

Curso 2019/2020

Máster en Profesor de  
Educación Secundaria  
Obligatoria y Bachillerato,  
Formación Profesional y  
Enseñanzas de Idiomas  
Especialidad Física y Química

Elaboración de un sistema para el estudio de la  
eficiencia energética de diferentes tipos de bombillas



**Universidad de Valladolid**

Alumno: Carlos Alonso Alonso  
Tutores: José M<sup>º</sup> Muñoz Muñoz  
Carlos Torres Cabrera  
Marco Antonio Gigosos Pérez

## Resumen

El presente Trabajo Fin de Máster propone la realización de una práctica de laboratorio para la asignatura de Física y Química de 3º de la ESO, en la cual se analiza el comportamiento y las características de los distintos tipos de bombillas presentes en los hogares españoles. El objetivo es transmitir a los alumnos de forma motivante y actual los contenidos fijados en el currículo para esta disciplina, el desarrollo de las competencias clave mediante la aplicación del método científico, elevar su concienciación medioambiental y mostrar aspectos de la vida cotidiana relacionados con ello.

## Abstract

This Master Thesis proposes the realization of a laboratory practice for the third year of Secondary Education, where the characteristics and performance of the different types of electric lighting present in Spanish households is analyzed. It aims to communicate in a motivating and modern way the contents in the curriculum for this subject, development of key competences through scientific method application, raise their environmental awareness and show everyday life aspects related to it.

## Índice

1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Motivación .....	1
1.2. Justificación de la Temática .....	1
1.3. Contextualización de la temática del TFM.....	2
1.3.1. Contenidos, criterios de evaluación y estándares de aprendizaje .....	2
1.3.2. Competencias clave.....	5
1.3.3. Relación con otras asignaturas .....	6
2. ASPECTOS DOCENTES Y DIDÁCTICOS .....	7
2.1. Distribución del alumnado.....	7
2.2. Temporalización de las actividades .....	7
2.3. Metodología y didáctica .....	8
2.4. Evaluación .....	9
3. LA BOMBILLA DE USO DOMÉSTICO .....	11
3.1. Características e información presente en el etiquetado .....	11
3.1.1. Flujo luminoso .....	11
3.1.2. Potencia.....	11
3.1.3. Factor de Potencia .....	11
3.1.4. Eficacia.....	12
3.1.5. Temperatura de color .....	12
3.1.6. Índice de reproducción cromática .....	12
3.1.7. Etiqueta energética de la Unión Europea .....	13
3.2. Tipos de lámparas presentes en los hogares españoles.....	14
3.2.1. Lámpara incandescente .....	14
3.2.2. Lámpara halógena .....	14
3.2.3. Lámpara de bajo consumo o fluorescente compacta.....	16
3.2.4. Lámpara LED.....	17
4. PREPARACIÓN Y MONTAJE .....	18
4.1. Construcción del dispositivo .....	18
4.2. Montaje de los circuitos.....	20
4.2.1    Circuito conectado a la lámpara.....	20
4.2.2    Circuito conectado al sensor .....	21
5. EXPERIMENTACIÓN .....	22

5.1. Estudio de la eficacia y el flujo luminoso visible emitido por distintas bombillas a voltaje constante .....	22
5.1.1 Guion de prácticas.....	22
5.1.2 Resultados y conclusiones.....	24
5.2. Estudio de la eficacia y el flujo luminoso visible e infrarrojo emitido por distintas lámparas a voltaje constante.....	25
5.2.1 Guion de prácticas.....	25
5.2.2 Resultados y conclusiones.....	27
5.3. Estudio comparativo del comportamiento de bombillas de diverso tipo al variar el voltaje.....	28
5.3.1 Guion .....	28
5.3.2 Resultados y conclusiones.....	30
5.4. Estudio comparativo bombilla de luz cálida vs luz fría .....	37
5.4.1. Guion .....	37
5.4.2. Resultados y conclusiones.....	39
6. CONCLUSIONES.....	44
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45
ANEXOS.....	47
Anexo 1. Índice de eficiencia energética .....	47
Anexo 2. Breve historia de la bombilla de uso doméstico .....	50
Anexo 3. Plantillas.....	52
Anexo 4. Resultados del estudio comparativo de una bombilla de bajo consumo de luz cálida vs luz fría .....	56
Anexo 5. Presupuesto .....	60

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Motivación

La elección de: “Elaboración de un sistema para el estudio de la eficiencia energética de diferentes tipos de bombillas” como Trabajo Fin de Máster, surge del convencimiento de que la experimentación es uno de los mejores instrumentos didácticos y pedagógicos que se pueden utilizar en la enseñanza de la ciencia.

En primer lugar, es importante que el alumno entienda que la Física no es algo dogmático e inamovible, sino que sus leyes son verificadas constantemente mediante la experimentación. Al fin y al cabo, el objetivo final de la Física es explicar de la manera más precisa posible los fenómenos que suceden en el mundo que nos rodea. Es fundamental que el alumno comprenda que la experimentación es una parte imprescindible de la Física.

Es por ello por lo que poner en contacto al alumno con el fenómeno en sí, origen de la ciencia, al fin y al cabo, es algo completamente necesario para lograr los objetivos que la enseñanza de las ciencias en general y de la Física en particular pretende alcanzar en secundaria.

### 1.2. Justificación de la Temática

Se ha escogido una práctica perteneciente al bloque de electromagnetismo debido a que tercero de la ESO es el curso en el que más se incide en esta temática.

Otro de los motivos para elegir esta temática es que las bombillas son un elemento común, cercano, presente en el día a día y en las casas de todos. Muchas veces en la docencia sucede que los alumnos erróneamente no le dan la importancia necesaria a lo visto en el aula porque no son capaces de ver el impacto que tiene y como se relaciona con sus vidas.

Además, es un tema de actualidad, puesto que en este mismo instante se está produciendo la transición hacia un tipo de bombillas más eficientes.

Por último, es una práctica que puede despertar la conciencia ecológica de los alumnos y mostrar una forma sencilla de reducir su huella ecológica.

### 1.3. Contextualización de la temática del TFM

#### 1.3.1. Contenidos, criterios de evaluación y estándares de aprendizaje

Según la legislación educativa autonómica actual, ORDEN EDU 362/2015 <sup>[1, 2, 3]</sup>, por la que se establece el currículo y se regula la implantación, evaluación y desarrollo de la Educación Secundaria Obligatoria en la comunidad de Castilla y León, la experiencia planteada en este documento se encontraría encuadrada en el bloque 4 de la asignatura de Física y Química de 3º de la ESO, denominado “La Energía”.

A continuación, se muestra una tabla en la que se describen los contenidos, criterios de evaluación y los estándares de aprendizaje evaluables relacionados con la experiencia de laboratorio propuesta:

3º ESO Física y Química		
CONTENIDO	CRITERIO DE EVALUACIÓN	ESTÁNDAR DE APRENDIZAJE
Bloque 1. La Actividad Científica		
El informe científico. Análisis de datos organizados en tablas y gráficos.	1. Reconocer e identificar las características del método científico.	1.2. Registra observaciones, datos y resultados de manera organizada y rigurosa, y los comunica de forma oral y escrita utilizando esquemas, gráficos, tablas y expresiones matemáticas.
Medida de magnitudes. Sistema Internacional de Unidades. Notación científica.	2. Valorar la investigación científica y su impacto en la industria y en el desarrollo de la sociedad.	2.1. Relaciona la investigación científica con las aplicaciones tecnológicas en la vida cotidiana.
Carácter aproximado de la medida. Cifras significativas. El trabajo en el laboratorio.	3. Conocer los procedimientos científicos para determinar magnitudes. Utilizar factores de conversión. Expresar las magnitudes utilizando submúltiplos y múltiplos de unidades, así como su resultado en notación científica.	3.1. Establece relaciones entre magnitudes y unidades utilizando, preferentemente, el Sistema Internacional de Unidades y la notación científica para expresar los resultados.

## Bloque 4. La Energía

Magnitudes eléctricas. Unidades. Conductores y aislantes.	1. Explicar el fenómeno físico de la corriente eléctrica e interpretar el significado de las magnitudes intensidad de corriente, diferencia de potencial y resistencia, así como las relaciones entre ellas.	1.2. Comprende el significado de las magnitudes eléctricas intensidad de corriente, diferencia de potencial y resistencia, y las relaciona entre sí utilizando la ley de Ohm.
Corriente eléctrica. Ley de Ohm. Asociación de generadores y receptores en serie y paralelo. Construcción y resolución de circuitos eléctricos sencillos.	2. Comprobar los efectos de la electricidad y las relaciones entre las magnitudes eléctricas mediante el diseño y construcción de circuitos eléctricos y electrónicos sencillos, en el laboratorio o mediante aplicaciones virtuales interactivas.	2.1. Distingue entre conductores y aislantes reconociendo los principales materiales usados como tales. 2.2. Construye circuitos eléctricos con diferentes tipos de conexiones entre sus elementos, deduciendo de forma experimental las consecuencias de la conexión de generadores y receptores en serie o en paralelo.
Elementos principales de la instalación eléctrica de una vivienda. Dispositivos eléctricos. Simbología eléctrica.	3. Valorar la importancia de los circuitos eléctricos y electrónicos en las instalaciones eléctricas e instrumentos de uso cotidiano, describir su función básica e identificar sus distintos componentes.	2.3. Aplica la ley de Ohm a circuitos sencillos para calcular una de las magnitudes involucradas a partir de las otras dos, expresando el resultado en las unidades del Sistema Internacional.
Energía eléctrica.	4. Conocer la forma en la que se genera la electricidad en los distintos tipos de centrales eléctricas, así como su transporte a los lugares de consumo y reconocer transformaciones cotidianas de la electricidad en movimiento, calor, sonido, luz, etc.	3.1. Asocia los elementos principales que forman la instalación eléctrica típica de una vivienda con los componentes básicos de un circuito eléctrico. 3.2. Comprende el significado de los símbolos y abreviaturas que aparecen en las etiquetas de dispositivos eléctricos. 3.3. Identifica y representa los componentes más habituales en un circuito eléctrico: conductores, generadores, receptores y elementos de control describiendo su correspondiente función. 4.1. Describe el fundamento de una máquina eléctrica, en la que la electricidad se transforma en movimiento, luz, sonido, calor, etc. mediante ejemplos de la vida cotidiana, identificando sus elementos principales.

Además, el alumno debe haber adquirido los siguientes conocimientos previos impartidos en el bloque 1, “La Actividad Científica”, y el bloque 4, “La Energía”, de la asignatura de Física y Química de 2º de la ESO, descritos en la orden anteriormente mencionada.

En la siguiente tabla se recogen dichos conocimientos directamente relacionados con la experiencia desarrollada en esta práctica.

2º ESO Física y Química		
CONTENIDO	CRITERIO DE EVALUACIÓN	ESTÁNDAR DE APRENDIZAJE
Bloque 1. La Actividad Científica		
Medida de magnitudes. Unidades.	1. Conocer los procedimientos científicos para determinar magnitudes.	1.1 Establece relaciones entre magnitudes y unidades utilizando preferentemente el Sistema Internacional de Unidades y la notación científica para expresar los resultados.
Sistema Internacional de Unidades.	Realizar cambios entre unidades de una misma magnitud utilizando factores de conversión.	2.1. Reconoce e identifica los símbolos más frecuentes utilizados en el etiquetado de productos químicos e instalaciones, interpretando su significado.
Redondeo de resultados. El trabajo en el laboratorio.	2. Reconocer los materiales e instrumentos básicos presentes en los laboratorios de Física y de Química. Conocer, y respetar las normas de seguridad en el laboratorio y de eliminación de residuos para la protección del medioambiente.	2.2. Identifica material e instrumentos básicos de laboratorio y conoce su forma de utilización para la realización de experiencias, respetando las normas de seguridad e identificando actitudes y medidas de actuación preventivas.
Bloque 4. La Energía		
Energía. Unidades. Tipos Transformaciones de la energía y su conservación.	1. Reconocer que la energía es la capacidad de producir transformaciones o cambios. 2. Identificar los diferentes tipos de energía puestos de manifiesto en fenómenos cotidianos y en experiencias sencillas realizadas en el laboratorio.	1.1. Argumenta que la energía se puede transferir, almacenar o disipar, pero no crear ni destruir, utilizando ejemplos. 2.1. Relaciona el concepto de energía con la capacidad de producir cambios e identifica los diferentes tipos de energía que se ponen de manifiesto en situaciones cotidianas explicando las transformaciones de unas formas a otras.



### 1.3.2. Competencias clave

La Ley Orgánica 8/2013 para la mejora de la calidad educativa (LOMCE) <sup>[4, 5]</sup>, concreta siete competencias clave que pretende que los individuos logren a través de la enseñanza para alcanzar su pleno desarrollo.

De estas Competencias Clave del Sistema Educativo Español, enumeradas y descritas en la Orden ECD/65/2015 <sup>[6]</sup>, la práctica propuesta en este TFM contribuye al desarrollo de varias de ellas, las cuales son:

#### **CMCT: Competencia Matemática y Competencias Básicas en Ciencia y Tecnología**

A través de la utilización de herramientas de medición, toma de datos, cálculo de magnitudes y resolución de cuestiones y problemas de carácter científico.

#### **CPAA: Competencia para Aprender a Aprender**

A través de la aplicación del método científico por parte de los alumnos en el laboratorio.

#### **SIE: Sentido de la Iniciativa y Espíritu Emprendedor**

Al trabajar en el laboratorio los alumnos descubrirán como afrontar los problemas de forma creativa, aprenderán de sus errores, buscar soluciones y llevarlas a cabo.

#### **CSC: Competencia Sociales y Cívicas**

La realización del trabajo en parejas fomenta el trabajo colaborativo, el debate y el intercambio de opiniones en los alumnos.

#### **CD: Competencia Digital**

La competencia digital se trabaja en la elaboración del informe de práctica, ya sea mediante la búsqueda de información en internet o el uso de herramientas de ofimática.

### 1.3.3. Relación con otras asignaturas

La temática abarcada en esta práctica está además relacionada con contenidos pertenecientes a otras asignaturas:

#### **Tecnología:**

Según la legislación educativa autonómica actual, la ORDEN EDU 362/2015, la asignatura de tecnología pretende que los alumnos observen en su entorno los objetos y los avances que les rodean y vean en ellos el resultado de un proceso que abarca la ciencia y la técnica, el pensamiento científico y las habilidades prácticas.

Varios de los conceptos fundamentales para la realización y comprensión de esta práctica están presentes en esta asignatura, en contenidos como “Corriente continua y corriente alterna” o “Aparatos de medida básicos: voltímetro, amperímetro, y polímetro. Realización de medidas sencillas. Potencia y energía eléctrica”, pertenecientes ambos al bloque 4 “Estructuras y mecanismos: máquinas y sistemas” de la asignatura en 3º de la ESO. O más notablemente, “Efectos de la corriente eléctrica: luz y calor. Análisis de objetos técnicos que apliquen estos efectos.”, el cual pertenece al cuarto bloque de la asignatura de Tecnología en 1º de la ESO.

#### **Matemáticas:**

Durante la realización de esta práctica se requerirá conocer y aplicar diversos conceptos matemáticos. Así mismo, la toma de datos durante la experiencia, a la vez que su representación e interpretación es una muestra de la importancia de las matemáticas para las demás ciencias y la tecnología.

#### **Otras asignaturas:**

Los contenidos presentes en esta práctica vuelven a aparecer en cursos posteriores, no solo en las asignaturas de Física o Química, como es de esperar, sino que, debido a su gran transversalidad al tratarse temas como la ecología y la sostenibilidad, aparecen en asignaturas de bachillerato tales como Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente, Cultura Científica o Tecnología Industrial.

## 2. ASPECTOS DOCENTES Y DIDÁCTICOS

### 2.1. Distribución del alumnado

La distribución de alumnos en el laboratorio será en grupos pequeños, preferiblemente por parejas, siempre y cuando el número de alumnos y de puestos de trabajo disponibles en el laboratorio así lo permitan.

### 2.2. Temporalización de las actividades

Teniendo en cuentas que en un instituto las clases duran 50 minutos, se estima que serán necesarias cinco sesiones para realizar esta práctica. Cada una de ellas se detalla a continuación.

- **Sesión 1.**

En la primera sesión, desarrollada en el aula, el profesor presentará el tema, explicará los objetivos de la práctica, describirá las actividades de las que consiste e informará acerca de cuáles serán los criterios de evaluación. Posteriormente entrará en detalles acerca de qué se va a medir y como se van a realizar dichas medidas. Finalmente aportará fuentes de información adicionales que puedan consultar los alumnos que así lo deseen, y se fijará la distribución de los grupos de trabajo.

- **Sesión 2.**

Ya en el laboratorio, en esta sesión los alumnos procederán a la construcción de la caja. Al ser la primera sesión en el laboratorio, el profesor incidirá en las normas de seguridad a respetar en el laboratorio y su importancia.

- **Sesiones 3 y 4.**

Realización de la práctica. Al comienzo de la primera sesión, el profesor montará delante de los alumnos los circuitos que posteriormente ellos tendrán que construir durante la práctica, momento que aprovechará para volver a incidir sobre las normas de seguridad. Los montajes preparados por el profesor se quedarán como muestra para los alumnos durante las siguientes sesiones.

Nada más comenzar cada sesión se les proporcionará a los alumnos los guiones de prácticas. El profesor se encargará de resolver cualquier duda que les surja a los alumnos, con el objetivo de que sean capaces de completar la experiencia de forma satisfactoria. Al final de la última sesión, el profesor pedirá a los alumnos que interpreten los resultados obtenidos, ayudándoles a comprender lo que hayan pasado por alto o no comprendan.

- **Sesiones 5 y 6.**

En las dos últimas sesiones, desarrolladas en el aula, cada grupo de trabajo realizará una breve exposición de no más de 10 minutos, incluyendo un corto intervalo de tiempo para preguntas, de las conclusiones resultantes del trabajo acometido al resto de la clase.

### 2.3. Metodología y didáctica

En líneas generales, el objetivo es utilizar una metodología activa y adaptable al grupo de alumnos y sus circunstancias, basada en los ideales constructivistas para lograr un aprendizaje significativo.

Las actividades propuestas son de diversos tipos, tanto inductivas, en las que el proceso de aprendizaje es a través de la observación activa, como deductivas, en las que el alumno relacionará los nuevos conocimientos con los que ya posee, como también de indagación. Esta variedad en el carácter de las actividades propuestas es una de las razones por las que considero que una práctica de laboratorio es una excelente

herramienta de aprendizaje. Otro motivo por el cual este tipo de actividades novedosas son beneficiosas es porque se rompe con la rutina en el aula.

A lo largo de la práctica se tratará de promover el trabajo en grupo, para mejorar la capacidad comunicativa y fomentar el respeto mutuo, de forma que los alumnos aprendan a solucionar conflictos que puedan surgir más adelante en el mundo laboral.

El objetivo final es que el alumno aprenda siendo el protagonista de un proceso de aprendizaje que mezcla teoría y aplicación, mientras el docente se dedica a guiarlos, introduciendo cada una de las actividades y solucionando cualquier duda que le pueda surgir al alumno.

#### 2.4. Evaluación

Para la evaluación de los contenidos y competencias clave adquiridos por los estudiantes, se tendrán en cuentas los siguientes elementos:

- El trabajo en el laboratorio
- La actitud y el trabajo en grupo
- El cuaderno de laboratorio
- Informe de la práctica

El 20% de la nota se corresponde con la evaluación continua del trabajo del alumno en el laboratorio. Se valorará en el alumno la habilidad a la hora de realizar las distintas habilidades, el cuidado del material, tener una actitud participativa, el trabajo en grupo y el trato correcto tanto con los demás compañeros como con el profesor.

Otro 20% de la calificación final dependerá del cuaderno de trabajo. A la hora de evaluar el cuaderno de laboratorio, se tendrán en cuenta elementos como el orden, la limpieza, la rigurosidad a la hora de tomar datos, llevar el cuaderno al día y el correcto uso del lenguaje.

El 30% de la calificación final se corresponde con la exposición oral de cada grupo de trabajo al resto de compañeros. En ella deberán estar presentes tanto los datos

obtenidos, así como como su interpretación. Se valorará el nivel de conocimiento mostrado, el modo de explicarlo y la compenetración.

Tras la realización de la prácticas cada alumno deberá elaborar un informe de una de las prácticas realizadas. Debe ser algo personal e individual, no copiado de otro alumno.

La estructura del informe será la siguiente:

1. Portada: En ella debe constar el título de la práctica, el nombre del alumno, la asignatura, el curso, la fecha y el nombre del profesor.
2. Título
3. Objetivo: Cual es la finalidad de la práctica.
4. Material: Listado de material empleado.
5. Procedimiento: Se describe la manera en la que se ha realizado la práctica.
6. Resultados y conclusiones: Se muestran los resultados obtenidos por el alumno, y a la luz de dichos resultados, a que conclusiones ha llegado.
7. Bibliografía

La calificación del informe se corresponde con el 30% de la nota.

## 3. LA BOMBILLA DE USO DOMÉSTICO

### 3.1. Características e información presente en el etiquetado

Cuando sólo se podían encontrar bombillas incandescentes en el mercado, la potencia era prácticamente la única información presente en el etiquetado. Con la llegada de los nuevos tipos de lámparas, con una gran variedad tanto en comportamiento como en el tipo de luz emitida, y el incremento en regulación y normativa al que están sujetas, la cantidad de información presente en el embalaje ha incrementado considerablemente.



Imagen 3.1: Información presente en el embalaje de una bombilla

#### 3.1.1. Flujo luminoso

El flujo luminoso es la medida de la cantidad de luz visible que emite una fuente. Su unidad de medida en el Sistema Internacional de Unidades es el lúmen. A mayor número de lúmenes, más intensa será la luz emitida por una bombilla.

#### 3.1.2. Potencia

En el caso que nos ocupa, la potencia es la cantidad de energía que consume la bombilla durante su funcionamiento. Su unidad de medida en el Sistema Internacional de Unidades es el vatio. Cuanto mayor sea el número de vatios de una bombilla, mayor será su consumo.

#### 3.1.3. Factor de Potencia

Un elemento que ha empezado a aparecer recientemente en el etiquetado de las bombillas es el factor de potencia ó PF, del término inglés Power Factor. Una bombilla con un factor de potencia bajo consume más corriente que otra con un factor de

potencia alto que tenga la misma potencia. Las corrientes más altas aumentan la energía que se pierde en el sistema de distribución y requieren cables más grandes y mejores equipos. Debido al coste de estos equipos y el desperdicio de energía, las compañías eléctricas generalmente aplican tarifas mayores a instalaciones industriales o comerciales con un factor de potencia bajo. En el caso de España, esto también es así para zonas comunes de una vivienda como pueda ser un garaje comunitario. El factor de potencia es adimensional y toma valores entre 0 y 1.

#### 3.1.4. Eficacia

La eficacia de una bombilla es el cociente del flujo luminoso por la potencia. Es decir, es el número de lúmenes que emite por vatio consumido. La energía empleada para todo lo que no sea emitir luz es despreciada.

#### 3.1.5. Temperatura de color

La temperatura de color o CCT, proveniente del término inglés Correlated Color Temperature, hace referencia al tono de la luz emitida por una bombilla. Para ello lo que se hace es dar la temperatura, expresada en Kelvin, que debería tener un cuerpo negro para emitir luz con el mismo tono que la bombilla. Un cuerpo negro es un objeto ideal que cuando emite radiación en equilibrio térmico, dicha radiación está totalmente caracterizada por la temperatura de este.

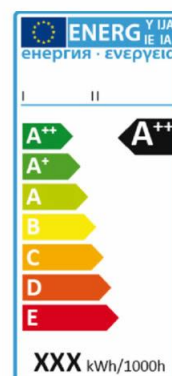
#### 3.1.6. Índice de reproducción cromática

El índice de reproducción cromática o CRI, del inglés Color Rendering Index, es una medida de cuanto se aproxima el color que muestran los objetos al ser iluminados por una bombilla respecto a cuándo lo son por una luz patrón. La escala va del 0 (peor) al 100 (mejor).



### 3.1.7. Etiqueta energética de la Unión Europea

Es obligatorio que en el embalaje de una bombilla se encuentre la etiqueta energética de la Unión Europea. Según el Reglamento delegado (UE) No 874/2012 <sup>[7, 8]</sup> de la comisión del 12 de julio de 2012, en la cual se regulan los criterios para la calificación de lámparas no direccionales, las bombillas se califican según su índice de eficiencia energética de la siguiente manera:



*Imagen 3.2: Etiqueta energética europea*

Fuente: <https://en.wikipedia.org>

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

El índice de eficiencia energética depende del flujo luminoso y potencia de la bombilla, y está definido en la normativa europea anteriormente mencionada. Más información al respecto se encuentra en los anexos.

## 3.2. Tipos de lámparas presentes en los hogares españoles

### 3.2.1. Lámpara incandescente

La lámpara incandescente es el tipo de bombilla que podemos adquirir hoy en día que más tiempo lleva comercializándose.

Su funcionamiento se basa en hacer circular una corriente eléctrica por un filamento de tungsteno de forma que este alcance una temperatura lo suficientemente elevada como para emitir luz. Para evitar que el filamento se volatilice, este se encuentra encerrado dentro de una ampolla de vidrio llena de un gas inerte. Se completa con un casquillo metálico, en el que se ubican las conexiones eléctricas.



*Imagen 3.3: Bombilla incandescente*

*Fuente: <https://en.wikipedia.org>*

Con el uso el tungsteno se va evaporando y se deposita sobre la ampolla de vidrio, reduciendo la transparencia de esta, a la vez que el grosor del filamento se reduce, hasta que finalmente se rompe y la bombilla deja de funcionar. El principal inconveniente de las lámparas incandescentes es que solo una pequeña parte de la energía que consumen es empleada en producir luz visible, la mayoría es transformada en calor o radiación no visible, como la infrarroja.

### 3.2.2. Lámpara halógena

La lámpara halógena es un perfeccionamiento de la lámpara incandescente. Su funcionamiento se basa en el mismo principio, pero con varias mejoras para obtener un mejor rendimiento.

Como se había mencionado anteriormente, en las lámparas incandescentes tradicionales el tungsteno del filamento se va evaporando y se deposita sobre la ampolla de vidrio, lo cual reduce su transparencia. Además, la velocidad a la que esto sucede aumenta con la temperatura, lo cual impide a las lámparas incandescentes trabajar a una temperatura



*Imagen 3.4: Bombilla halógena*

*Fuente: <https://en.wikipedia.org>*

superior, de forma que un mayor porcentaje de la radiación que emiten sea en el rango del visible, sin reducir notablemente su durabilidad.

Sin embargo, en presencia de un halógeno, se establece una reacción química reversible con el tungsteno evaporado. Este reacciona con el halógeno para formar los correspondientes halogenuros. Por otra parte, los halogenuros se disocian a altas temperaturas, las cuales se dan en las inmediaciones del filamento, depositando de

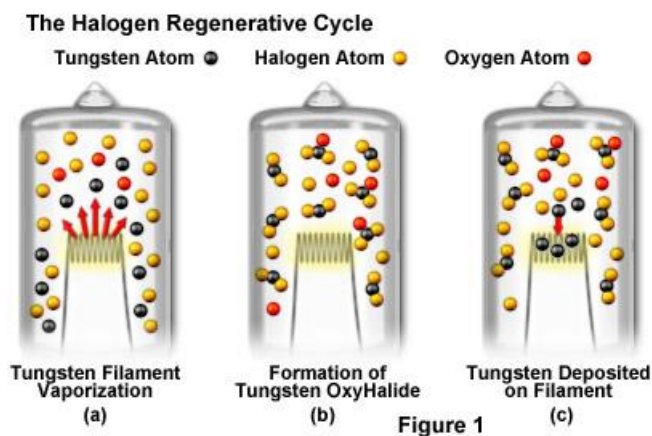


Imagen 3.5: Ciclo halógeno

Fuente: <http://zeiss-campus.magnet.fsu.edu>

nuevo el tungsteno sobre el filamento y liberando al halógeno, el cual queda disponible para recombinarse de nuevo, estableciéndose así un proceso cíclico denominado ciclo halógeno [9]. De esta forma, aumenta la vida útil del filamento y se evita el oscurecimiento de la bombilla.

Para que el ciclo halógeno tenga lugar, una lámpara halógena debe funcionar a una temperatura aproximadamente 250°C más alta que el de una lámpara incandescente normal, por lo que la ampolla de las lámparas halógenas está hecha de cuarzo fundido para soportar estas temperaturas tan elevadas.

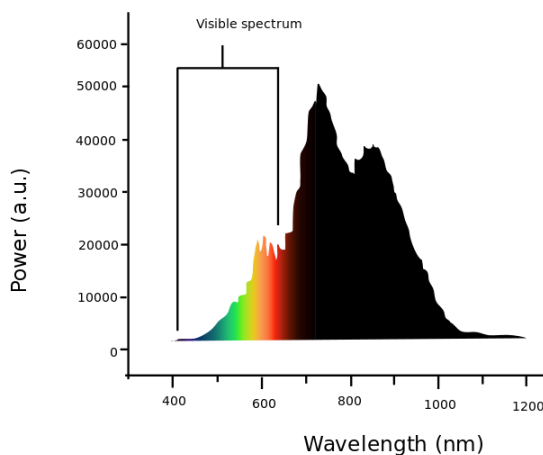


Imagen 3.6: Espectro de emisión de una bombilla halógena.

Fuente: <https://en.wikipedia.org>

Este incremento en la temperatura

de funcionamiento provoca que las lámparas halógenas emitan más radiación en el rango del visible, mejorando su eficacia.

### 3.2.3. Lámpara de bajo consumo o fluorescente compacta

La lámpara fluorescente compacta (CFL), también conocida como lámpara de bajo consumo o fluocompacta <sup>[10]</sup>, es un tipo de lámpara que se desarrolló a partir de tecnología ya conocida, empleada en los tubos fluorescentes, para obtener bombillas más eficientes que las lámparas incandescentes, con el objetivo de reemplazarlas.

En ellas la luz se genera mediante la descarga eléctrica producida entre dos electrodos, situados en los extremos del tubo de vidrio. Dentro del tubo se encuentra un gas noble y algo de vapor de mercurio, el cual es excitado por la descarga, lo que provoca que emita radiación ultravioleta. Esta es absorbida por el recubrimiento interno del vidrio, unos compuestos químicos comúnmente conocido como fósforos, a pesar de que no suelen contener dicho elemento, que la reemiten como luz visible.



*Imagen 3.7: Bombilla CFL*

*Fuente: <https://www.ebay.com>*

Las lámparas fluorescentes compactas son mucho más eficientes que las lámparas incandescentes, pero tienen varios inconvenientes.

Como se ha mencionado anteriormente, contienen en su interior mercurio, por lo que deben reciclarse apropiadamente una vez terminada su vida útil.

Otro inconveniente es que tardan un tiempo en alcanzar su máxima luminosidad, algo que, en lugares de paso, tales como pasillos, puede resultar molesto y poco práctico.

La reproducción cromática no es idéntica a la de las lámparas incandescentes, que emiten radiación de cuerpo negro casi perfecta, como la del sol. El CRI, mencionado anteriormente, se utiliza para expresar cuanto se asemejan a dichas fuentes.

Los ciclos de encendido y apagado provocan el deterioro de sus componentes electrónicos, de manera que las bombillas sometidas a frecuentes encendidos pueden

ver su durabilidad reducida considerablemente. Además, las altas temperaturas también pueden dañarlos, contribuyendo asimismo a la reducción de su vida útil.

#### 3.2.4. Lámpara LED

Una lámpara LED es un tipo de bombilla para el uso en dispositivos de iluminación el cual emplea uno o más Diodos Emisores de Luz (LED) para producir luz.

Un diodo LED es un dispositivo semiconductor que emite luz cuando la corriente eléctrica pasa a través de él. Cuando esto sucede, los electrones en el semiconductor pasan de la banda de conducción a la de valencia, de menor energía, emitiendo fotones. El color de la luz emitida depende de la energía de los fotones, la cual está determinada por la diferencia de energía entre ambas bandas <sup>[11]</sup>.



Las lámparas LED son muy eficientes a la hora de producir luz, pero no están exentas de limitaciones <sup>[12, 13]</sup>. *Imagen 3.8: Bombilla LED* Fuente: <https://www.gelighting.com/>

La reproducción cromática no es idéntica a la de las lámparas incandescentes, que emiten radiación de cuerpo negro casi perfecta, como la del sol. El CRI, mencionado anteriormente, se utiliza para expresar cuanto se asemejan a dichas fuentes.

Las lámparas LED son vulnerables al calor excesivo, el cual reduce su vida útil. Esto es un problema a la hora de desarrollar bombillas que reemplacen a las lámparas incandescentes de más potencia. Es por este mismo motivo por el cual se debe verificar su compatibilidad para el uso en instalaciones total o parcialmente cerradas.

Las lámparas LED parpadean. Dependiendo de las condiciones en las que esté trabajando y sus componentes electrónicos, dicho parpadeo se puede volver perceptible al ojo humano. La exposición prolongada a luz parpadeante puede provocar dolores de cabeza y fatiga visual.

## 4. PREPARACIÓN Y MONTAJE

Para la ejecución de las prácticas, en las cuales se tomarán medidas de la emisión de diversas bombillas, es necesario disponer un dispositivo que cumpla los siguientes requisitos:

- Aísle a los sensores y la bombilla en su interior de cualquier fuente de luz exterior que pueda interferir en los resultados.
- Refleje la mayor cantidad posible de luz que incida sobre su superficie interna.
- Disponga de conexiones para los aparatos necesarios para las mediciones, esto es, el sensor y la bombilla.
- Evite que la luz de la bombilla incida directamente en el sensor.

Los alumnos se encargarán de construirlo partiendo de una caja de cartón. Además de la caja, para poder realizar las prácticas será necesario el montaje de dos pequeños circuitos.

### 4.1. Construcción del dispositivo

El primer paso para la realización de las prácticas, es fabricar el dispositivo que posteriormente se empleará para tomar las medidas en el laboratorio.

Para su construcción serán necesarios los siguientes materiales:

- Caja de cartón
- Cartulina blanca
- Tijeras
- Punzón
- Papel de lija de grano fino
- Cinta aislante blanca
- Portalámparas con enchufe
- Placa prototipo
- Cables de cobre

Para la preparación de la caja se partirá de una caja de cartón, aproximadamente del tamaño de una caja de zapatos, la cual habrá que forrar por dentro de cartulina blanca, tanto la caja en sí como la tapa, para minimizar las pérdidas por absorción.



*Imagen 4.2: Placa prototipo*

Fuente:  
<https://www.ebay.com>

El siguiente paso es practicar un orificio *Imagen 4.1: Portalámparas* en uno de los lados de la caja más separados entre sí, lo suficientemente grande como para poder colocar el portalámparas. Para ello serán necesarios el punzón y unas tijeras. Suavizar los bordes con la ayuda del papel de lija. Una vez terminado, colocar el casquillo y asegurarse que queda bien fijo, utilizando cinta adhesiva si fuese necesario.

Fuente:  
<https://www.ebay.com>

Fijar la placa prototipo en el lado opuesto al agujero con cinta aislante blanca. Una vez esté bien sujeta, abrir un pequeño orificio en la caja con la ayuda del punzón, lo suficientemente grande como para que pasen los cables con facilidad, los cuales se conectan a la placa prototipo. Finalmente cubrir casi toda la placa con cartulina blanca, dejando solamente expuesta la parte en la irán conectados los sensores.



*Imagen 4.3: Detalle de la parte trasera*

El último paso es adherir una pantalla de cartulina a mitad de la distancia entre el portalámparas y la placa con cinta adhesiva, para evitar que la luz de la bombilla incida directamente en el sensor.





**Imagen 4.4:** Montaje completo con bombilla. El orificio para el acceso a la placa prototipo tiene el tamaño mínimo necesario para permitir colocar los sensores.

## 4.2. Montaje de los circuitos

Además de la caja, para poder realizar las prácticas los alumnos tendrán que montar dos pequeños circuitos. Uno es al que irá conectado al portalámparas, en el que pondremos la bombilla, y el otro circuito es el que irá conectado al sensor. Su montaje se describe a continuación.

### 4.2.1 Circuito conectado a la lámpara

El circuito al que estará conectada la bombilla consiste en una fuente de corriente alterna, regulable en voltaje, a la cual se



**Imagen 4.5:** Fuente de voltaje regulable

Fuente: <https://www.ebay.com>

conectará en paralelo un vatímetro con el que se medirá el voltaje, la potencia real, el factor de potencia y la potencia aparente. Finalmente irá conectado en paralelo con el vatímetro el portalámparas.



**Imagen 4.6:** Vatímetro

Fuente: <https://www.ebay.com>



#### 4.2.2 Circuito conectado al sensor

Para el montaje de este circuito se utilizarán los siguientes elementos:

- Fotodiodo
- Fotorresistencia
- Multímetro
- Pila de 9V

La configuración de este circuito dependerá del tipo de sensor conectado dentro de la caja.

Cuando el sensor empleado sea la fotorresistencia, se cerrará el circuito conectando ambos extremos a los terminales de un multímetro, con el cual se medirá su resistencia. Una fotorresistencia o LDR <sup>[14]</sup> es un componente electrónico pasivo cuya resistencia disminuye al incidir luz, en el caso particular de la utilizada en esta experiencia luz visible, sobre su superficie sensible. Por lo tanto, la resistencia medida en el multímetro será inversamente proporcional al flujo luminoso visible emitido por la bombilla.



*Imagen 4.7: Fotorresistencia*

*Fuente: <https://www.amazon.es>*

Un fotodiodo <sup>[15]</sup> es un dispositivo semiconductor sensible a la luz. En nuestro caso, al emplear un fotodiodo de silicio, concretamente a la luz visible y al infrarrojo cercano. Mientras está polarizado en inversa, al incidir luz sobre él genera una corriente eléctrica. Es por ello por lo que cuando se tomen medidas con él, se conectará en serie una pila de 9 voltios para polarizarlo en inversa, para asegurarse que trabaje siempre en la zona apropiada. Además de la pila se conectará también en serie un multímetro, con el cual se medirá la intensidad de la corriente generada por el fotodiodo. Cuanto mayor sea ésta, mayor será el flujo luminoso emitido por la bombilla en el rango al que el fotodiodo es sensible, es decir, visible e infrarrojo.



*Imagen 4.8: Fotodiodo*

*Fuente: <http://www.ibsstore.com>*

## 5. EXPERIMENTACIÓN

A continuación se exponen las prácticas que se pueden realizar con el equipo preparado anteriormente, los correspondientes guiones de prácticas que serán entregados a los alumnos, y los resultados obtenidos.

### 5.1. Estudio de la eficacia y el flujo luminoso visible emitido por distintas bombillas a voltaje constante

#### 5.1.1 Guion de prácticas

#### **Título: Estudio de la eficacia y el flujo luminoso visible emitido por distintas bombillas a voltaje constante**

##### **1. Objetivo**

En este experimento mediremos el flujo luminoso visible y la eficacia de diferentes bombillas en condiciones normales de uso, es decir, a 230 voltios.

##### **2. Introducción**

El ser humano ha empezado a darse cuenta del impacto que tiene su actividad en el medio ambiente, y ha comenzado a buscar formas de reducir su huella ecológica, con el objetivo de lograr una mayor sostenibilidad. Una de las maneras de alcanzar dicho objetivo es reducir el consumo energético. Con esa intención se han desarrollado nuevos tipos de bombillas, más eficientes, que sustituyan a las que se han empleado tradicionalmente en los hogares.

En esta práctica vamos a analizar cómo de eficaces son cada una de ellas.

### 3. Materiales

- Fuente de voltaje regulable
- Vatímetro
- Un mínimo de cuatro bombillas, de al menos cuatro tipos distintos, todas con el mismo casquillo y de luz cálida
- La caja
- Fotorresistencia
- Multímetro

### 4. Procedimiento Experimental

Lo primero será el montaje de la práctica. Para ello el profesor tendrá un montaje preparado que sirva de ejemplo.

Se coloca la fotorresistencia en la placa prototipo y cerramos el circuito con un multímetro, con el que mediremos la resistencia. Posteriormente conectar los cables del portalámparas al vatímetro, y enchufar éste a la fuente de voltaje, **asegurándose** previamente de que está **apagada**.

Una vez esté listo el montaje:

1. Enroscar la primera bombilla en el casquillo.
2. Encender la fuente y ajustarla a 230 voltios.
3. Asegurarse de que la bombilla funciona correctamente. Si es así, cerrar la tapa.
4. Anotar las mediciones de resistencia, voltaje y potencia proporcionadas por el multímetro y el potenciómetro.
5. Apagar la fuente y retirar la bombilla con **cuidado** porque puede estar **caliente**.
6. Realizar esta experiencia con cada una de las bombillas.

### 5. Resultados experimentales y conclusiones

- Elaborar una tabla con los datos obtenidos y calcular la eficacia de cada una de las bombillas.

- Con la ayuda de la plantilla de hoja de cálculo suministrada por el profesor, representar gráficamente la eficacia de cada una de las bombillas. Las muestras de las plantillas se encuentran en los anexos.

### 5.1.2 Resultados y conclusiones

Los datos obtenidos se recogen en la siguiente tabla:

Bombilla	Voltaje (V)	Factor Potencia	Potencia (W)	Potencia Aparente (VA)	Resistencia de la fotocélula (k $\Omega$ )	Flujo luminoso (unidades arbitrarias)	Eficacia (Flujo luminoso / W)
Incandescente 40W	231,2	1	39	39	0,485	2,06	0,053
Halógena 28W	232,1	1	29	30	0,616	1,62	0,056
CFL 2700K 8W	230,6	0,65	8	13	0,594	1,68	0,21
LED 3000K 6W	231,6	0,56	6	13	0,512	1,95	0,33
LED 6400K 6W	231,6	0,57	6	13	0,585	1,71	0,28
CFL 2700K 11W	230,8	0,66	11	16	0,49	2,04	0,19
CFL 6500K 11W	231,4	0,66	11	16	0,566	1,77	0,16
CFL 2700K 18W	231,1	0,66	18	25	0,3458	2,89	0,16

Si consideramos la eficiencia en términos de flujo luminoso emitido en el visible por vatio, obtenemos que la bombilla más eficiente es la bombilla LED, seguida de la fluocompacta, la halógena y finalmente, como la menos eficiente de todas tenemos la bombilla incandescente.

Por lo tanto, si nuestro objetivo es simplemente iluminar, lo haremos de la forma más eficiente utilizando bombillas LED.

Si bien el factor de potencia de las bombillas incandescente y halógena es 1, en el caso de la bombilla de bajo consumo y la LED éste va a depender de la electrónica que lleven integrada. En nuestro caso las bombillas LED empleadas tienen un factor de potencia bastante bajo.

El **tiempo** estimado para que los alumnos completen esta práctica es de **una sesión**.

## 5.2. Estudio de la eficacia y el flujo luminoso visible e infrarrojo emitido por distintas lámparas a voltaje constante

### 5.2.1 Guion de prácticas

#### **Título: Estudio de la eficacia y el flujo luminoso visible e infrarrojo emitido por distintas bombillas a voltaje constante**

##### **1. Objetivo**

En este experimento mediremos el flujo luminoso visible e infrarrojo y la eficacia de diferentes bombillas en condiciones normales de uso, es decir, a 230 voltios.

##### **2. Introducción**

El principal uso que se le da a las bombillas presentes en los hogares españoles es iluminar, pero éstas no tienen por qué emitir solo radiación visible. En esta práctica vamos a estudiar la radiación emitida en el espectro infrarrojo por parte de los diversos tipos de bombillas.

##### **3. Materiales**

- Fuente de voltaje regulable
- Vatímetro
- Un mínimo de cuatro bombillas, de al menos cuatro tipos distintos, todas con el mismo casquillo y de luz cálida
- La caja
- Fotodiodo
- Pila de 9V
- Multímetro

#### 4. Procedimiento Experimental

Lo primero será el montaje de la práctica. Para ello el profesor tendrá un montaje preparado que sirva de ejemplo.

Se coloca el fotodiodo en la placa prototipo, y con la pila de 9V lo polarizamos en inversa para asegurarnos de que trabaja en la zona en la que tiene el comportamiento de V respecto de I deseado. Cierra el circuito un multímetro, con el que mediremos la intensidad. Posteriormente conectar los cables del portalámparas al vatímetro, y enchufar éste a la fuente de voltaje, **asegurándose** previamente de que está **apagada**.

Una vez esté listo el montaje:

1. Enroscar la primera bombilla en el casquillo.
2. Encender la fuente y ajustarla a 230 voltios.
3. Asegurarse de que la bombilla funciona correctamente. Si es así, cerrar la tapa.
4. Anotar las mediciones de intensidad de corriente, voltaje y potencia proporcionadas por el multímetro y el potenciómetro.
5. Apagar la fuente y retirar la bombilla con **cuidado** porque puede estar **caliente**.
6. Realizar esta experiencia con cada una de las bombillas.

#### 5. Resultados experimentales y conclusiones

- Elaborar una tabla con los datos obtenidos y calcular la eficacia de cada una de las bombillas.
- Con la ayuda de la plantilla de hoja de cálculo suministrada por el profesor, representar gráficamente la eficacia de cada una de las bombillas.

## 5.2.2 Resultados y conclusiones

Los datos obtenidos se recogen en la siguiente tabla:

Bombilla	Voltaje (V)	Factor Potencia	Potencia (W)	Potencia Aparente (VA)	Intensidad ( $\mu\text{A}$ )	Eficacia (Intensidad / Potencia)
Incandescente 40W	231,5	1	39	39	1554	39,85
Halógena 28W	231,2	1	29	30	1049	36,17
CFL 2700K 8W	231,4	0,65	8	13	60,7	7,59
LED 3000K 6W	231,1	0,56	6	13	87,3	14,55
LED 6400K 6W	231,2	0,57	6	13	60,9	10,15
CFL 2700K 11W	231,1	0,66	11	16	76,1	6,92
CFL 6500K 11W	231,2	0,66	11	16	59,8	5,44
CFL 2700K 18W	231,2	0,66	18	25	153,2	8,51

En comparación con los resultados del apartado anterior, este estudio arroja unos datos a primera vista sorprendentes: Tanto la bombilla incandescente como la halógena emiten una cantidad de radiación infrarroja sorprendentemente elevada, sobre todo si lo comparamos con una bombilla LED o CFL de similares características de emisión en el visible.

Es más, en estas condiciones la bombilla más eficiente es la incandescente, seguida de la halógena, y ambas muy por encima de las bombillas LED y CFL, que son las menos eficiente de todas.

Esto se debe a que las bombillas incandescentes y halógenas son mucho más eficientes en su funcionamiento. Lo que sucede es que no son una forma eficaz de iluminar, puesto que la gran mayoría de la electricidad que consumen la emplean en generar radiación infrarroja, no visible.

El **tiempo** estimado para que los alumnos completen esta práctica es de **una sesión**.

## 5.3. Estudio comparativo del comportamiento de bombillas de diverso tipo al variar el voltaje

### 5.3.1 Guion

#### **Título: Estudio comparativo del comportamiento de bombillas de diverso tipo al variar el voltaje**

##### **1. Objetivo**

En esta práctica estudiaremos como varía con el voltaje el comportamiento de bombillas de distintos tipos.

##### **2. Introducción**

Las bombillas no tienen por qué estar funcionando obligatoriamente al voltaje que llega a nuestros hogares. Con un regulador podemos reducir a nuestro gusto el voltaje que les es suministrado. En esta práctica vamos a estudiar como varían con la tensión la eficacia y el flujo luminoso emitido por los distintos tipos de bombillas, tanto en el espectro visible como en el infrarrojo.

##### **3. Materiales**

- Fuente de voltaje regulable
- Vatímetro
- Un mínimo de cuatro bombillas, de al menos cuatro tipos distintos, todas con el mismo casquillo y de luz cálida
- La caja
- Fotorresistencia
- Fotodiodo
- Pila de 9V
- Multímetro



#### 4. Procedimiento Experimental

Lo primero será el montaje de la práctica. Para ello el profesor tendrá un montaje preparado que sirva de ejemplo.

Primero se coloca la fotorresistencia en la placa prototipo y cerramos el circuito con un multímetro, con el que mediremos la resistencia. Posteriormente conectar los cables del portalámparas al vatímetro, y enchufar éste a la fuente de voltaje, **asegurándose** previamente de que está **apagada**.

Una vez esté listo el montaje:

1. Enroscar la primera bombilla en el casquillo.
2. Encender la fuente y ajustarla a 230 voltios.
3. Asegurarse de que la bombilla funciona correctamente. Si es así, cerrar la tapa.
4. Anotar las mediciones de resistencia, voltaje y potencia proporcionadas por el multímetro y el potenciómetro a medida que se va reduciendo el voltaje.
5. Apagar la fuente y retirar la bombilla con **cuidado** porque puede estar **caliente**.
6. Realizar esta experiencia con cada una de las bombillas.

Una vez tomadas las medidas, retirar la fotorresistencia de la placa prototipo y colocar en su lugar el fotodiodo. Conectarlo a la pila de 9V para polarizarlo en inversa, de forma que trabaje en la que tiene el comportamiento de  $V$  respecto de  $I$  deseado. Cierra el circuito un multímetro, con el que mediremos la intensidad.

Una vez esté listo el montaje:

7. Colocar de nuevo la primera bombilla en el casquillo.
8. Encender la fuente y ajustarla a 230 voltios.
9. Asegurarse de que la bombilla funciona correctamente. Si es así, cerrar la tapa.
10. Anotar las mediciones de intensidad de corriente, voltaje y potencia proporcionadas por el multímetro y el potenciómetro a medida que se va reduciendo el voltaje.

11. Apagar la fuente y retirar la bombilla con **cuidado** porque puede estar **caliente**.
12. Realizar esta experiencia con cada una de las bombillas.

## 5. Resultados experimentales y conclusiones

- Elaborar una tabla en la hoja de cálculo con los datos obtenidos y calcular la eficacia de cada una de las bombillas.
- Con la ayuda de la plantilla de hoja de cálculo suministrada por el profesor, representar gráficamente como varían tanto el flujo luminoso como la eficacia con el voltaje.

### 5.3.2 Resultados y conclusiones

Los resultados obtenidos se recogen en las siguientes tablas:

#### Bombilla incandescente (visible)

Voltaje (V)	Factor Potencia	Potencia (W)	Potencia Aparente (VA)	Resistencia de la fotocélula (k $\Omega$ )	Flujo luminoso (unidades arbitrarias)	Eficacia (Flujo luminoso / Potencia)
230,5	1	38	38	0,473	2,11	0,056
210,6	1	33	33	0,566	1,77	0,054
189,6	1	28	28	0,706	1,42	0,051
171,3	1	24	24	0,885	1,13	0,047
150,8	1	20	20	1,205	0,83	0,041
129,4	1	16	16	1,824	0,548	0,034
110,6	1	12	12	2,991	0,334	0,028
89,6	1	9	9	6,45	0,155	0,017
80,2	1	7	7	10,2	0,098	0,014

**Bombilla incandescente (v+IR)**

Voltaje (V)	Factor Potencia	Potencia (W)	Potencia Aparente (VA)	Intensidad ( $\mu$ A)	Eficacia (Intensidad / Potencia)
231,5	1	38	39	1554	40,89
209,3	1	33	33	1202	36,42
191,3	1	29	29	943	32,52
170,9	1	24	25	684	28,5
150,8	1	20	20	475	23,75
130,6	1	16	16	304,7	19,04
110,6	1	12	12	177,3	14,77
90,6	1	10	10	85,8	8,58
80,7	1	7	7	54,1	7,73

**Bombilla halógena (visible)**

Voltaje (V)	Factor Potencia	Potencia (W)	Potencia Aparente (VA)	Resistencia de la fotocélula (k $\Omega$ )	Flujo luminoso (unidades arbitrarias)	Eficacia (Flujo luminoso / Potencia)
230,2	1	29	29	0,619	1,62	0,056
210,6	1	25	25	0,743	1,35	0,054
190,8	1	22	22	0,914	1,09	0,05
170,4	1	18	18	1,178	0,849	0,047
150,3	1	15	15	1,624	0,616	0,041
130,5	1	12	12	2,392	0,418	0,035
110,9	1	9	9	4,01	0,25	0,028
90,2	1	8	8	8,66	0,115	0,014
80,3	1	6	6	14,28	0,07	0,011

**Bombilla halógena (v+IR)**

Voltaje (V)	Factor Potencia	Potencia (W)	Potencia Aparente (VA)	Intensidad ( $\mu$ A)	Eficacia (Intensidad / Potencia)
230,1	1	29	29	996	34,34
210,6	1	25	25	798	31,92
190,4	1	21	22	605	28,81
171,2	1	18	18	451	25,06
150,6	1	15	15	314,3	20,95
130,4	1	12	12	202,5	16,87
110,8	1	9	9	118,6	13,18
91,3	1	8	8	60,2	7,52
80,8	1	6	6	38,6	6,43

**Bombilla fluocompacta (visible)**

Voltaje (V)	Factor Potencia	Potencia (W)	Potencia Aparente (VA)	Resistencia de la fotocélula (k $\Omega$ )	Flujo luminoso (unidades arbitrarias)	Eficacia (Flujo luminoso / Potencia)
230,1	0,66	11	16	0,485	2,06	0,19
210,3	0,68	10	14	0,507	1,97	0,2
190,7	0,68	9	13	0,539	1,86	0,21
170,9	0,68	7	11	0,578	1,73	0,25
150,3	0,7	6	8	0,628	1,59	0,27
130,9	0,7	5	7	0,69	1,45	0,29
110,2	0,72	4	6	0,787	1,27	0,32
90,1	0,7	4	6	0,943	1,06	0,27
80,1	0,7	4	6	1,081	0,925	0,23

**Bombilla fluocompacta (v+IR)**

Voltaje (V)	Factor Potencia	Potencia (W)	Potencia Aparente (VA)	Intensidad ( $\mu$ A)	Eficacia (Intensidad / Potencia)
229,7	0,66	11	16	75,9	6,9
210,6	0,66	9	14	70,1	7,79
190,6	0,69	8	11	64,2	8,02
170,5	0,66	7	10	58,8	8,4
150,9	0,66	6	9	52,7	8,78
130,8	0,69	5	7	46,6	9,32
110,6	0,7	4	6	38,6	9,65
91,1	0,68	4	6	29,7	7,42
80,8	0,7	4	6	23,6	5,9

**Bombilla LED (visible)**

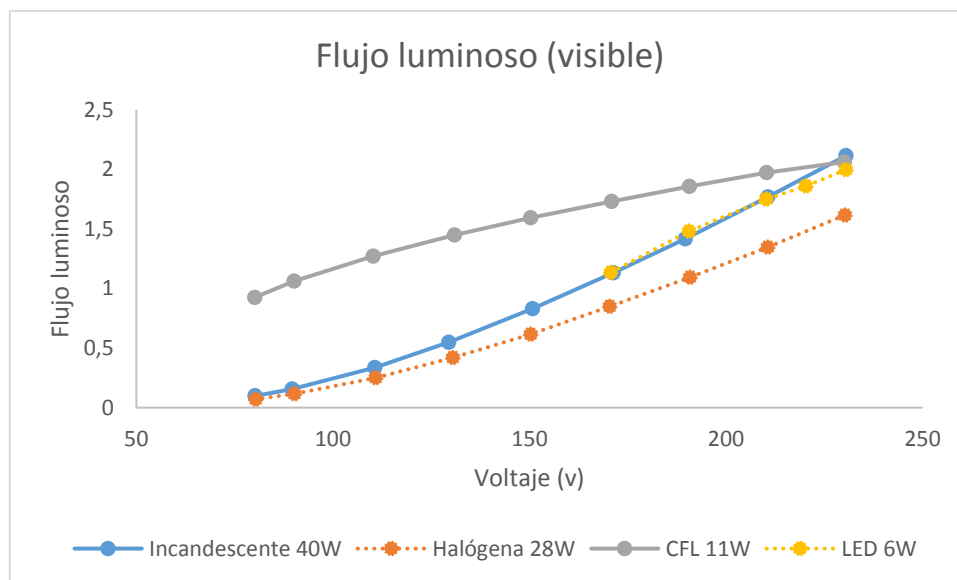
Voltaje (V)	Factor Potencia	Potencia (W)	Potencia Aparente (VA)	Resistencia de la fotocélula (k $\Omega$ )	Flujo luminoso (unidades arbitrarias)	Eficacia (Flujo luminoso / Potencia)
230,5	0,55	6	13	0,501	2	0,33
220,3	0,55	5	12	0,538	1,86	0,37
210,2	0,55	4	10	0,572	1,75	0,44
190,6	0,55	3	7	0,676	1,48	0,49
170,6	0,55	2	5	0,883	1,13	0,57

**Bombilla LED (v+IR)**

Voltaje (V)	Factor Potencia	Potencia (W)	Potencia Aparente (VA)	Intensidad ( $\mu$ A)	Eficacia (Intensidad / Potencia)
230,5	0,56	6	13	85,2	14,2
220,1	0,56	5	12	76,3	15,26
210,3	0,56	4	10	68	17
190,9	0,56	3	7	51,3	17,1
170,9	0,56	2	5	32,9	16,75

**Espectro visible**

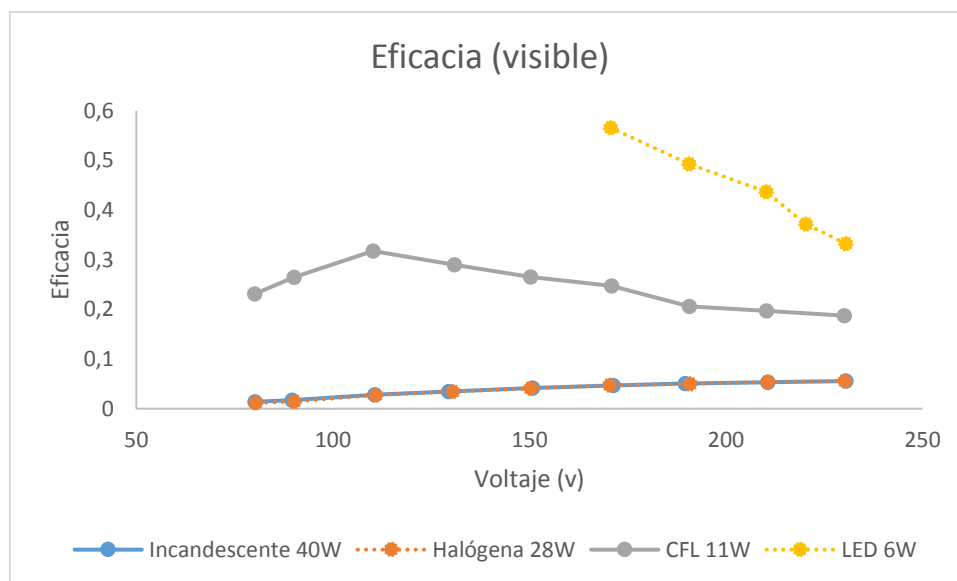
Si representamos en una misma gráfica el espectro visible emitido por cada una de ellas:



En el caso del flujo luminoso visible, se observa que éste disminuye más rápidamente en el caso de las bombillas incandescente y halógena. Esto es debido a que, al bajar el voltaje, también lo hace la temperatura, por lo que la proporción de radiación visible emitida disminuye. La bombilla fluocompacta es la que presenta menor disminución en el flujo luminoso visible al reducir el voltaje suministrado.

La bombilla LED fue la primera en dejar de funcionar al disminuir el voltaje, poco antes de bajar a 150 voltios. El resto de bombillas continuaron funcionando hasta alcanzar los 80 voltios.

Representación gráfica de la eficacia en el visible.

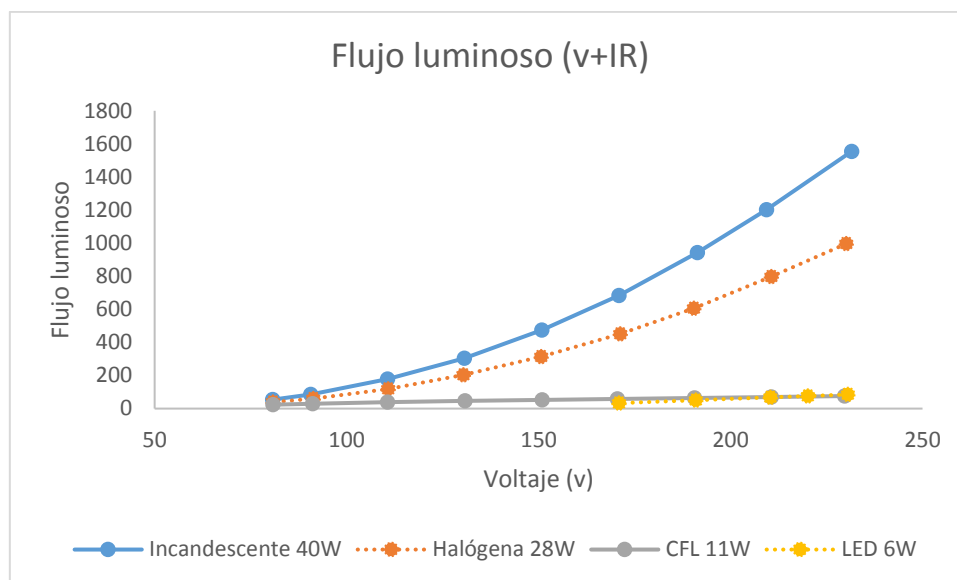


Como era de esperar, en este caso la bombilla más eficiente es la bombilla LED, seguida de la fluocompacta, ambas muy por encima de la halógena y la incandescente.

Lo que es más sorprendente es el diferente comportamiento que presentan cada una de ellas al regular el voltaje. La eficacia de la bombilla LED aumenta hasta que deja de funcionar, mientras que la eficacia de la bombilla CFL aumenta hasta alcanzar un máximo, a partir del cual disminuye. Como era de esperar, las bombillas incandescente y halógena presentan un comportamiento similar, y su eficacia disminuye con el voltaje.

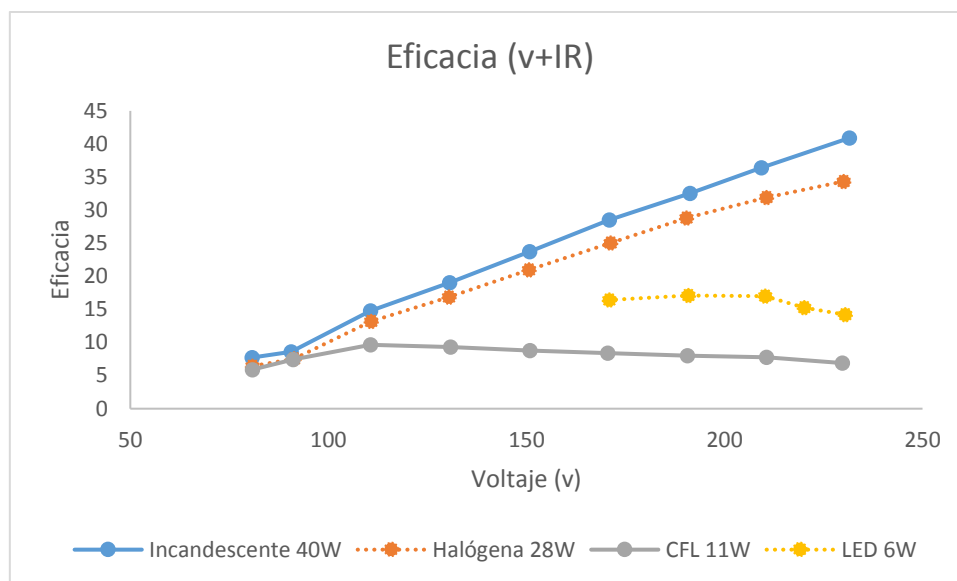
### ***Espectro visible más infrarrojo***

Representación gráfica del flujo luminoso teniendo en cuenta el visible más el infrarrojo:



A la vista de los resultados obtenidos, llama poderosamente la atención el enorme flujo luminoso que emiten en el infrarrojo tanto la bombilla incandescente como la halógena en comparación con la bombilla LED y la fluocompacta. Al igual que sucedía con el visible, el flujo luminoso disminuye con el voltaje de forma más pronunciada en el caso de la bombilla incandescente y la halógena.

Representación gráfica de la eficacia teniendo en cuenta el visible más el infrarrojo.



Los resultados obtenidos en este apartado son quizás los más sorprendentes entre los vistos hasta ahora. Si tenemos en cuenta la emisión en el infrarrojo, resulta que la bombilla más eficiente es la incandescente, seguida muy de cerca de la halógena. Ambas están muy por encima de la bombilla LED, y como la menos eficiente tenemos a la fluocompacta.

Al igual que sucedía con el flujo luminoso, la eficiencia de la bombilla incandescente y la halógena disminuye de manera más pronunciada que la eficiencia de la bombilla LED y la bombilla de bajo consumo.

El **tiempo estimado** para que los alumnos completen esta práctica es de **dos sesiones**.



## 5.4. Estudio comparativo bombilla de luz cálida vs luz fría

### 5.4.1. Guion

#### **Título: Estudio comparativo bombilla de luz cálida vs luz fría**

##### **1. Objetivo**

En esta práctica estudiaremos si el comportamiento de una bombilla de luz cálida difiere del comportamiento de una bombilla de luz fría.

##### **2. Introducción**

Junto a la llegada de los nuevos tipos de bombillas, más eficientes, se ha producido un incremento en la variedad del producto ofertada al consumidor.

En esta práctica nos centraremos en las bombillas con distintos tonos de luz. Para ello estudiaremos la eficiencia y el flujo luminoso, tanto visible como infrarrojo, emitido por dos bombillas, una de luz cálida y otra de luz fría, que difieran lo mínimo posible entre sí, es decir, que sean del mismo tipo, la misma potencia y preferiblemente del mismo fabricante, de manera que cualquier diferencia en su comportamiento se deba al distinto tono de luz que emiten.

##### **3. Materiales**

- Fuente de voltaje regulable
- Vatímetro
- Dos bombillas del mismo tipo y la misma potencia, una de luz cálida y otra de luz fría, preferiblemente del mismo fabricante
- La caja
- Fotorresistencia

- Fotodiodo
- Pila de 9V
- Multímetro

#### 4. Procedimiento Experimental

Lo primero será el montaje de la práctica. Para ello el profesor tendrá un montaje preparado que sirva de ejemplo.

Primero se coloca la fotorresistencia en la placa prototipo y cerramos el circuito con un multímetro, con el que mediremos la resistencia. Posteriormente conectar los cables del portalámparas al vatímetro, y enchufar éste a la fuente de voltaje, **asegurándose** previamente de que está **apagada**.

Una vez esté listo el montaje:

1. Enroscar la bombilla de luz cálida en el casquillo.
2. Encender la fuente y ajustarla a 230 voltios.
3. Asegurarse de que la bombilla funciona correctamente. Si es así, cerrar la tapa.
4. Anotar las mediciones de resistencia, voltaje y potencia proporcionadas por el multímetro y el potenciómetro a medida que se va reduciendo el voltaje.
5. Apagar la fuente y retirar la bombilla con **cuidado** porque puede estar **caliente**.
6. Realizar esta experiencia con la bombilla de luz fría.

Una vez tomadas las medidas, retirar la fotorresistencia de la placa prototipo y colocar en su lugar el fotodiodo. Conectarlo a la pila de 9V para polarizarlo en inversa, de forma que trabaje en la que tiene el comportamiento de  $V$  respecto de  $I$  deseado. Cierra el circuito un multímetro, con el que mediremos la intensidad.

Una vez esté listo el montaje:

1. Colocar de nuevo la primera bombilla en el casquillo.
2. Encender la fuente y ajustarla a 230 voltios.
3. Asegurarse de que la bombilla funciona correctamente. Si es así, cerrar la tapa.

4. Anotar las mediciones de intensidad de corriente, voltaje y potencia proporcionadas por el multímetro y el potenciómetro a medida que se va reduciendo el voltaje.
5. Apagar la fuente y retirar la bombilla con **cuidado** porque puede estar **caliente**.
6. Realizar esta experiencia con la segunda bombilla.

## 5. Resultados experimentales y conclusiones

- Elaborar una tabla con los datos obtenidos y calcular la eficacia de cada una de las bombillas.
- Con la ayuda de la plantilla de hoja de cálculo suministrada por el profesor, representar gráficamente como varían tanto el flujo luminoso como la eficacia con el voltaje.

### 5.4.2. Resultados y conclusiones

Para este apartado emplearemos dos bombillas LED, una de luz cálida y otra de luz fría, con las mismas especificaciones, del mismo fabricante y procedemos a hacer un barrido en voltaje con cada una de ellas, aplicando el mismo procedimiento. Un estudio similar realizado con bombillas de bajo consumo puede encontrarse en los anexos.

Los resultados obtenidos se recogen en las siguientes tablas:

#### LED luz cálida (visible)

Voltaje (V)	Factor Potencia	Potencia (W)	Potencia Aparente (VA)	Resistencia de la fotocélula (k $\Omega$ )	Flujo luminoso (unidades arbitrarias)	Eficacia (Flujo luminoso / Potencia)
230,5	0,55	6	13	0,501	2	0,33
220,3	0,55	5	12	0,538	1,86	0,37
210,2	0,55	4	10	0,572	1,75	0,44
190,6	0,55	3	7	0,676	1,48	0,49
170,6	0,55	2	5	0,883	1,13	0,57

**LED luz cálida (v+IR)**

<b>Voltaje (V)</b>	<b>Factor Potencia</b>	<b>Potencia (W)</b>	<b>Potencia Aparente (VA)</b>	<b>Intensidad (<math>\mu</math>A)</b>	<b>Eficacia (Intensidad / Potencia)</b>
230,5	0,56	6	13	85,2	14,2
220,1	0,56	5	12	76,3	15,26
210,3	0,56	4	10	68	17
190,9	0,56	3	7	51,3	17,1
170,9	0,56	2	5	32,9	16,75

**LED luz fría (visible)**

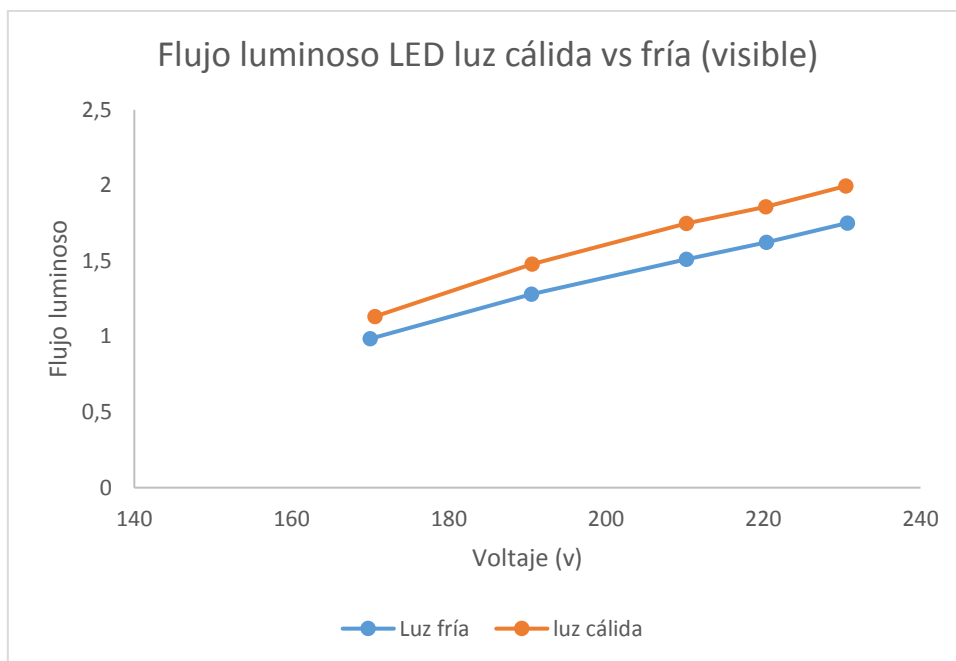
<b>Voltaje (V)</b>	<b>Factor Potencia</b>	<b>Potencia (W)</b>	<b>Potencia Aparente (VA)</b>	<b>Resistencia de la fotocélula (<math>k\Omega</math>)</b>	<b>Flujo luminoso (unidades arbitrarias)</b>	<b>Eficacia (Flujo luminoso / Potencia)</b>
230,7	0,57	6	13	0,571	1,75	0,29
220,4	0,57	5	12	0,616	1,62	0,32
210,2	0,57	4	10	0,662	1,51	0,38
190,5	0,57	3	7	0,781	1,28	0,43
170	0,57	2	5	1,015	0,985	0,49

**LED luz fría (v+IR)**

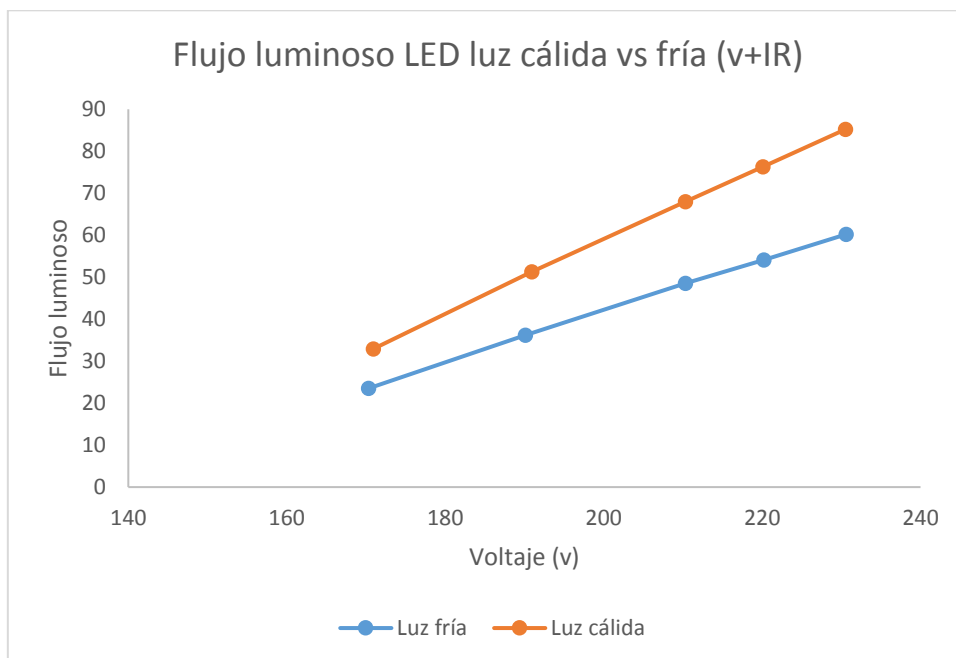
<b>Voltaje (V)</b>	<b>Factor Potencia</b>	<b>Potencia (W)</b>	<b>Potencia Aparente (VA)</b>	<b>Intensidad (<math>\mu</math>A)</b>	<b>Eficacia (Intensidad / Potencia)</b>
230,6	0,57	6	13	60,2	10,03
220,2	0,58	5	12	54,1	10,82
210,3	0,59	4	10	48,5	12,12
190,1	0,57	3	7	36,2	12,07
170,3	0,57	2	5	23,5	11,75

**Flujo luminoso**

Representación gráfica del flujo luminoso visible:



Representación gráfica del flujo luminoso teniendo en cuenta el visible más el infrarrojo.



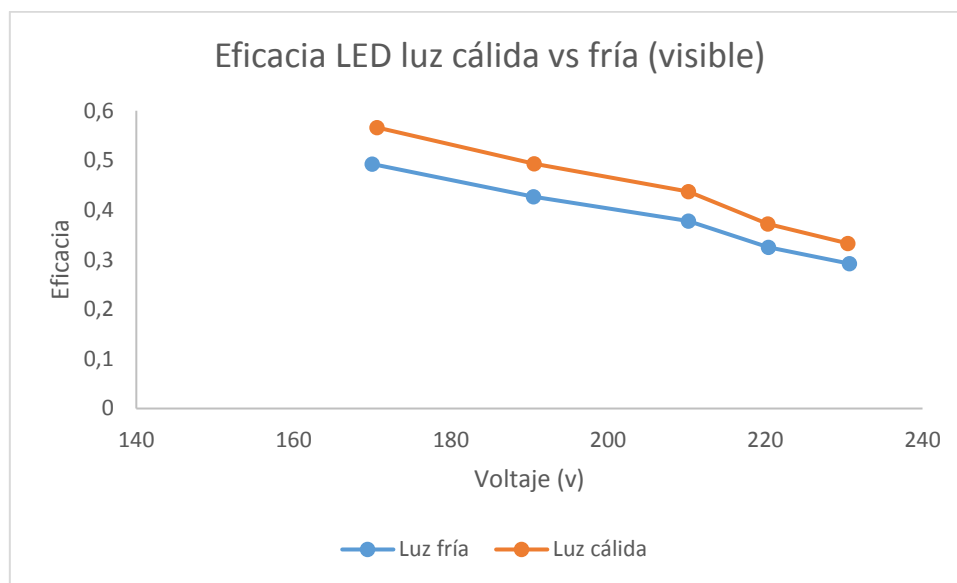
El flujo luminoso de la bombilla LED de luz cálida es ligeramente superior al de la bombilla LED de luz fría. Esto es así independientemente del sensor empleado porque las bombillas LED no emiten radiación en el infrarrojo.

En esta gráfica se puede apreciar con más claridad como a diferencia de todos los demás tipos de bombillas, la bombilla LED presenta un comportamiento prácticamente lineal al variar el voltaje.

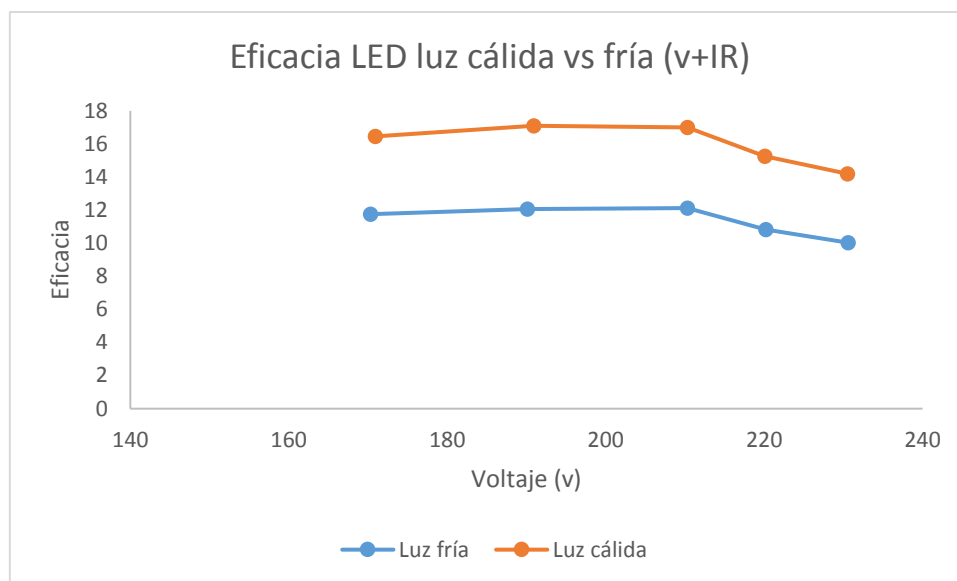
De nuevo, al ser ambas bombillas del mismo tipo, las dos presentan un comportamiento similar al regular el voltaje, como era de esperar.

### ***Eficacia***

Representación gráfica de la eficacia en el visible.



Representación gráfica de la eficacia teniendo en cuenta el visible más el infrarrojo.



Como era esperable, a la vista de los resultados obtenidos en el apartado anterior, la bombilla de luz cálida es algo más eficiente, tanto si consideramos solo el visible o si tenemos también en cuenta el infrarrojo, al tener ambas la misma potencia.

El **tiempo** estimado para que los alumnos completen esta práctica es de **una sesión**.

## 6. CONCLUSIONES

En este trabajo de fin de máster (TFM) se ha elaborado un sistema para el estudio de la eficiencia energética de diferentes bombillas y se ha aplicado a diversas prácticas de laboratorio.

Escoger un TFM sobre una práctica surge de la convicción de que las actividades experimentales son un instrumento pedagógico imprescindible en la enseñanza de la ciencia, ya sea en forma de experiencias de cátedra o como prácticas de laboratorio que los alumnos han de ejecutar por sí mismos. Mi impresión es que la asimilación del conocimiento es mayor al acercar las experiencias y experimentos a los alumnos, puesto que van a ver plasmados sus esfuerzos intelectuales en una experiencia tangible.

Es una práctica actual, puesto que en este mismo momento se está produciendo el cambio en el tipo de bombillas que utilizamos en nuestros hogares, lo cual puede facilitar el despertar el interés de los estudiantes por la ciencia. A la vez se trata de un elemento presente en la vida cotidiana, lo cual es de ayuda a la hora de lograr el aprendizaje significativo por parte del alumnado.

Además de los contenidos presentes en el currículo, es una práctica con gran dimensión transdisciplinar, que permite trabajar contenidos como la sostenibilidad, la importancia de la conservación del medio ambiente y la relevancia de los avances tecnológicos a la hora de mejorar el aprovechamiento de los recursos naturales disponibles.

Por último, en ella se fomenta el uso de las nuevas tecnologías, así como de los ordenadores, y se aprovechan las posibilidades que éstos nos brindan.



## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato. BOE-A-2015-738.
- [2] ORDEN EDU/362/2015, de 4 de mayo (BOCyL nº 86), por la que se establece el currículo y se regula la implantación, evaluación y desarrollo de la educación secundaria obligatoria en la Comunidad de Castilla y León.
- [3] ORDEN EDU/363/2015, de 4 de mayo (BOCyL nº 86), por la que se establece el currículo y se regula la implantación, evaluación y desarrollo del bachillerato en la Comunidad de Castilla y León.
- [4] LOE. (2006). Ley Orgánica 2/2006, de 3 de Mayo, de educación. BOE, 17158-17207.
- [5] LOMCE. (2013). Ley Orgánica 8/2013, de 9 de diciembre, para la mejora de la calidad educativa. BOE, 97858-97921.
- [6] Orden ECD/65/2015, de 21 de enero, por la que se describen las relaciones entre las competencias, los contenidos y los criterios de evaluación de la educación primaria, la educación secundaria obligatoria y el bachillerato. BOE-A-2015-738.
- [7] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1442846813206&uri=CELEX:32012R0874>. Recuperado el 7 de julio de 2020.
- [8] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1442846813206&uri=CELEX:32012R0874>. Recuperado el 7 de julio de 2020.
- [9] <http://zeiss-campus.magnet.fsu.edu/mobile/tutorials/halogencycle/indexmobile.html>. Recuperado el 7 de julio de 2020.
- [10] [https://en.wikipedia.org/wiki/Fluorescent\\_lamp](https://en.wikipedia.org/wiki/Fluorescent_lamp). Recuperado el 7 de julio de 2020.
- [11] <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Electronic/led.html>. Recuperado el 7 de julio de 2020.

- [12] <https://www.energy.gov/eere/ssl/led-lighting-facts>. Recuperado el 7 de julio de 2020.
- [13] [https://www1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/snapshot2013\\_a-lamp.pdf](https://www1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/snapshot2013_a-lamp.pdf). Recuperado el 7 de julio de 2020.
- [14] <https://www.elprocus.com/photoresistor-working-types-and-applications/>. Recuperado el 7 de julio de 2020.
- [15] <https://www.elprocus.com/photodiode-working-principle-applications/>. Recuperado el 7 de julio de 2020.
- [16] <https://www.mcgill.ca/oss/article/technology/no-need-be-dark-about-light-bulb>. Recuperado el 7 de julio de 2020.
- [17] <https://patents.google.com/patent/US234345A/en>. Recuperado el 7 de julio de 2020.
- [18] <https://patents.google.com/patent/US223898>. Recuperado el 7 de julio de 2020.
- [19] [https://www.gracesguide.co.uk/Edison\\_and\\_Swan\\_United\\_Electric\\_Light\\_Co](https://www.gracesguide.co.uk/Edison_and_Swan_United_Electric_Light_Co). Recuperado el 7 de julio de 2020.
- [20] [https://en.wikipedia.org/wiki/Nernst\\_lamp](https://en.wikipedia.org/wiki/Nernst_lamp). Recuperado el 6 de julio de 2020.
- [21] <https://spectrum.ieee.org/tech-history/dawn-of-electronics/the-great-lightbulb-conspiracy>. Recuperado el 7 de julio de 2020.

## ANEXOS

### Anexo I. Índice de eficiencia energética

#### **Método para calcular el índice de eficiencia energética y el consumo energético**

##### **1. CÁLCULO DEL ÍNDICE DE EFICIENCIA ENERGÉTICA**

Para calcular el índice de eficiencia energética (IEE) de un modelo, se compara su potencia corregida en función de las posibles pérdidas de los mecanismos de control con su potencia de referencia. La potencia de referencia se obtiene del flujo luminoso útil, que es el flujo total para lámparas no direccionales, y el flujo en un cono con un ángulo de 90° o 120° para lámparas direccionales.

El IEE se calcula mediante la siguiente fórmula y se redondea al segundo decimal:

$$IEE = P_{cor}/P_{ref}$$

donde:

$P_{cor}$  es la potencia asignada ( $P_{rated}$ ) en el caso de los modelos sin mecanismo de control externo y la potencia asignada ( $P_{rated}$ ) corregida conforme al cuadro 2 en el caso de los modelos con mecanismo de control externo. La potencia asignada de las lámparas se mide a la tensión de entrada nominal.

Cuadro 2

**Corrección de potencia si el modelo requiere mecanismo de control externo**

Ámbito de aplicación de la corrección	Potencia corregida en función de pérdidas del mecanismo de control ( $P_{cor}$ )
Lámparas que funcionan con mecanismo de control de lámpara halógena externo	$P_{rated} \times 1,06$
Lámparas que funcionan con mecanismo de control de lámpara LED externo	$P_{rated} \times 1,10$
Lámparas fluorescentes de 16 mm de diámetro (lámparas T5) y lámparas fluorescentes de casquillo simple de cuatro patillas que funcionan con mecanismo de control de lámpara fluorescente externo	$P_{rated} \times 1,10$
Otras lámparas que funcionan con mecanismo de control de lámpara fluorescente externo	$P_{rated} \times \frac{0,24\sqrt{\Phi_{use}} + 0,0103\Phi_{use}}{0,15\sqrt{\Phi_{use}} + 0,0097\Phi_{use}}$
Lámparas que funcionan con mecanismo de control de lámpara de alta intensidad externo	$P_{rated} \times 1,10$
Lámparas que funcionan con mecanismo de control de lámpara de sodio de baja presión externo	$P_{rated} \times 1,15$

$P_{ref}$  es la potencia de referencia obtenida del flujo luminoso útil del modelo ( $\Phi_{use}$ ) mediante las siguientes fórmulas:

para modelos con  $\Phi_{use} < 1300$  lúmenes:  $P_{ref} = 0,88\sqrt{\Phi_{use}} + 0,049\Phi_{use}$

para modelos con  $\Phi_{use} \geq 1300$  lúmenes:  $P_{ref} = 0,07341\Phi_{use}$

El flujo luminoso útil ( $\Phi_{use}$ ) se define conforme al cuadro 3.

Cuadro 3

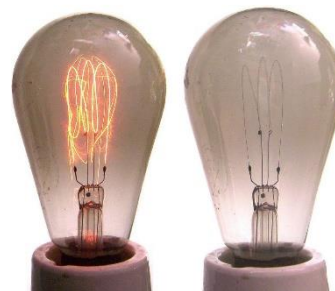
**Definición del flujo luminoso útil**

<b>Modelo</b>	<b>Flujo luminoso útil (<math>\Phi_{use}</math>)</b>
Lámparas no direccionales	Flujo luminoso total asignado ( $\Phi$ )
Lámparas direccionales con un haz de ángulo $\geq 90^\circ$ que no sean lámparas de filamento y que lleven una advertencia textual o gráfica en el embalaje que indique que no son adecuadas para iluminación acentuada	Flujo luminoso asignado en un cono con un ángulo de $120^\circ$ ( $\Phi_{120^\circ}$ )
Otras lámparas direccionales	Flujo luminoso asignado en un cono con un ángulo de $90^\circ$ ( $\Phi_{90^\circ}$ )

## Anexo 2. Breve historia de la bombilla de uso doméstico

Desde el origen de la humanidad, el ser humano ha buscado la forma de producir luz, cada vez de forma más práctica, versátil y eficiente, para no depender del sol a la hora de realizar sus actividades.

A principios del siglo 19, Sir Humphry Davy, uno de los químicos más importantes de la historia, instaló en el sótano de la Royal Institution de Reino Unido una batería de enormes dimensiones formada por más de 2000 celdas voltaicas. Al unir los dos extremos con un filamento de platino comprobó como este brillaba con un tono rojizo. El filamento no duraba lo suficiente ni la luz

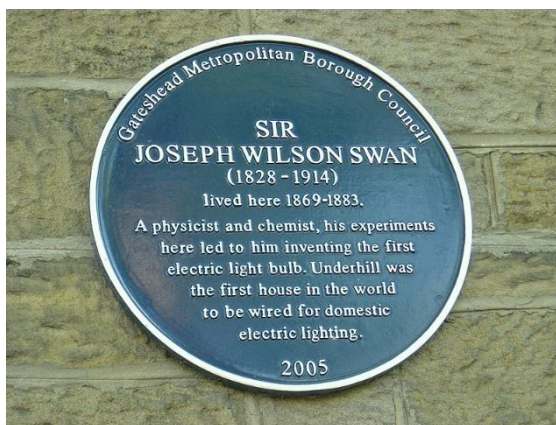


*Imagen 1: Bombillas de filamento de carbono*

emitida tenía la intensidad necesaria como para ser práctico, pero fue el precedente de todos los intentos que vinieron después <sup>[16]</sup>.

*Fuente: <https://en.wikipedia.org>*

A lo largo de los tres primeros cuartos del siglo 19, muchos científicos trabajaron con todo tipo de materiales como platino, iridio o carbono tratando de encontrar un filamento que durase lo suficiente sin éxito. No fué hasta 1878, cuando el científico británico Joseph Swan, que llevaba décadas trabajando en este campo, dio con la clave y realizó una demostración de una bombilla con un filamento de carbono en la que había realizado el vacío en su interior utilizando una bomba. Al no haber oxígeno en su interior, el filamento de carbono no podía arder, lo cual alargaba considerablemente la duración de la bombilla <sup>[17]</sup>.



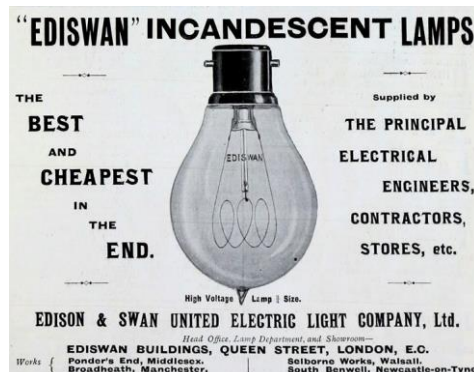
*Imagen 2: Placa conmemorativa en la casa de Joseph Swan.*

*Fuente: <https://en.wikipedia.org>*

Al otro lado del atlántico, Thomas Edison comenzó a interesarse por la iluminación eléctrica a finales de los 70, y el 4 de noviembre de 1879 presentó la solicitud de patente para una bombilla de filamento de carbono en el vacío <sup>[18]</sup>. La colisión era inevitable y Edison demandó a Swan por infringir sus patentes. Eventualmente llegaron a un acuerdo

y las compañías de ambos se fusionaron en la Edison and Swan Electric Light Company [19].

A medida que se aproximaba el nuevo siglo llegaron las mejoras. En 1897 el químico alemán Walther Nernst presenta en la Universidad de Göttingen una bombilla de filamento cerámico. Como el material cerámico no se podía oxidar, ofrecían una mayor durabilidad y eficiencia que las bombillas de filamento de carbono y no era necesario hacer el vacío en su interior [20]. El 13 de diciembre de 1904, el húngaro Sándor Just y el



*Imagen 3: Publicidad de la Edison and Swan United Electric Co., febrero 1901*

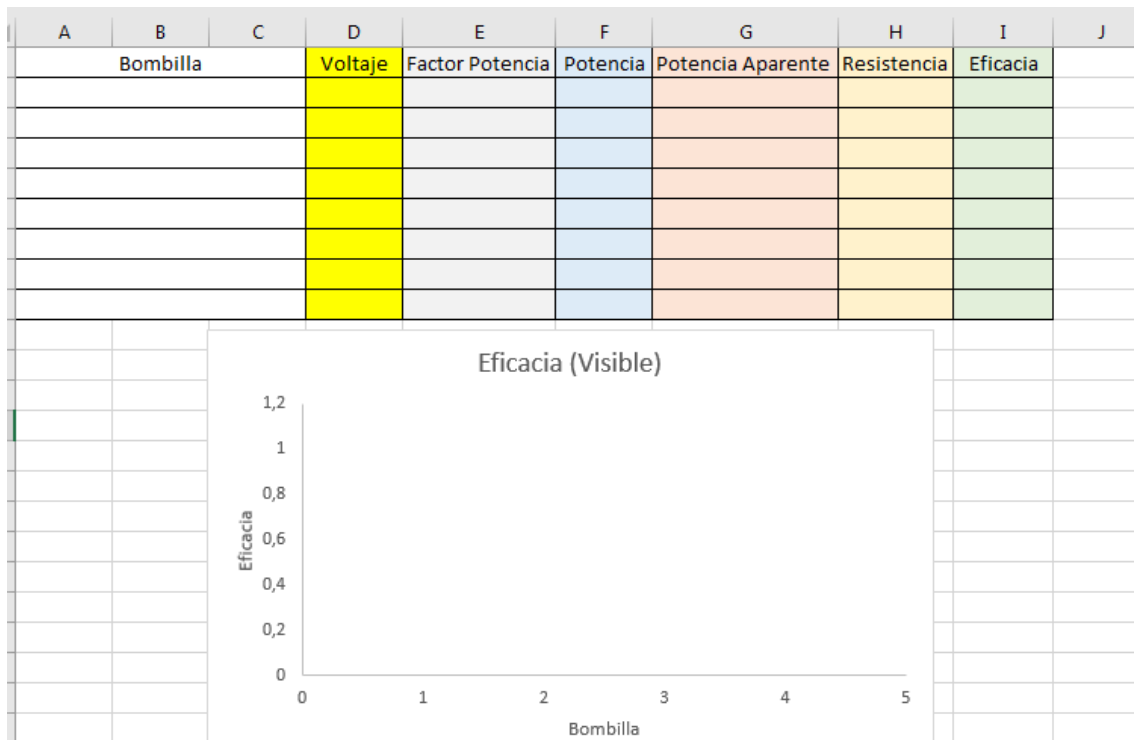
*Fuente: <https://www.gracesguide.co.uk>*

croata Franjo Hanaman obtuvieron una patente para una lámpara de filamento de tungsteno que proporcionaba una mayor duración y una luz más brillante que la de filamento de carbono. La bombilla estaba rellena de un gas inerte, como el argón o nitrógeno, lo cual ralentizaba la evaporación del filamento de tungsteno en comparación con operarlo en el vacío. Esto permitía mayores temperaturas y, por lo tanto, mayor eficacia con menor reducción en la vida útil del filamento.

Las bombillas también forman parte del primer caso documentado de obsolescencia programada a gran escala. En Ginebra, el día de Navidad de 1924, se reunieron en secreto los principales productores occidentales de bombillas del mundo. De este encuentro surgió el cártel Phoebus, con los objetivos de evitar la competición entre productores, fijar precios y que las bombillas comercializadas no durasen más de 1000 horas. Estuvo operativo al menos hasta el comienzo de la segunda guerra mundial [21].

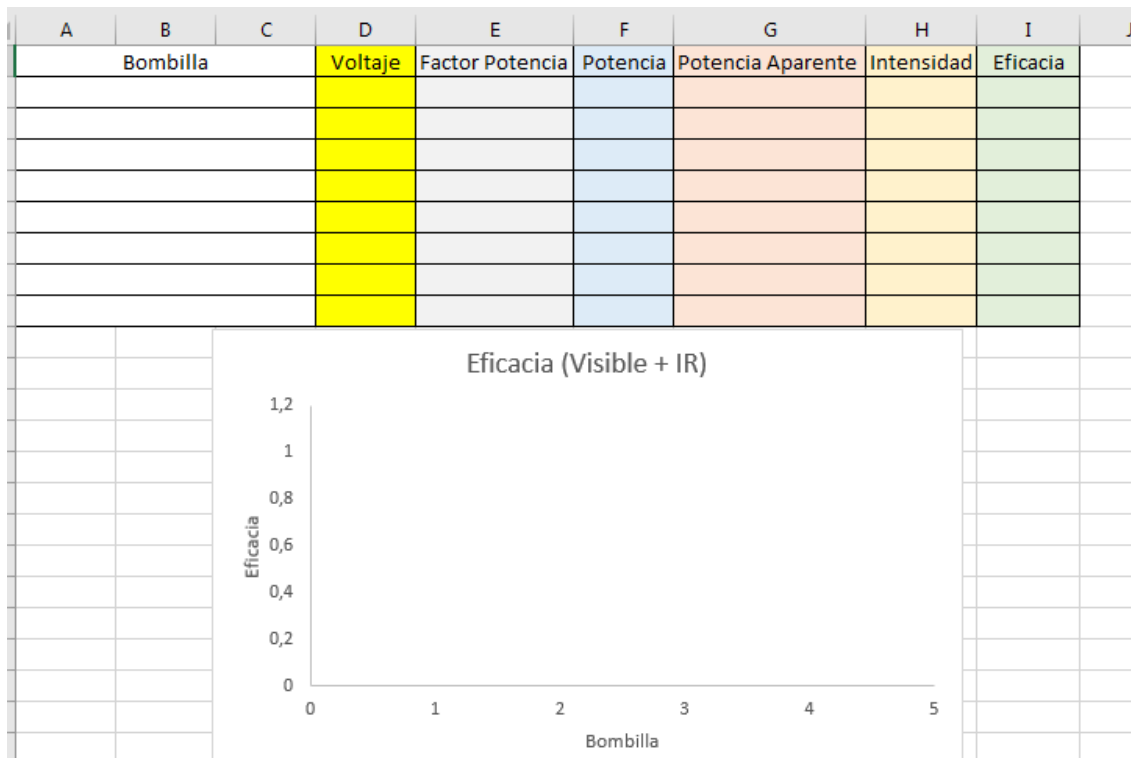
## Anexo 3. Plantillas

**Plantilla de hoja de cálculo para la práctica de estudio de la eficacia de distintas bombillas en el visible.**

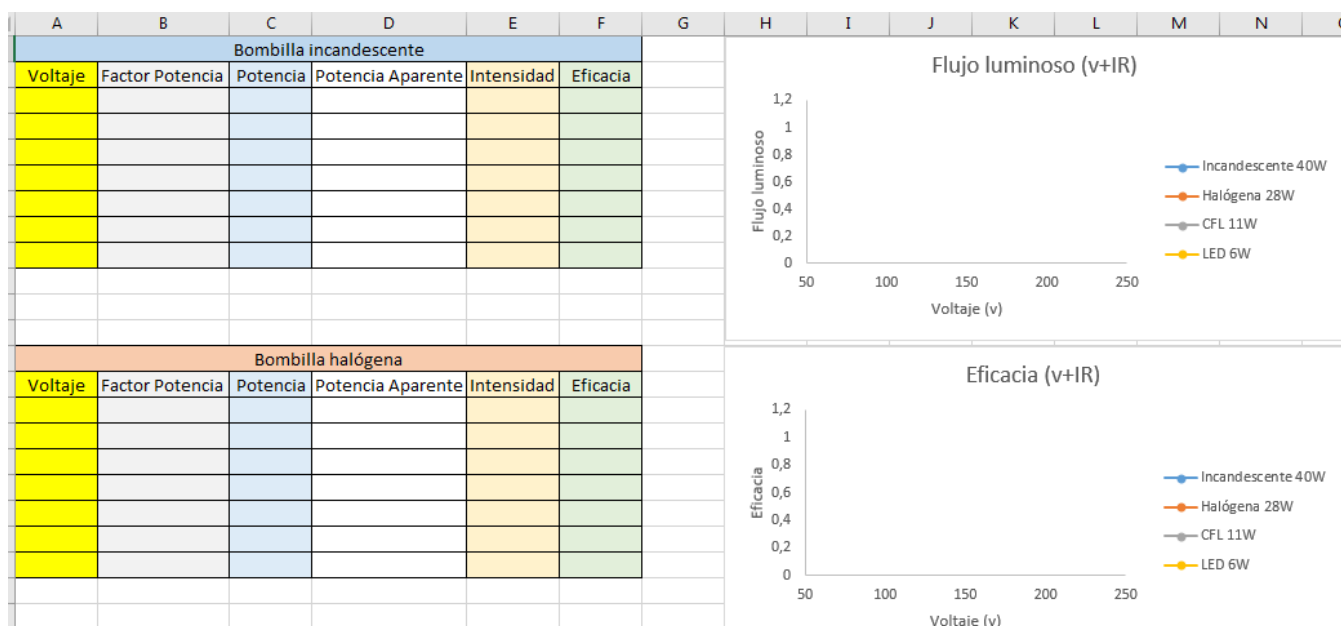
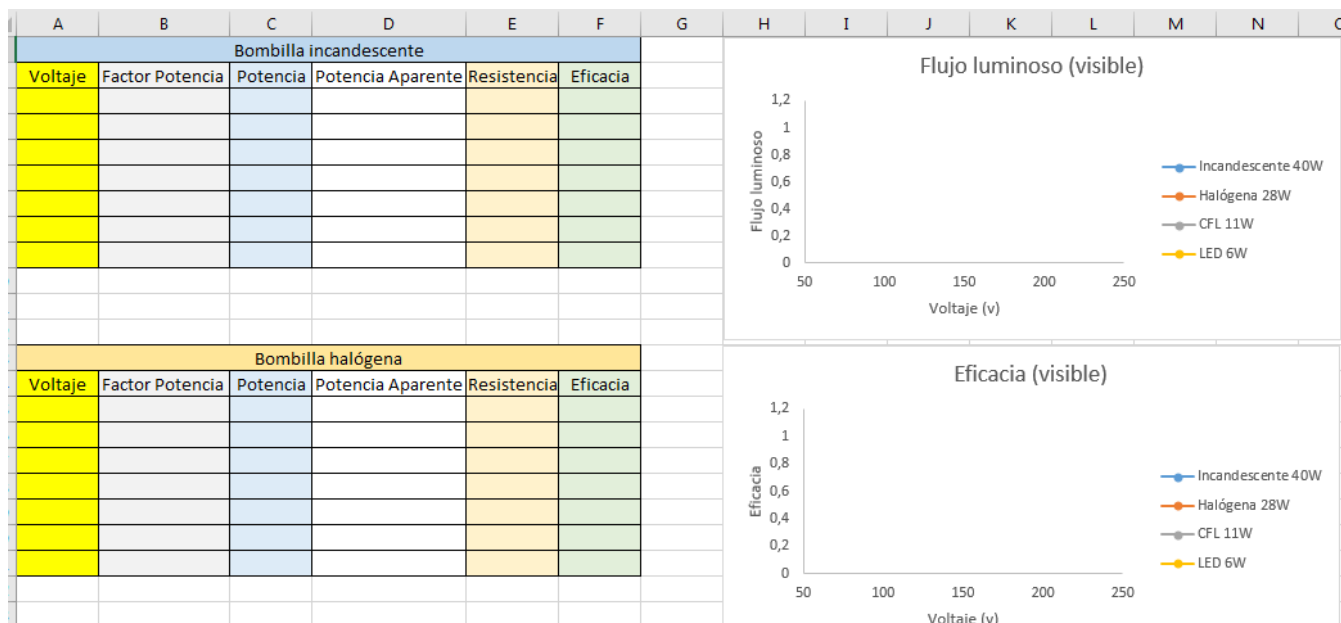




**Plantilla de hoja de cálculo para la práctica de estudio de la eficacia de distintas bombillas en el infrarrojo.**



### Plantillas de hoja de cálculo para la práctica del estudio del comportamiento de distintas bombillas a distintos voltajes.



### Plantillas de hoja de cálculo para la práctica del estudio comparativo de bombillas de luz cálida y luz fría.

Bombilla de luz cálida					
Voltaje	Factor Potencia	Potencia	Potencia Aparente	Resistencia	Eficacia

Bombilla de luz fría					
Voltaje	Factor Potencia	Potencia	Potencia Aparente	Resistencia	Eficacia

Flujo luminoso luz cálida vs fría (visible)

Bombilla de luz cálida					
Voltaje	Factor Potencia	Potencia	Potencia Aparente	Resistencia	Eficacia

Eficacia luz cálida vs fría (visible)

Bombilla de luz cálida					
Voltaje	Factor Potencia	Potencia	Potencia Aparente	Resistencia	Eficacia

Bombilla de luz fría					
Voltaje	Factor Potencia	Potencia	Potencia Aparente	Resistencia	Eficacia

Flujo luminoso luz cálida vs fría (visible)

Bombilla de luz cálida					
Voltaje	Factor Potencia	Potencia	Potencia Aparente	Resistencia	Eficacia

Eficacia luz cálida vs fría (visible)

#### Anexo 4. Resultados del estudio comparativo de una bombilla de bajo consumo de luz cálida vs luz fría

En este apartado emplearemos dos bombillas de bajo consumo, una de luz cálida y otra de luz fría, con las mismas especificaciones, del mismo fabricante y procedemos a hacer un barrido en voltaje con cada una de ellas, aplicando el procedimiento descrito en el apartado anterior.

Los resultados obtenidos se recogen en las siguientes tablas:

##### CFL luz cálida (visible)

Voltaje (V)	Factor Potencia	Potencia (W)	Potencia Aparente (VA)	Resistencia de la fotocélula (k $\Omega$ )	Flujo luminoso (unidades arbitrarias)	Eficacia (Flujo luminoso / Potencia)
230,1	0,66	11	16	0,485	2,06	0,19
210,3	0,68	10	14	0,507	1,97	0,2
190,7	0,68	9	13	0,539	1,86	0,21
170,9	0,68	7	11	0,578	1,73	0,25
150,3	0,7	6	8	0,628	1,59	0,27
130,9	0,7	5	7	0,69	1,45	0,29
110,2	0,72	4	6	0,787	1,27	0,32
90,1	0,7	4	6	0,943	1,06	0,27
80,1	0,7	4	6	1,081	0,925	0,23

##### CFL luz cálida (v+IR)

Voltaje (V)	Factor Potencia	Potencia (W)	Potencia Aparente (VA)	Intensidad ( $\mu$ A)	Eficacia (Intensidad / Potencia)
229,7	0,66	11	16	75,9	6,9
210,6	0,66	9	14	70,1	7,79
190,6	0,69	8	11	64,2	8,02
170,5	0,66	7	10	58,8	8,4
150,9	0,66	6	9	52,7	8,78
130,8	0,69	5	7	46,6	9,32
110,6	0,7	4	6	38,6	9,65
91,1	0,68	4	6	29,7	7,42
80,8	0,7	4	6	23,6	5,9

**CFL luz fría (visible)**

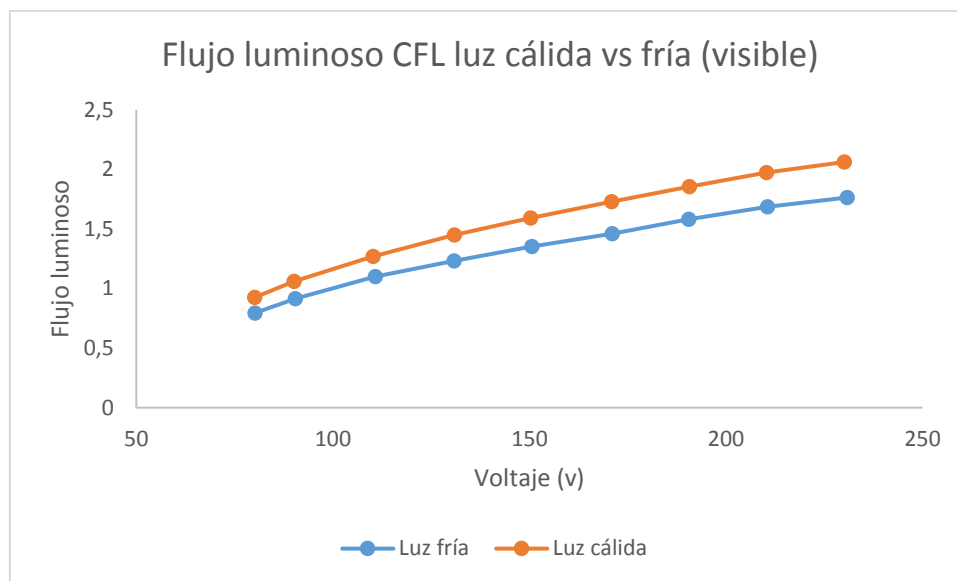
<b>Voltaje (V)</b>	<b>Factor Potencia</b>	<b>Potencia (W)</b>	<b>Potencia Aparente (VA)</b>	<b>Resistencia de la fotocélula (k<math>\Omega</math>)</b>	<b>Flujo luminoso (unidades arbitrarias)</b>	<b>Eficacia (Flujo luminoso / Potencia)</b>
230,8	0,66	11	16	0,567	1,76	0,16
210,5	0,68	10	14	0,593	1,69	0,17
190,5	0,66	9	13	0,633	1,58	0,18
171	0,68	7	11	0,685	1,46	0,21
150,6	0,7	6	8	0,739	1,35	0,23
130,8	0,7	5	7	0,811	1,23	0,25
110,8	0,73	4	6	0,908	1,1	0,28
90,4	0,7	4	6	1,092	0,916	0,23
80,2	0,7	4	6	1,258	0,795	0,20

**CFL luz fría (v+IR)**

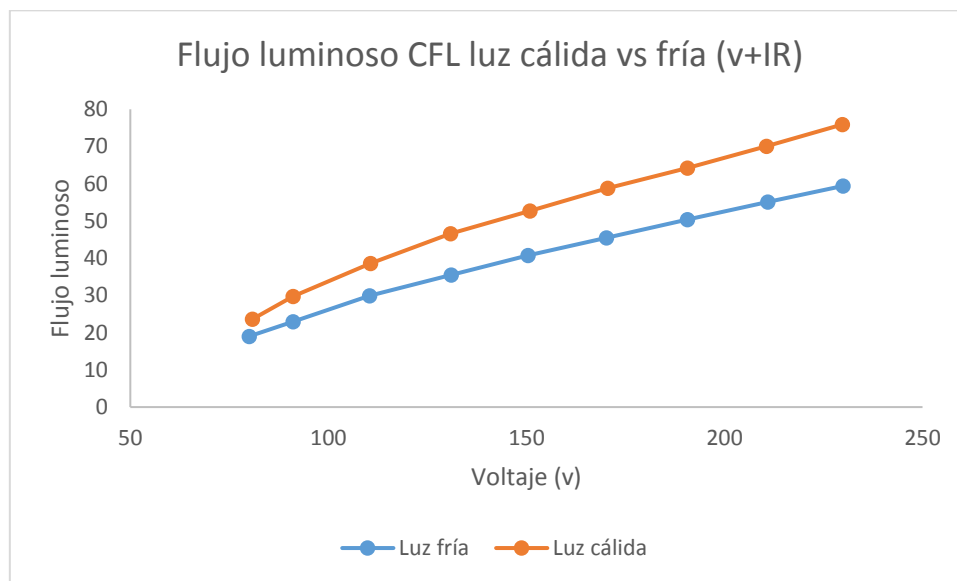
<b>Voltaje (V)</b>	<b>Factor Potencia</b>	<b>Potencia (W)</b>	<b>Potencia Aparente (VA)</b>	<b>Intensidad (<math>\mu</math>A)</b>	<b>Eficacia (Intensidad / Potencia)</b>
229,9	0,66	11	16	59,4	5,4
210,9	0,65	9	14	55,1	6,12
190,6	0,65	8	13	50,4	6,3
170,2	0,69	7	10	45,5	6,5
150,4	0,69	6	8	40,7	6,78
131	0,69	5	7	35,5	7,1
110,4	0,7	4	6	29,9	7,47
91,1	0,69	4	6	22,9	5,72
80	0,7	4	6	19	4,75

## Flujo luminoso

Representación gráfica del flujo luminoso visible:



Representación gráfica del flujo luminoso teniendo en cuenta el visible más el infrarrojo.

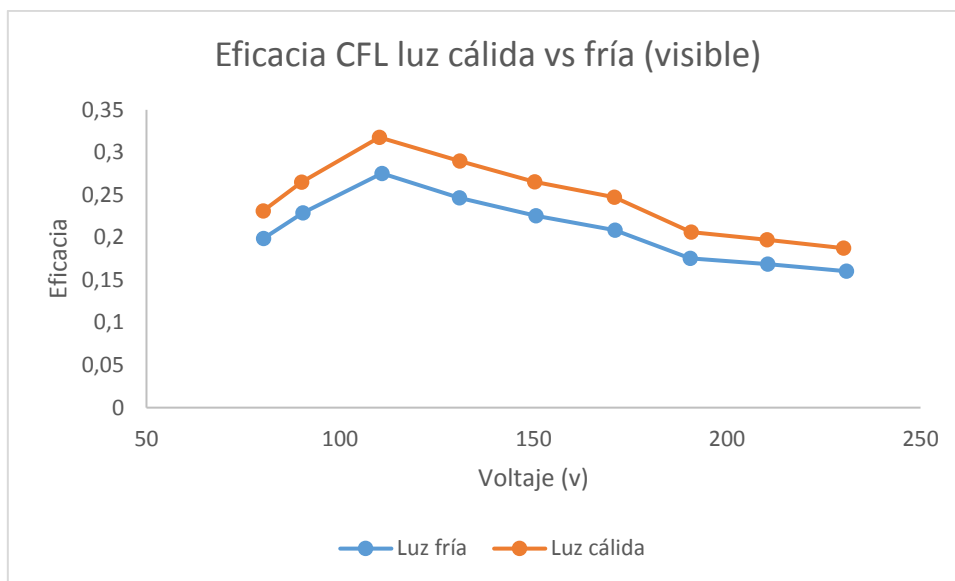


En vista de los resultados obtenidos, el flujo luminoso de la bombilla de luz cálida es ligeramente superior al de la bombilla de luz fría. Esto es así independientemente del sensor empleado puesto que la emisión en el infrarrojo de las bombillas de bajo consumo es muy pequeña.

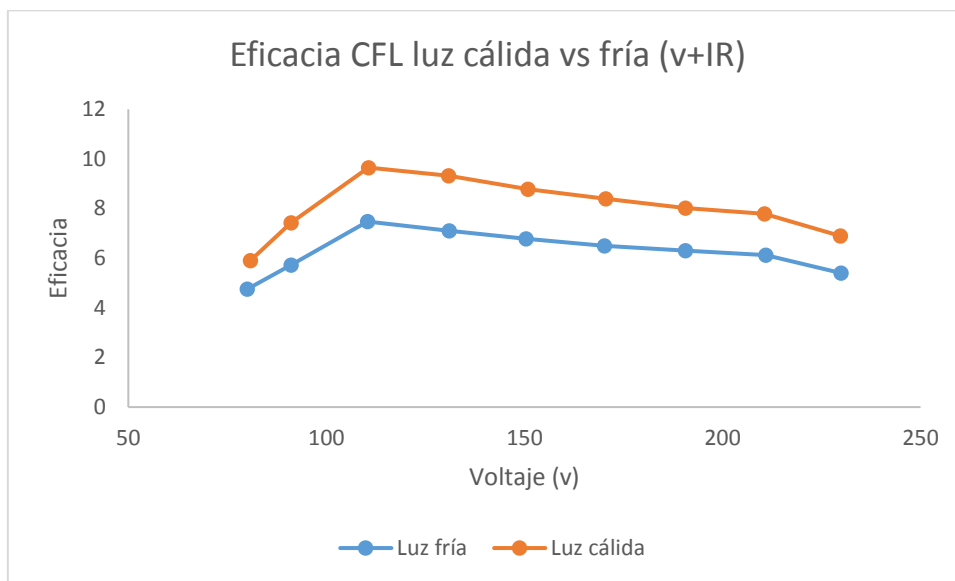
Como era de esperar al ser ambas bombillas del mismo tipo, las dos presentan un comportamiento similar al regular el voltaje.

## Eficacia

Representación gráfica de la eficacia en el visible.



Representación gráfica de la eficacia teniendo en cuenta el visible más el infrarrojo:



Como era de esperar a la vista de los resultados obtenidos en el apartado anterior, la bombilla de luz cálida es algo más eficiente, tanto si consideramos solo el visible o si tenemos también en cuenta el infrarrojo, puesto que no ha habido sorpresas. Ambas presentan la misma potencia, la anunciada por el fabricante, y su comportamiento es similar.

## Anexo 5. Presupuesto

<b>Presupuesto</b>	
<b>Material</b>	<b>Precio (€)</b>
Cartulina blanca (x2)	0,98
Cinta adhesiva blanca	1
Portalámparas	2,99
Placa prototipo	5,99
Papel de lija de grano fino	0,49

<b>Bombillas (*)</b>	<b>Precio (€)</b>
Bombilla incandescente E27 40 W	0,79
Bombilla halógena E27 28 W	0,99
Bombilla CFL luz cálida E27 11 W	1,99
Bombilla CFL luz fría E27 11 W	1,99
Bombilla LED luz cálida E27 6 W	2,49
Bombilla LED luz fría E27 6 W	2,49

<b>Aparatos de medida y Sensores (**)</b>	<b>Precio (€)</b>
Vatímetro	16,99
Fotodiodo BPW 24	1,09
Fotorresistencia (GL5528)	0,20

(\*) Las bombillas pueden estar usadas. Una vez terminada la práctica, podrán ser utilizadas con total normalidad.

(\*\*) Es habitual que estos dispositivos estén presentes en el laboratorio de física de un centro de secundaria.



