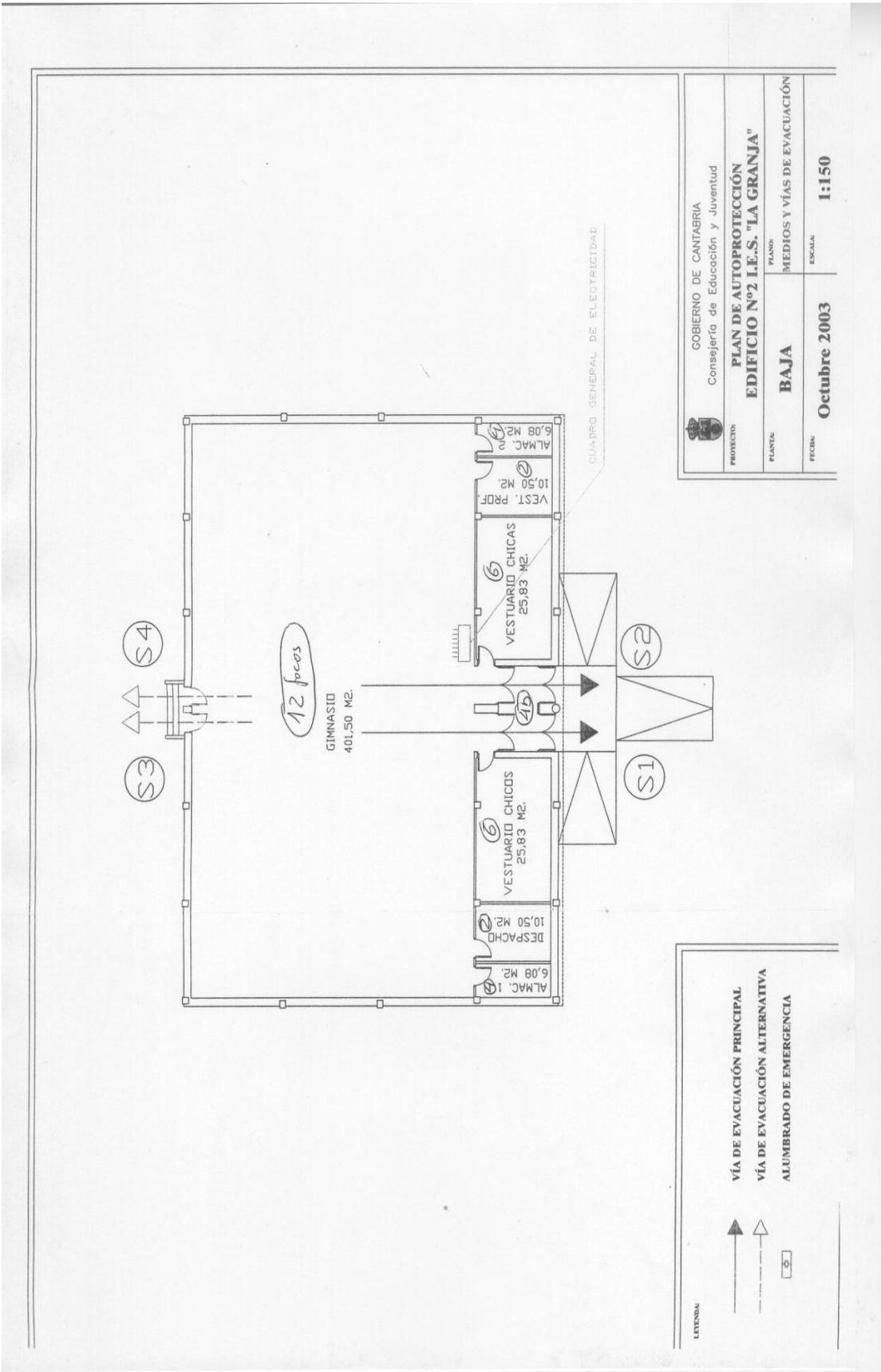


 GOBIERNO DE CANTABRIA Consejería de Educación y Juventud	
PROYECTO: PLAN DE AUTOPROTECCIÓN EDIFICIO Nº1 I.E.S. "LA GRANJA"	
PLANTA: SEGUNDA	PLANO: MEDIOS Y VÍAS DE EVACUACIÓN
FECHA: Octubre 2003	ESCALA: 1:350

VÍA DE EVACUACIÓN PRINCIPAL
VÍA DE EVACUACIÓN ALTERNATIVA
ALUMBRADO DE EMERGENCIA



LEYENDA



GOBIERNO DE CANTABRIA Consejería de Educación y Juventud	
PROYECTO: PLAN DE AUTOPROTECCIÓN EDIFICIO Nº2 I.E.S. "LA GRANJA"	
PLANTA: BAJA	PLANO: MEDIOS Y VÍAS DE EVACUACIÓN
FECHA: Octubre 2003	ESCALA: 1:150