



**Universidad de Valladolid**

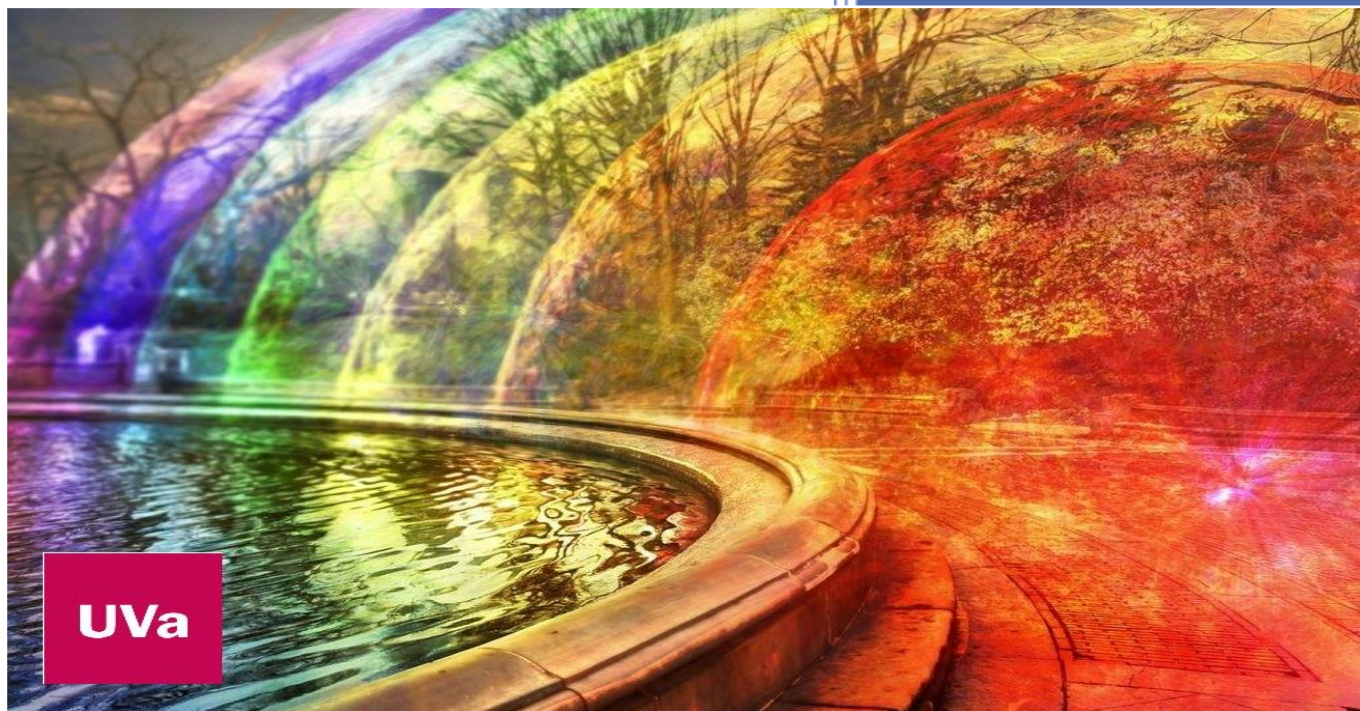
**Trabajo Fin de Máster**

*Máster en Profesor de Educación  
Secundaria  
Obligatoria y Bachillerato,  
Formación  
Profesional y Enseñanzas de Idiomas*

*Especialidad  
**Física y Química***

*Curso 2014/2015*

# Diseño y construcción de un espectrofotómetro y su aplicación a prácticas de Bachillerato



Alumno: Álvaro Ferradas Hernando

Tutores: José M<sup>a</sup> Muñoz Muñoz

Carlos Torres Cabrera

Marco Antonio Gigosos Pérez

Agradecimientos a Luis Costilla  
por la impresión y diseño del portamuestras.

## RESUMEN

Este trabajo fin de máster trata sobre el diseño y construcción de un espectrofotómetro y su implementación en varias prácticas de laboratorio asociadas a las asignaturas Física y Química de 1º de Bachillerato, Química de 2º de Bachillerato y Física de 2º de Bachillerato. El objetivo general de este trabajo fin de máster es que las prácticas de laboratorio sean novedosas, motivantes, que sirvan como complemento didáctico para facilitar la adquisición de los contenidos fijados en el currículo de estas disciplinas y para ayudar a que el alumnado se capacite conceptual y metodológicamente para afrontar con éxito problemas en el ámbito escolar y también en su entorno socionatural. Las experiencias aquí propuestas tratan sobre distintos fenómenos ópticos que tienen aplicaciones directas en un laboratorio de Física y Química y en la vida diaria de los alumnos, como por ejemplo la absorción de radiación electromagnética por la materia o el estudio del rendimiento de varias bombillas de características diferentes. Se explica detalladamente, cómo se ha construido, qué materiales se han empleado en su construcción y cómo se ha programado el espectrofotómetro. En la elaboración y justificación se ha tenido en cuenta que estamos en una educación orientada a proyectos y que existen varios estudios y autores que afirman que los sistemas de captación automática de datos fomentan que los alumnos adquieran procesos claves dentro del método científico, como por ejemplo, interpretar gráficas.

## ABSTRACT

This master final work is about the design and building of a spectrophotometer and its implementation in several lab experiences associated with the subject Physics and Chemistry, 1º Bachillerato, Chemistry, 2º Bachillerato and Physics, 2º Bachillerato. The general objective of this master final work is the lab experiences will be original, motivational, and they will be used for educational complement in order to make easier achieve the contents set in the syllabus of these subjects and help to the student body will be trained conceptual and to acquire a good work methodology in order to face successfully school problems and social problems. The suggested experiences are about different optical phenomena that have a direct application in a chemistry and physics lab and in the students' daily life, for instance absorption of electromagnetic radiation by matter or the energy performance of several types of bulbs. It is explained in detail, how was the spectrophotometer built, what kinds of materials have been used in its building and how was the spectrophotometer programmed. In the development and justification of this work, it has been considered that we are in an education oriented towards projects and there are many studies and authors who affirmed the automated data capture systems make easier the pupils achieve some useful processes of the scientific method, as for example, interpret graphs.

<b>ÍNDICE.....</b>	<b>Páginas</b>
1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Motivación y Justificación de la temática elegida .....	1
1.2. Objetivo del Trabajo Fin de Máster (TFM) .....	3
1.3. Contextualización de la temática del trabajo fin de máster (TFM).....	4
1.4. Aspectos docentes y pedagógicos.....	6
1.4.1. Planificación del proceso de enseñanza/aprendizaje .....	7
1.4.2. Metodología y didáctica .....	9
1.4.3. Evaluación del proceso enseñanza/aprendizaje .....	12
2. TEORÍA RELACIONADA CON EL ESPECTROFOTÓMETRO .....	14
2.1. ABSORBANCIA, TRANSMITANCIA Y LEY DE LAMBERT-BEER .....	14
2.1.1. Espectro electromagnético .....	14
2.1.1.1. El color.....	15
2.1.2. Absorbancia, Transmitancia y Ley de Lambert-Beer. Absorción de radiación en disoluciones. Utilidad de los logaritmos .....	16
2.1.2.1. LEY DE LAMBERT-BEER.....	16
2.1.2.2. Medición de la absorción .....	18
3. ASPECTOS MEDIOAMBIENTALES.....	20
3.1. Eutrofización .....	20
3.2. Indicadores REDOX.....	22
3.2.1. Azul de metileno .....	22
3.3. Energías alternativas .....	23
3.3.1. Energía solar .....	24
3.3.1.1. Células solares.....	25
4. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL ESPECTROFOTÓMETRO.....	29
4.1. Texas Instruments Vs Arduino .....	29
4.1.1. Entorno de Programación Energia .....	30
4.2. Elección de sensor .....	31
4.3. Elección de la fuente de iluminación .....	33
4.3.1. LED RGB de Ánodo Común.....	33
4.3.1.1. Síntesis aditiva de color.....	35
4.4. Construcción del equipo de medida .....	36

4.5. Organización y estructuración del código del programa del sensor .....	39
5. Aplicación del espectrofotómetro a prácticas de Bachillerato .....	43
5.1. Aplicación del espectrofotómetro a prácticas de Química en Bachillerato.....	43
5.1.1. Medida de la absorción de una muestra de sulfato de cobre (II) pentahidratado ...	44
5.1.2. Medida de la absorción de una muestra de cloruro férrico .....	47
5.2. Aplicación del espectrofotómetro a prácticas de Física en Bachillerato .....	50
5.2.1. Medida de la rapidez de encendido de bombillas de diferentes características.....	50
5.2.2. Medida del porcentaje de emisión en el infrarrojo y en el visible de bombillas de distintas características .....	51
5.2.3. Comparación de la eficiencia de estas tres bombillas .....	52
6. CONCLUSIONES .....	54
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	56
ANEXO I. CÓMO MEDIR FRECUENCIA .....	58
ANEXO II. ALGORITMO DEL ESPECTROFOTÓMETRO .....	60
ANEXO III. COSTES DEL MATERIAL EMPLEADO .....	62

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Motivación y Justificación de la temática elegida

La elección de: **“Diseño y construcción de un espectrofotómetro y su aplicación a prácticas de Bachillerato”** como Trabajo Fin de Máster (TFM), surge del convencimiento personal de emplear la experimentación como instrumento didáctico y pedagógico que está íntimamente ligado a la enseñanza de las ciencias experimentales en la etapa de educación secundaria (obligatoria y postobligatoria).

Este TFM trata sobre la construcción de un espectrofotómetro empleando materiales electrónicos novedosos y de bajo coste como microcontroladores, sensores, un led RGB y sistemas de adquisición automática de datos, así como la utilización del mismo como instrumento de medida en prácticas de Física y de Química en las que intervienen fenómenos de radiación electromagnética como la fotometría, la radiometría y la espectrofotometría. La elección de fenómenos de óptica ondulatoria como el todo, y los fenómenos asociados a la luz y el color en particular, se justifica por dos motivos principalmente por un lado, como un homenaje a la luz y sus fenómenos ondulatorios, debido a que la Asamblea General de la ONU proclamó en 2013 la celebración del Año Internacional de la Luz en 2015 bajo la coordinación de la UNESCO, para generar más conciencia sobre la importancia de la luz y las tecnologías ópticas en la vida, y por otro en que la luz es una temática que a modo de nexo de unión conecta las disciplinas de Física y Química, y más allá de estas dos, a otras disciplinas como la tecnología, la programación o/y el dibujo artístico, lo que bajo mi punto de vista refleja convenientemente el modo transversal y multidisciplinar de abordar este planteamiento. Al convertirse en una disciplina transversal clave de la ciencia y la ingeniería en el siglo XXI, es esencial que cada uno aprecie plenamente la importancia del estudio científico de la física de la luz y la aplicación de las tecnologías basadas en la luz para el desarrollo sostenible mundial.

Además, la luz ejerce una función fundamental en las actividades humanas y en la naturaleza. La luz está presente en la fotosíntesis y ha jugado un papel clave en el origen de la vida y las múltiples aplicaciones de la luz transformando (radicalmente) la sociedad, por medio de la medicina, el ocio, el arte y la cultura. Las tecnologías basadas en la luz ayudan a solucionar algunos problemas de índole mundial, y en campos tan variados como los de la energía, la educación, la agricultura y la salud. En palabras del Comité Ejecutivo de la UNESCO, las aplicaciones de las tecnologías basadas en la luz mejoran la calidad de vida en el mundo en desarrollo y son elementos clave para alcanzar los Objetivos de Desarrollo del Milenio y superarlos. Por otro lado, la luz se ha convertido en una disciplina transversal clave de la ciencia y la ingeniería en el siglo XXI, y por tanto es esencial que cada uno aprecie plenamente la importancia del estudio científico de la física de la luz y la aplicación de las tecnologías basadas en la luz para el desarrollo sostenible mundial.



Por eso estoy fuertemente convencido que es fundamental motivar e incentivar a los alumnos de ESO y Bachillerato para que se despierte y crezca su interés por el estudio de las ciencias.

Otro de los motivos a la hora de escoger esta temática para el TFM ha sido intentar acercar a los alumnos el mundo de la experimentación en ciencias y su utilidad con la finalidad de dar oportunidad a los alumnos de resolver problemas prácticos, de adquirir confianza en su propia capacidad para resolverlos, favoreciendo así que relacionen los conocimientos adquiridos con algo que ya conocían previamente (aprendizaje significativo) y que comprueben que los conocimientos que han adquirido se pueden aplicar y utilizar fuera del aula (aprendizaje funcional). Asimismo, he intentado dar una solución al principal problema que me he encontrado en el laboratorio del Centro en el que he realizado mi PRACTICUM: muchas prácticas no se pueden llevar a cabo porque el profesor sólo dispone de 55 minutos para su realización. Este espectrofotómetro soluciona dos problemas:

1. A falta del equipo necesario para la realización de algunas prácticas se puede construir el equipo.
2. Como el equipo puede funcionar en modo automático de toma de datos, se pueden llevar a cabo diversas prácticas que en condiciones normales no se pueden realizar por falta de tiempo.

El alumno iniciaría el equipo al inicio de la clase y al terminar la hora de laboratorio el aparato puede seguir midiendo sólo, como además, el equipo se puede conectar a un ordenador para obtener y representar los datos de las medidas, el alumno sólo tendría que venir al terminar el horario escolar o al día siguiente a conectar el equipo a un ordenador (PC), sacar los datos de las medidas y representarlos mediante cualquier herramienta ofimática, ya sea Excel, Origin, Sigma Plot o Calc de OppenOffice. Profundizando más en el tema de la inclusión de los sistemas de captación automática de datos en el trabajo experimental, encontramos autores como Russel; Lucas y McRobbie (2004), (Caamaño, y otros, 2011 b) que argumentan que mediante los sistemas de captación de datos, o sistemas MBL, se obtienen datos en tiempo real y en diferentes modalidades de representación de una manera amena. Ello fomenta que los alumnos trabajen los diferentes pasos del método científico que les ayuden a desarrollar la competencia científica, tales como interpretar gráficos o relacionar los fenómenos reales con sus representaciones gráficas. Pero lo más interesante es que podemos dedicar la mayor parte del tiempo de laboratorio a preparar la toma de datos, a realizar los experimentos y a modificar éstos según los resultados de las medidas. Esta forma diferente de distribuir el tiempo, posibilita dar una orientación pedagógica al trabajo de laboratorio que favorezca un enfoque profundo del aprendizaje de los conceptos científicos. Por lo tanto, los sistemas de captación automática de datos pueden ser una tecnología muy útil para fomentar tanto el aprendizaje de los conceptos científicos como de los procesos científicos y la promoción del pensamiento crítico. Además, estos autores (Russel; Lucas y McRobbie, 2004) han constado que el estilo del profesor y su experiencia con sistemas de captación automática de datos desempeñan un papel crucial en el rendimiento de los alumnos en su uso.

La estructura de este trabajo consta de una parte inicial en la que se explican brevemente los motivos, los objetivos y la justificación del tema seleccionado y el modo de afrontarlo. En la segunda parte del documento, se incluye el material de carácter teórico relacionado con la experiencia y que puede ser de gran utilidad para el profesor. En tercer lugar, se realiza una introducción y un breve comentario a algunos aspectos medioambientales de gran interés e importancia en nuestros días, y que es conveniente que los alumnos de Bachillerato se familiaricen con ellos.

En la última parte del trabajo, se describe cómo se ha construido y cómo se ha programado el espectrofotómetro, así como el trabajo experimental realizado por mí para verificar la utilidad y la versatilidad del equipo para realizar experiencias de laboratorio en Bachillerato. Por último, se comentan de una manera razonada y justificada las conclusiones de este trabajo.

En conclusión, con este trabajo se quiere presentar una visión completa y a la vez novedosa de los trabajos experimentales, aplicando las TIC y los diferentes conceptos aprendidos en el máster.

## **1.2 Objetivo del Trabajo Fin de Máster (TFM)**

El trabajo Fin de Máster constituye el broche de oro al Máster de Profesor en Secundaria Obligatoria, Bachillerato, Formación Profesional y Enseñanza de Idiomas. El objetivo final del mismo no es otro que razonar sobre los conocimientos y competencias adquiridas a lo largo de todo el curso, exponiendo una actividad didáctica vinculada con la Física y la Química, teniendo claro dos aspectos fundamentales:

- a. Cada nivel de enseñanza tiene exigencias metodológicas específicas.
- b. Lo que el profesor dice y hace en el aula constituye el elemento clave de los resultados obtenidos.

En el caso de la docencia de las asignaturas de ciencias experimentales es necesario el conocimiento, el dominio y la utilización de diversos y recursos didácticos, y una capacidad de abstracción para poder explicar de una forma metódica, meticulosa, concisa y sencilla los conceptos y términos científicos relacionados con estas materias, utilizando para ello, un lenguaje cotidiano y cercano al alumno, sin olvidar el lenguaje científico y la terminología asociada a estas materias. También es importante estimular el interés por el conocimiento científico, de manera que los alumnos sean capaces de valorar los aportes del desarrollo científico a la evolución tecnológica y su impacto en la sociedad y reconozcan que el conocimiento científico tiene un carácter provisional y que la innovación y la actitud emprendedora hacen avanzar a la ciencia y a la sociedad. Entre los variados recursos didácticos para enriquecer y modernizar la docencia de las ciencias experimentales, se pueden tener en cuenta los siguientes:



1. Utilización de estrategias de indagación para la enseñanza de las ciencias en E.S.O. y Bachillerato: elaboración de un módulo. Favorecemos una motivación intrínseca y motivamos al alumnado, sobre todo cuando se trata de una clase problemática.
2. Desarrollo de un entorno personal de aprendizaje PLE (Personal Learning Environment): favorecemos la competencia aprender a aprender.
3. Aplicación de las TIC: aprovechando las potencialidades de las tecnologías de la información, facilitamos el desarrollo de las competencias cognitivas de los alumnos.
4. Empleo de analogías: introducción de un concepto nuevo, relacionándolo con otro ya conocido y que tiene una relación directa con el concepto introducido. Las analogías sirven para aclarar conceptos e introducir nuevas ideas haciéndolas asequibles a la comprensión de los alumnos.
5. Preparación y realización de una práctica de laboratorio: que sirva para que los alumnos afiancen mejor los conceptos teóricos y curriculares de la materia, y que además ayude a los alumnos a comprender mejor y a familiarizarse con el trabajo experimental y con la aplicación directa del método científico.

Este TFM trata sobre el proyecto y realización de una práctica de laboratorio (punto 6 de las proposiciones anteriores), pero con un amplio uso de las TIC (punto 4 de las proposiciones anteriores), de una manera novedosa y motivadora, intentando que el alumno comprenda que el trabajo experimental, además de servirle para afianzar conceptos de las ciencias experimentales, puede serle de gran ayuda en sus proyectos de tecnología, biología y con aspectos que aparecen continuamente en su vida diaria y cotidiana.

### **1.3 Contextualización de la temática del trabajo fin de máster (TFM)**

Por tratarse de una propuesta de naturaleza (tipo) experimental encuadrada dentro del temario de las asignaturas de Física y Química, Química y Física, según el DECRETO 42/2008, de 5 de junio (B.O.C.yL nº111), por el que se establece el currículo de bachillerato en la Comunidad de Castilla y León, la propuesta experimental que se describe en esta memoria está enmarcada dentro del bloque 8 de la programación de Física y Química de 1º Bachillerato, el bloque 7 de Química de 2º Bachillerato y el bloque 4 de Física de 2º de Bachillerato, detalladas a continuación:

#### **Física y Química 1º Bachillerato**

##### **8. Estudio de las transformaciones químicas:**

- Importancia del estudio de las transformaciones químicas y sus implicaciones.
- Interpretación microscópica de las reacciones químicas. Concepto de velocidad de reacción. Influencia de la variación de concentración y temperatura en la velocidad de reacción. Comprobación experimental. Estequiometría de las reacciones. Reactivo limitante y rendimiento de una reacción.
- Química e industria: materias primas y productos de consumo. Implicaciones de la química industrial.

- Valoración de algunas reacciones químicas que, por su importancia biológica, industrial o repercusión ambiental, tienen mayor interés en nuestra sociedad. El papel de la química en la construcción de un futuro sostenible.

## **Química 2º Bachillerato**

### 7. Introducción a la electroquímica:

- Reacciones de oxidación-reducción. Especies oxidantes y reductoras. Número de oxidación.
- Concepto de potencial de reducción estándar. Escala de oxidantes y reductores.
- Valoraciones redox, en particular la permanganimetría. Tratamiento experimental.
- Aplicaciones y repercusiones de las reacciones de oxidación reducción: pilas y batería eléctricas.
- La electrólisis: Importancia industrial y económica. La corrosión de metales y su prevención. Residuos y reciclaje.

## **Física 2º Bachillerato**

### 4. Óptica:

- Controversia histórica sobre la naturaleza de la luz: modelos corpuscular y ondulatorio. Dependencia de la velocidad de la luz con el medio. Propagación de la luz: reflexión y refracción. Conceptos de absorción, difracción, interferencia y dispersión de la luz. Espectro visible.
- Óptica geométrica. Comprensión de la visión y formación de imágenes en espejos y lentes delgadas: estudio cualitativo. Pequeñas experiencias. Construcción de algún instrumento óptico (telescopio sencillo...).
- Aplicaciones médicas y tecnológicas

Asimismo, una parte de los conceptos fundamentales para la realización y comprensión de esta práctica están directamente relacionados con un apartado del punto 4. *Circuitos eléctricos de corriente alterna*: correspondiente a la asignatura Electrotecnia de 2º Bachillerato, como expone el DECRETO 42/2008, de 5 de Junio (B.O.C.y.L nº111).

- Semiconductores. Diodos, transistores, tiristores. Valores característicos y su comprobación. Circuitos electrónicos básicos: rectificadores, amplificadores, multivibradores.

Por otra parte si atendemos al proceso de construcción del espectrofotómetro los conceptos y procedimientos necesarios para llevarlo a cabo guardan relación con un apartado del punto 3. *Elementos de máquinas y sistemas*: correspondiente a la asignatura Tecnología Industrial I de 1º de Bachillerato y con un apartado del punto 5. *Control y programación de sistemas automáticos*: correspondiente a la asignatura Tecnología Industrial II de 2º de Bachillerato. Además como menciona el DECRETO 42/2008, de 5 de Junio (B.O.C.y.L nº111) en Tecnología

Industrial I y Tecnología Industrial II, se pretende la adquisición de conocimientos relativos a los medios y maquinarias necesarios, a los principios físicos de funcionamiento de la maquinaria empleada y al tipo de energía más idónea para un consumo mínimo, respetando el medio ambiente y obteniendo un máximo ahorro energético.

### **Tecnología Industrial I 1º Bachillerato**

#### 3. Elementos de máquinas y sistemas:

- Representación esquematizada de circuitos eléctricos, neumáticos e hidráulicos. Simbología. Interpretación de planos y esquemas.
- Montaje y experimentación de circuitos eléctricos, neumáticos e hidráulicos característicos.

### **Tecnología Industrial II 2º Bachillerato**

#### 5. Control y programación de sistemas automáticos:

- Aplicación al control del funcionamiento de un dispositivo.
- Circuitos lógicos secuenciales síncronos y asíncronos.
- Circuitos de control programado. Programación rígida y flexible.
- Microprocesadores.
- Autómatas programables. Lenguajes de programación. Aplicaciones.

De todo lo anterior se deduce que este equipo tiene un gran carácter transversal debido a que se adapta perfectamente a varias materias de Bachillerato.

Como este espectrofotómetro tiene un gran carácter transversal, puede ser utilizado incluso en actividades que se realizan fuera del horario escolar, es decir, en actividades extracurriculares.

Con este equipo se puede realizar un taller de diseño y montaje de materiales y dispositivos electrónicos, un curso de iniciación a la programación en lenguaje C e incluso un seminario sobre la utilización del equipo en diferentes prácticas de laboratorio que no se puedan realizar dentro del horario escolar, porque requieran más tiempo.

Las actividades extracurriculares cada vez gozan de mayor relevancia en los Centros de Educación Secundaria y Bachillerato, debido a que con ellas, se fomenta el trabajo en equipo y se concientiza sobre la perseverancia, para alcanzar una meta o un objetivo.

## **1.4. Aspectos docentes y pedagógicos**

Según expresión de García Hoz (1970:366). El profesor ha de ser orientador y modelo para el educando de los valores educativos que se pretenden; además, por supuesto, de experto en enseñanza. Desearía realizar mi propia definición del profesor de Secundaria y Bachillerato, reconociendo al profesor como una persona con una alta capacidad técnica en las materias que imparte, en nuestro caso Física y Química, que posea una gran motivación por aprender, y que destaque por su buena capacidad tanto en trabajo individual como en equipo, cooperando con otros departamentos y profesionales. El profesor deberá tener muy buena capacidad de

razonamiento, adaptándose fácilmente a los diferentes grupos de alumnos a los que imparte clase, su carácter será el adecuado para establecer buenas relaciones con el entorno que le rodea, sean profesores y/o alumnos. Además, un buen profesor de enseñanza secundaria (obligatoria y postobligatoria) debe tener una alta capacidad de aprendizaje, iniciativa y creatividad, ser receptivo a las críticas y a las indicaciones para mejorar el aprendizaje. Su comunicación oral debe ser adecuada, debe implicarse con los alumnos, manejar las nuevas tecnologías y administrar adecuadamente los trabajos.

#### **1.4.1. Planificación del proceso de enseñanza/aprendizaje**

##### **\* Distribución del alumnado:**

El trabajo experimental que se expone en esta memoria está pensado como experiencia de laboratorio para que sea ejecutada por el alumnado.

La distribución de los alumnos en el laboratorio será en grupos pequeños, de entre 2 y 4 alumnos, siempre en función del número total de alumnos y del número de puestos de trabajo disponibles en el laboratorio.

Debido a que para la realización de algunas prácticas van a ser necesarios reactivos químicos que pueden dañar el material y a las personas que estén trabajando en el laboratorio, es importante que el profesor remarque constantemente que se respeten las medidas de seguridad básicas, pudiendo explicar también a los alumnos qué son las fichas de seguridad de los reactivos y qué información se recoge en ellas. Para contribuir a que los alumnos se acostumbren a manejar estos documentos, el profesor pondrá a disposición del alumnado las fichas de seguridad de todos los reactivos que se utilizarán en la práctica, especialmente las de los más peligrosos (como por ejemplo el HCl).

##### **\* Temporalización:**

El tiempo estimado para la realización de las prácticas es de 6 sesiones de 50 minutos, divididas en dos fases. Una primera fase de construcción del equipo (que será realizada íntegramente por el profesor) y una segunda fase de utilización del equipo en las actividades de laboratorio.

El orden de actividades en cada sesión se especifica a continuación.

##### **➤ Sesión 1.**

En la primera sesión, el profesor hará una presentación general del tema, explicará los objetivos de la práctica, las actividades a realizar y dejará claros los criterios de evaluación. Posteriormente, el profesor empezará a explicar, qué se va a hacer, cómo se va a hacer y por qué se va a hacer. Para ello, en la segunda parte de la clase, les dará unas nociones teóricas sobre sensores lumínicos, comentando las características, semejanzas y diferencias y las ventajas y desventajas existentes entre utilizar una

LDR, un fotodiodo, un sensor analógico de conversión luz a voltaje, y un sensor digital que convierte luz a frecuencia, justificándoles además porqué se ha escogido este último como sensor para el equipo que se va a construir.

En el último tramo de la clase, les dará unas breves nociones acerca del Launchpad Tiva de Texas Instruments y del microcontrolador que lleva incorporado.

➤ Sesión 2.

En esta sesión se procederá al montaje del equipo. Primeramente, el profesor explicará al alumnado, en qué consiste un LED RGB, dándoles unas ligeras nociones sobre la síntesis aditiva de color. También les explicará cómo se distingue el ánodo del cátodo en un LED clásico de dos patas y en un LED RGB de cuatro patas, haciendo hincapié en que los LED son dispositivos que tienen polaridad y que por lo tanto hay que conectarlos al circuito de manera correcta.

A continuación, el profesor reunirá en un círculo en torno a él a los alumnos, para que estos puedan ver cómo trabaja, ya que será él quien suelde tanto el LED al circuito, como el sensor y las resistencias necesarias para los LED internos del LED RGB. Debe soldarlo el profesor porque son componentes muy pequeños y quemarse con el soldador es bastante frecuente sino se tiene mucha experiencia.

Por último, el profesor le enseñará al alumnado el dispositivo totalmente montado, y les explicará de forma breve para qué sirve.

➤ Sesión 3.

En esta sesión, el profesor impartirá la clase en el aula de informática, donde explicará a los alumnos cómo ha hecho y ha organizado el programa del sensor del equipo. El profesor, también indicará a los alumnos porqué lo ha hecho de una determinada manera y no de otra, dejando claro que cuando uno realiza un programa es importante optimizar al máximo los recursos de la máquina que va a programar.

Al final de la clase, se iniciará un pequeño debate entre los alumnos y el profesor sobre la utilidad para la vida cotidiana de los alumnos de saber programar y en qué les puede ayudar en un futuro.

➤ Sesión 4.

En esta sesión, la clase será en el laboratorio de Física del instituto. En esta clase se realizarán medidas de la rapidez de encendido de bombillas incandescentes y de bombillas fluocompactas de bajo consumo. Después del experimento, se organizará un debate teniendo en cuenta los datos obtenidos en las medidas, sobre cuál es el mejor lugar para colocar una bombilla de bajo consumo fluocompacta en nuestro hogar, si lo que queremos es ahorrar en nuestra factura eléctrica.

En la última parte de la clase se realizarán medidas del rendimiento de varias lámparas de distintas características empleando un filtro infrarrojo. Se les pedirá a los alumnos

que indaguen acerca de qué tipo de bombilla es el más adecuado para su hogar desde el punto de vista de la eficiencia energética.

➤ Sesión 5

En esta sesión, el profesor y los alumnos harán una salida hasta un río cercano para realizar una toma de muestras de agua, con el fin de realizar posteriormente en el laboratorio una medición del nivel de contaminación orgánica del río.

De vuelta ya en el instituto y en el laboratorio de Química del mismo, el profesor ordenará preparar a los alumnos una disolución de azul de metileno  $1.5 \times 10^{-3}$  M. Posteriormente a cada botella con muestra de agua recogida en el río se le añadirá 1 ml de la disolución que se acaba de preparar y las botellas se taparán de forma hermética e inmediata. El profesor hará hincapié en que es muy importante dejar las botellas en un lugar oscuro, a unos 20°C y que se debe anotar la hora.

El azul de metileno conserva su color azul mientras hay oxígeno, volviéndose incoloro cuando se ha agotado. De manera que si queremos saber el nivel de contaminación del río deberemos tener en cuenta el tiempo transcurrido hasta que en cada muestra desaparezca totalmente el color azul, dándonos una idea del nivel de contaminación orgánica en el río. Si en 5 días no ha cambiado de color se puede concluir que no está contaminada.

➤ Sesión 6.

Esta sesión se desarrollará en el laboratorio de Química. En ella, los alumnos tendrán que medir la absorbancia en función de la concentración de una muestra de cloruro férrico y de una muestra de sulfato de cobre (II) pentahidratado. Los alumnos deberán medir la absorción de las muestras en tres colores, rojo, verde y azul. Deberán tabular los datos de las medidas y representarlos gráficamente.

Al final de la clase, el profesor pedirá a los alumnos que interpreten las representaciones gráficas obtenidas, ayudándoles a comprender todos los conceptos que se les hayan podido pasar por alto o no comprendan.

#### **1.4.2. Metodología y didáctica**

Considero, que la metodología empleada para la enseñanza ha de ser activa y capaz de adaptarse al grupo de alumnos y a sus circunstancias, basada en los ideales constructivistas del aprendizaje, fomentar y favorecer el desarrollo de las capacidades metacognitivas del alumnado para conseguir un aprendizaje significativo.

La bibliografía especializada explica pormenorizadamente una diversidad de metodologías activas tales como el aprendizaje por indagación, aprendizaje por descubrimiento, aprendizaje por proyectos, aprendizaje colaborativo-cooperativo en grupos (reparto de tareas), a la hora de confeccionar la práctica, aunque no me he limitado a una metodología en particular, sí que he tenido muy en cuenta la sociedad del siglo XXI, que es una sociedad de la información, que

demanda una educación orientada a proyectos. De este modo, las actividades propuestas son de carácter inductivo (en las que el alumnado adquiere conocimientos a través de la observación activa), de carácter deductivo (el alumnado tiene conocimientos previos de los conceptos que aparecen en la actividad), y también aparecen actividades de indagación para fomentar la curiosidad científica y la capacidad de análisis como fuente de aprendizaje.

Además, siempre se tratará de promover el trabajo en equipo, para que aprendan a comunicarse y a trabajar con los demás y a afrontar y solucionar conflictos que aparecen en el mundo laboral. También, es muy importante conocer en detalle el conocimiento inicial de los alumnos y tenerlo en cuenta en la secuenciación de actividades y en la elección y diseño del modelo de enseñanza/aprendizaje.

Estas actividades a su vez, se han planificado pensando en desarrollar la creatividad y la inteligencia del alumno, en consonancia con la máxima en educación de que cuánto más variados seamos en nuestras actividades como profesores, más aspectos de la inteligencia del alumno desarrollaremos. Así, las actividades que hemos propuesto en esta memoria son beneficiosas para desarrollar el aprendizaje situado del alumno, ya que a su vez son actividades analíticas, prácticas, creativas y muy variadas, de forma que ayudamos a desarrollar el aprendizaje situado del alumno.

La finalidad última de todas y cada una de estas actividades es que el alumno aprenda, convirtiéndose de ese modo en el protagonista del proceso de aprendizaje en el que se compagina teoría y aplicación, adoptando el docente un rol de guía, para introducir los objetivos de cada actividad, exponiendo los contenidos de forma clara, concisa y abierta, para dejar algo de libertad al alumno, y estando cercano para ayudar al alumno con cualquier duda o cuestión que pudiera surgirle. Otro objetivo de estas actividades, es la de servir al alumno de motivación intrínseca para estimular su interés por el estudio de la ciencia.

\* Estrategia de Enseñanza: Actividades propuestas:

La estructuración de una práctica de laboratorio a partir de microcontroladores, sensores y sistemas de captación automática de datos es una estrategia didáctica en sí misma. Los puntos fuertes de este tipo de actividad experimental son:

- a) la comprobación por parte del alumno de que nosotros mismos podemos construir equipos y sistemas de medida a bajo coste y en función de las propias necesidades del trabajo en el laboratorio.
- b) la observación directa del fenómeno, lo que supone una actividad original e innovadora y que rompe con las actividades que se desarrollan de manera habitual en el aula.
- c) la posibilidad de realizar la experiencia fuera del aula e incluso en la propia casa del alumno, lo que facilita la búsqueda por parte del alumnado de las causas que producen ese fenómeno, es decir, fomentamos que el alumno se pregunte por el por qué.



d) Estimular que los alumnos formulen hipótesis, aunque luego después se compruebe que no son válidas. De esta forma, los alumnos comprenderán de una manera más sencilla que las hipótesis no verificadas pueden tener una gran utilidad, y que esto, no puede desanimar al investigador, puesto que la ciencia también avanza gracias a eliminar opciones sobre las que no conviene seguir insistiendo.

e) Familiarización con lenguajes y entornos de programación, que ayudarán mucho al alumno a encontrar un empleo en el futuro.

f) Facilita la enseñanza dialógica, ya que favorece los debates y las argumentaciones y ayuda a que los alumnos aprendan a comunicar ideas de ciencias.

En contraposición, aparece la indispensable y obligatoria planificación docente que engloba: la elección de los contenidos, la descripción precisa de los objetivos a alcanzar por los alumnos, el establecimiento de un orden a seguir para la realización de las actividades propuestas y de la metodología a seguir durante la puesta en escena del trabajo experimental. Además, una actividad docente de estas características implica que el profesor debe formarse a lo largo de toda su carrera profesional, porque es probable que su formación inicial no le sea suficiente para elaborar e implementar un proyecto docente con estas características, es decir, esta actividad está directamente relacionada con la formación continua del profesorado: *“El educador sigue educándose mientras educa a los demás”*. Jaume Sarramona.

Las actividades a realizar en este TFM y que se detallan en la **tabla número I** han sido estudiadas y proyectadas intentando que los alumnos se habitúen a la práctica investigadora que está directamente relacionada con asignaturas pertenecientes a las ciencias experimentales, como la Física, la Química, la Biología o la Geología, y que adquieran el vocabulario científico propio de estas disciplinas y que es necesario en nuestra sociedad de la información. Estas actividades se estructuran:

- ❖ Trabajo en grupo o trabajo cooperativo: estructuración de los trabajos, colaboración, distribución de cometidos, debate constructivo, etc.
- ❖ Búsqueda bibliográfica y búsqueda de información en internet.
- ❖ Uso de las TIC. Programación de autómatas y utilización de programas de creación de tablas y análisis de datos.
- ❖ Actividades prácticas e intuitivas: diseño y construcción de un equipo de medida, aplicación del equipo de medida a experimentos en el laboratorio y análisis crítico de los resultados.
- ❖ Comunicación dentro del grupo de trabajo, con los compañeros y con el profesor.

**Tabla número I. Actividades a realizar por los alumnos en relación con este trabajo.**

**“Diseño y construcción de un espectrofotómetro y su aplicación a prácticas de Bachillerato.”**

<b>Actividades de búsqueda de información</b>	<b>Actividades experimentales</b>	<b>Actividades en grupo</b>
Búsqueda bibliográfica sobre Arduino y Texas Tiva TM4C123G.	Diseño y construcción de un espectrofotómetro.	Estructuración de los trabajos y distribución de los contenidos.
Búsqueda de información acerca la eutrofización y sobre algunos métodos de análisis de presencia de materia orgánica.	Análisis de las muestras de agua recogidas en la excursión realizada a un río cercano al centro.	Discusión y análisis de los resultados obtenidos en grupo.
Búsqueda bibliográfica acerca de las principales ventajas e inconvenientes de los diferentes tipos de bombillas existentes en el mercado.	Medidas de la rapidez de encendido de distintos tipos de bombillas. Medidas del rendimiento de distintos tipos de bombillas.	Discusión e interpretación de los resultados obtenidos en grupo y ante el profesor. Debate acerca de qué tipo de bombilla es el más adecuado para nuestro hogar.
Elaboración de un informe para cada una de las prácticas que se realicen en el laboratorio. (Deberán ser entregadas para su evaluación).	Medidas de la rapidez de encendido y del rendimiento de varios tipos de bombillas. Medida de la absorbancia de una muestra de cloruro férrico y de una muestra de sulfato de cobre (II) pentahidratado.	1. Aportación al debate “Qué tipo de bombilla es el más adecuado para mi hogar”. 2. Exposición en público de una de las prácticas al resto del grupo.

#### 1.4.3. Evaluación del proceso enseñanza/aprendizaje

Todo proceso de enseñanza debe tener como finalidad que los alumnos aprendan, adquiriendo una serie de conocimientos y desarrollando unas competencias básicas necesarias para que apliquen los conocimientos adquiridos en su vida cotidiana. Preferiblemente la evaluación debe ser continua, integral, integradora e individualizada. Es necesario que el profesor asuma que no es posible considerar la evaluación de forma independiente de los procesos de enseñanza y aprendizaje, debido a que la evaluación no sólo mide los resultados, sino que condiciona qué se enseña y cómo, y qué aprenden los estudiantes y cómo lo hacen, debido a que el sistema de evaluación se centra principalmente en los resultados finales de una prueba, condicionando así qué se enseña y cómo, y sobre todo que deben aprender los estudiantes y como deben hacerlo. (Perrenoud, 1993; Sanmartí, 2007).

La evaluación además, ha de servir como instrumento de autoevaluación por parte del profesor del método pedagógico y didáctico empleado, y dado el caso, ver en qué ha fallado y cómo se puede mejorar la metodología que ha empleado el profesor. Lo más importante de la evaluación del trabajo del alumno es su carácter instructivo, siendo su finalidad que el alumno comprenda en qué objetivos del aprendizaje debe trabajar más y ver cómo puede mejorar su trabajo.

## **Procedimientos de evaluación: ¿qué se evalúa? Criterios de evaluación**

### Instrumentos de la evaluación

En lo referente a las actividades propuestas, para la evaluación de los conocimientos, competencias adquiridas y objetivos alcanzados por el alumno, se tendrán en cuenta los siguientes instrumentos de evaluación:

- \* El cuaderno de trabajo.
- \* El trabajo de laboratorio.
- \* El trabajo en equipo.
- \* La actitud participativa y solidaria.
- \* Ejercicios de lápiz y papel con cuestiones relativas a la materia.

### Nota de evaluación

- Para obtener la nota de evaluación obtendremos una nota base que quedará determinada por la media ponderal de las calificaciones obtenidas en los instrumentos anteriormente citados.
- Evaluación continua del trabajo en el laboratorio: se valorará en el alumno el cumplimiento de las normas de seguridad y las normas de orden, el tratamiento del material (limpieza, descuidos, roturas, etc.), habilidad técnica en la realización de las actividades el trabajo en equipo (comunicación, respeto a las opiniones del resto de compañeros, aceptación de críticas, reparto de tareas), una actitud participativa y solidaria, actitud científica, saber estar, saber hacer y mostrar interés por la forma de trabajar en ciencias experimentales, el cumplimiento de las instrucciones dadas por el profesor y el aprovechamiento de los recursos disponibles en el laboratorio. (30%).
- Cuaderno de trabajo: Llevar el cuaderno de trabajo al día, rigor en la toma de datos, elaboración de tablas, gráficos,.... Entrega y realización correcta de las hojas de ejercicios. Exposición razonada y congruente de las conclusiones obtenidas tras la realización de las prácticas de laboratorio. Corrección en el lenguaje escrito en la expresión de los informes científicos. Capacidad de síntesis en el desarrollo de trabajos. Orden y limpieza en el cuaderno de laboratorio (30%).
- Cada alumno deberá entregar un informe de laboratorio para cada una de las prácticas que realicen en el mismo. Cada informe de laboratorio se puntuará de 0 a 10. La nota por informes será su media aritmética. Los informes realizados por los alumnos no deben ser una mera copia de los guiones de prácticas, la redacción de los mismos debe ser personal e individual. No debe copiarlo un alumno de otro. Si no se entregan los informes deberá realizar un examen de recuperación. (40%).

## 2. TEORÍA RELACIONADA CON EL ESPECTROFOTÓMETRO

### 2.1. ABSORBANCIA, TRANSMITANCIA Y LEY DE LAMBERT-BEER

#### 2.1.1. Espectro electromagnético

El espectro electromagnético es el rango de todas las radiaciones electromagnéticas posibles. El espectro de un objeto es la distribución característica de la radiación electromagnética de ese objeto, es decir, el espectro electromagnético de una radiación compuesta es el conjunto de frecuencias y longitudes de onda que contiene, y puede ser continuo o discreto. El espectro electromagnético se suele clasificar o dividir en distintas regiones atendiendo a las fuentes que producen las ondas electromagnéticas o bien a los aparatos utilizados para su detección.

El espectro electromagnético se extiende desde las ondas de menor longitud de onda o de mayor frecuencia (rayos  $\gamma$ , rayos X) hasta las ondas de mayor longitud de onda o de menor frecuencia (ondas de radio, ondas de transmisión y distribución eléctrica). Aunque, en principio no existe ningún límite (ni superior ni inferior) para los valores de la longitud de onda y la frecuencia.

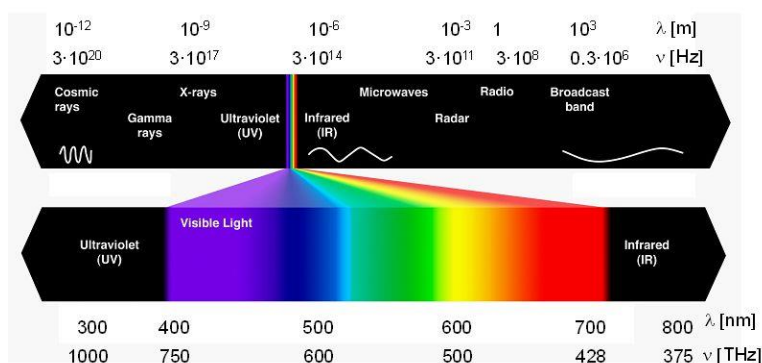
Todas las radiaciones electromagnéticas se transmiten en forma de onda electromagnética. Los parámetros que caracterizan a una onda electromagnética son su longitud de onda  $\lambda$  y su frecuencia  $\nu$ , que están relacionadas por:

$$c = \lambda \nu$$


donde  $c$  es la velocidad de propagación de la onda. En el vacío, como caso particular es  $c = 299792458$  m/s exactamente, ya que así se define.

Las ondas electromagnéticas de alta frecuencia tienen longitud de onda corta y una energía muy alta, mientras que las ondas electromagnéticas de baja frecuencia tienen longitud de onda larga y una energía baja.

En la figura se muestra el espectro electromagnético correspondiente a la escala de longitudes de onda y frecuencias de las ondas electromagnéticas conocidas hasta hoy.



Si nos centramos en la región visible del espectro electromagnético tenemos las siguientes longitudes de onda y frecuencias.

Luz visible		
		
Color	Frecuencia	Longitud de onda
Violeta	668–789 THz	380–450 nm
Azul	631–668 THz	450–475 nm
Ciano	606–630 THz	476–495 nm
Verde	526–606 THz	495–570 nm
Amarillo	508–526 THz	570–590 nm
Naranja	484–508 THz	590–620 nm
Rojo	400–484 THz	620–750 nm

#### 2.1.1.1. El color

En las últimas décadas, la función del color en la ciencia y en la tecnología ha alcanzado una gran relevancia. Pintura industrial y artística, fotografía, arquitectura, industrias de embalajes y recubrimientos, alimentación, iluminación, artes gráficas y textil, vídeo y TV entre otras, dependen en gran medida de una resolución conveniente de problemas de color. En Física y en Química el color se ha convertido en el eje básico de muchas aplicaciones que van desde cinética química, química analítica, o bioquímica por poner algún ejemplo. Tal es la importancia del color, que existe una ciencia del color, encargada de intentar dar respuesta a toda la problemática en torno al color.

La definición del color aceptada y adoptada internacionalmente es la dada por el Comité de Colorimetría de la Optical Society of América, que dice: El color consiste en las características de la luz distintas de sus inhomogeneidades espaciales y temporales, siendo la luz el aspecto de la energía radiante que el observador humano es capaz de percibir por la estimulación que produce en su retina.

Se puede definir el color de una manera menos formal como la sensación que producen los rayos lumínicos en los órganos visuales y que se interpreta en el cerebro. El color es un fenómeno físico-químico donde cada color depende de la longitud de onda y de la frecuencia de la radiación incidente.

Los cuerpos al ser iluminados absorben parte de la radiación electromagnética que les llega y reflejan el resto. Esa radiación reflejada, es captada por los conos del ojo (los conos son células fotosensibles que se encuentran situadas en la retina) y en función de la longitud de onda y de la frecuencia, esta radiación es interpretada por el cerebro.

### **2.1.2. Absorbancia, Transmitancia y Ley de Lambert-Beer. Absorción de radiación en disoluciones. Utilidad de los logaritmos**

Supongamos que dividimos un medio absorbente homogéneo, como una solución (o disolución) química, en una secuencia de capas imaginarias del mismo espesor y dirigimos un haz de radiación monocromática (es decir, radiación de una sola longitud de onda) a través de la disolución, hallaremos que cada una de las capas absorbe una fracción igual de radiación, o que cada capa disminuye la intensidad de la radiación del haz en la misma proporción. Por ejemplo, supongamos que la primera capa absorbe la mitad de la radiación que incide sobre ella, por lo tanto, la segunda capa absorberá la mitad de la radiación que incide sobre ella y la radiación electromagnética que emerja de esta segunda capa será un cuarto de la energía inicial; de la tercera capa saldrá un octavo y así sucesivamente, hasta  $1/n$  correspondiente a capa n-ésima.

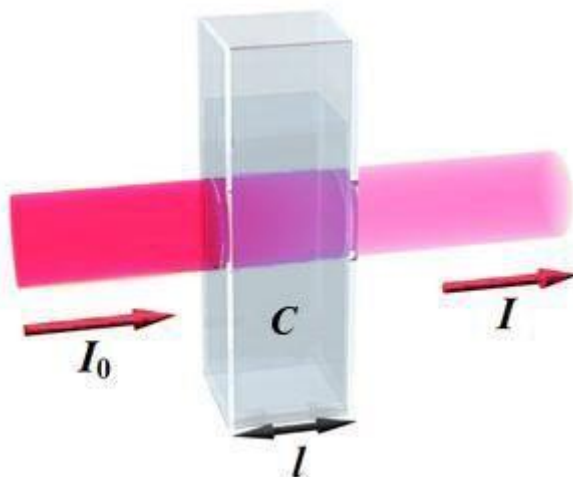
Para realizar estos cálculos necesitamos sumar una serie geométrica de razón menor que 1. Los logaritmos simplifican estos cálculos, ya que mediante logaritmos podemos convertir productos en sumas, cocientes en restas, potencias en multiplicación y raíces en divisiones. Nosotros nos centraremos en la siguiente propiedad: el logaritmo de un producto es igual a la suma de los logaritmos de los factores.

$$\log(a.b) = \log(a) + \log(b)$$

Esta propiedad convierte el producto en una suma, de modo que las absorbancias se pueden sumar y todo es más natural.

#### **2.1.2.1. LEY DE LAMBERT-BEER**

Si se hace incidir radiación monocromática (como se muestra en la figura), sobre una muestra con una concentración "C" de una sustancia que absorbe a esa longitud de onda  $\lambda$ , la intensidad de la radiación que la atraviesa, I, está relacionada con la intensidad incidente  $I_0$  y con el espesor de la muestra, l.



Transmitancia de la muestra (T): es la fracción de energía incidente que es transmitida por una muestra, en una determinada longitud de onda.  $T = \frac{I}{I_0}$ .

Absorbancia de la muestra: se define la absorbancia de la muestra como:  $A = \log_{10}(1/T)$  o bien  $A = -\log_{10}(T)$ .

La absorbancia es importante porque según veremos es directamente proporcional a la concentración  $c$ , de la sustancia que absorbe la luz.

#### Ley de Lambert-Beer:

La ley de Lambert-Beer nos dice que para una longitud de onda dada, la absorbancia de una solución es directamente proporcional a su concentración molar (cuántas más moléculas haya en la solución, la interacción de la luz con ellas será mayor) de la siguiente manera:

$$A = \epsilon \cdot l \cdot c = \log \left( \frac{I_0}{I} \right).$$

Siendo  $l$  la distancia que recorre la luz en la disolución (a igual concentración, cuanto mayor sea la distancia que recorre la luz por la muestra, más moléculas se encontrará, y más radiación absorberá).  $\epsilon$  es una constante de proporcionalidad, denominada absortividad molar, que es específica de cada sustancia y nos dice cuánta luz absorbe a una longitud de onda determinada. Si la concentración se expresa en  $M$  (moles por litro), se denomina coeficiente de extinción molar y como la absorbancia es adimensional y la longitud  $l$  está expresada en  $cm$ , las dimensiones del coeficiente de extinción molar son  $M^{-1} \cdot cm^{-1}$ . Cuando la masa molecular del soluto no se conoce, la concentración de la solución se expresa en otras unidades, por ejemplo:  $g \cdot L^{-1}$ , y por tanto, las unidades de  $\epsilon$  son distintas, por ejemplo  $g^{-1} \cdot L \cdot cm^{-1}$  y a  $\epsilon$  se lo conoce como coeficiente de extinción específico.



La ley de Lambert-Beer supone la base del análisis espectrofotométrico cuantitativo, debido a que afirma que la absorbancia es proporcional a la concentración molar de la muestra,  $c$ , y por tanto, si trabajamos con una longitud de onda dada y con una cubeta de un determinado espesor,  $l$ , midiendo directamente la absorbancia podemos calcular la concentración de la muestra.

La ley de Lambert-Beer se cumple para soluciones diluidas; para concentraciones elevadas,  $\epsilon$  varía con la concentración, como consecuencia de fenómenos de dispersión de la luz, agregación de moléculas, cambios del medio, etc.

La transmitancia, y la absorbancia son adimensionales, es decir, no tienen dimensiones. La concentración  $c$  de la muestra, normalmente viene expresada en unidades de mol/l. El camino óptico  $l$ , se expresa en centímetros. La absorptividad molar tiene unidades  $\text{mol}^{-1}\text{cm}^{-1}$ .

La transmitancia no es directamente proporcional a la concentración, y por tanto, si queremos obtener una gráfica lineal deberemos representar  $\log(T)$  frente (Vs) a  $C$ .

Si la muestra no absorbe radiación,  $I = I_0$  y  $A = -\log(I/I_0) = -\log(1) = 0$  y se transmite toda la radiación  $T = 1$  (100% de transmitancia).

La relación entre transmitancia y absorbancia de una muestra se puede esquematizar en la siguiente tabla:

$I/I_0$	% T	A
1	100	0
0.1	10	1
0.01	1	2

### 2.1.2.2. Medición de la absorción

La Ley de Beer, expresada como  $A = \epsilon \cdot l \cdot c = \log\left(\frac{I_0}{I}\right)$  no es directamente aplicable al análisis químico porque  $I$  e  $I_0$  no se pueden medir fácilmente en el laboratorio. Esto es consecuencia directa de que la muestra a estudiar tiene que estar contenida en un recipiente; de modo que, antes de poder realizar una medición del haz de radiación, éste tiene que atravesar las paredes de dicho recipiente. Como es inevitable que se produzca una interacción entre la radiación y las paredes, se producirá una pérdida de intensidad cada vez que el haz atraviese un medio de índice de refracción distinto (la muestra y la pared del recipiente tienen índices de refracción distintos, por ejemplo), debido a fenómenos de reflexión y aunque en menor medida, también a fenómenos de absorción. Las pérdidas por reflexión son de una magnitud importante; por ejemplo, al pasar perpendicularmente del aire al vidrio se refleja en torno a un 4 por ciento de la luz visible.

Para aplicar la ley de Beer de forma experimental hay que tratar de corregir o al menos, minimizar estos efectos. Esto se logra comparando la intensidad del haz transmitido por la solución problema con la intensidad de un haz que atraviese una cubeta idéntica que contenga únicamente el disolvente de la muestra. De esta forma se puede calcular la absorbancia experimental que tiene un valor muy próximo a la absorbancia verdadera de la solución:

$$A \cong \log \frac{I_{\text{disolvente}}}{I_{\text{solución}}} \cong \log \frac{I_0}{I}$$

De modo que  $I_0$  es la intensidad del haz de radiación que ha atravesado una cubeta con el disolvente de la solución problema.

### 3. ASPECTOS MEDIOAMBIENTALES

Debido a que con nuestro espectrofotómetro se pueden realizar experimentos que guardan relación con el medio ambiente, se mandará a los alumnos que realicen una búsqueda bibliográfica acerca de un gran problema medioambiental de nuestros días como la eutrofización, y otra búsqueda sobre las energías alternativas y la mejora de la eficiencia de una de ellas, en este caso, la energía solar ya que es la que mayor relación guarda con el fotómetro.

#### 3.1. Eutrofización

La eutrofización es un tipo de contaminación química de las aguas, que se produce cuando hay una aportación excesiva de nutrientes a un ecosistema acuático (normalmente, ríos poco profundos y con poca corriente, charcas, lagos y lagunas). Se puede producir de forma natural o por la acción humana.

Cuando un ecosistema acuático está sano, el agua es cuasicristalina y hay un número considerable de animales que respiran filtrando el oxígeno del agua, ya sean peces, moluscos o crustáceos, cosa que no ocurre cuando aparece la eutrofización.



*Foto: Lago Königssee. Alemania*

El aporte de nutrientes puede ser puntual, como por ejemplo una fuga en una planta, o bien puede ser continuado en forma de filtraciones de fertilizantes agrícolas. Este aporte de nutrientes causa un crecimiento exponencial de plantas y algas. Muchas algas son unicelulares y fotosintéticas, de modo que dan al agua un color verdoso que obstaculiza el paso de la luz a profundidades a las que antes sí llegaba.

La vegetación que se encuentra por debajo del nivel hasta el que llega la luz muere y se hunde hasta el fondo, fenómeno que también ocurre con muchas algas superficiales que mueren

como consecuencia del aumento de la demanda de nutrientes y agotamiento de los mismos por el crecimiento exponencial de la vegetación superficial.

Como consecuencia, toda la materia orgánica sin vida en el fondo es descompuesta por bacterias, que consumen el oxígeno.

Las especies animales que antes ocupaban el fondo, escapan hacia niveles acuáticos superiores que sufran este fenómeno, quedando por tanto el fondo del lago, río, charca o laguna deshabitada, u ocupada por microorganismos anaeróbicos.



*Foto: Lago Chao, China*

La eutrofización está relacionada con la demanda química y biológica de oxígeno, que indican la cantidad de oxígeno que es necesario consumir para que un ecosistema acuático consuma una cantidad determinada de un contaminante inorgánico u orgánico.

Tanto la demanda química de oxígeno y la demanda biológica de oxígeno se emplean para cuantificar la calidad del agua. Como norma general se expresan en unidades de miligramos de oxígeno consumido por litro de muestra durante un período de cinco días a una temperatura de 20°C.

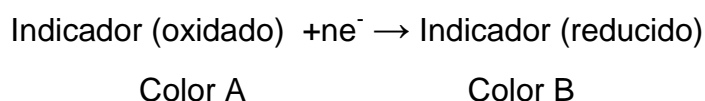
Cuánto mayores sean los valores de demanda química y demanda biológica de oxígeno en agua, mayor será la cantidad de oxígeno necesario para que los seres vivos de tipo aerobio de esas aguas traten ese nutriente. Si los valores de demanda química y demanda biológica de oxígeno alcanzan valores muy altos, el exceso de nutrientes provocará eutrofización en esas aguas, pudiendo acabar con toda la vida del fondo.

Aunque para detectar la eutrofización existen varios métodos aparte de los bioquímicos, como por ejemplo estudiar la abundancia o escasez de ciertas especies conocidas como indicadores biológicos o bioindicadores, las pruebas bioquímicas, como por ejemplo la prueba del azul de metileno juegan un papel importantísimo en la detección prematura de eutrofización.

### 3.2. Indicadores REDOX

Un indicador REDOX es un compuesto que cambia de color cuando pasa de su forma oxidada a su forma reducida. Los indicadores de oxidación-reducción se usan extensivamente para detectar el punto final de una reacción de oxidación-reducción.

Las reacciones de oxidación-reducción son un tipo de reacciones químicas que se producen cuando hay una transferencia de electrones de unas sustancias a otras. La pérdida de electrones da lugar a un aumento del estado de oxidación, y la sustancia en cuestión se oxida, en cambio, la ganancia de electrones da lugar a una disminución del estado de oxidación, y la sustancia en cuestión se reduce.



En esta tabla se muestran algunos de los indicadores de oxidación-reducción más empleados.

Indicador	Color (reducido)	Color (oxidado)
Azul de metileno	Incoloro	Azul
Difenilamina/sulfato de bario	Incoloro	Púrpura
Tionina	Violeta	Incoloro

#### 3.2.1. Azul de metileno

El azul de metileno, también llamado cloruro de metiltioninio, es un compuesto orgánico que es muy utilizado en muchas aplicaciones y en campos muy variados, desde la biología, la química o la medicina.

En biología se suele utilizar como colorante en procesos temporales de tinción durante las observaciones al microscopio, o para saber si las células eucariotas como por ejemplo, la levadura están vivas.

En medicina se emplea para teñir ciertas partes del cuerpo antes y durante un proceso de cirugía, aunque se usa principalmente como analgésico y cicatrizante interno. Incluso existe una variante de la fórmula que se emplea en tratamientos para retrasar los efectos degenerativos del alzheimer.

También se emplea el azul de metileno en acuicultura, sobre todo para tratar un tipo de infección fúngica que aparece en los peces tropicales. Es un producto muy comercializado para utilizarlo en acuarios domésticos.

Pero es en sus aplicaciones bioquímicas dónde se centrará esta memoria debido a que enlace directamente con el experimento propuesto de la botella azul.

Dentro de las aplicaciones químicas, el azul de metileno se puede emplear como:

- Un indicador de oxidación-reducción en química analítica. Debido a que las disoluciones de azul de metileno son de color azul cuando están en un medio oxidante y son incoloras cuando están en un medio reductor.
- Análisis de sulfuros.
- Medida de la actividad metabólica de las bacterias. Dentro de los diferentes sistemas que existen para detectar y medir el crecimiento de microorganismos se encuentra la medida de la actividad metabólica de las bacterias. Debido a que las bacterias respiran, producen una disminución del potencial redox del medio en que se encuentran como consecuencia del consumo de oxígeno. Para medir esta actividad se utilizan colorantes sensibles a oxidación-reducción tales como el azul de metileno
- Análisis de la calidad del agua: para detectar la presencia de sustancias procedentes de detergentes como fosfatos y sulfatos.
- Medidas de la presencia de materia orgánica en el agua. Esta prueba también va asociada a la medición de la demanda química y la demanda biológica de oxígeno en agua, debido a que la presencia de materia orgánica en el agua está relacionada con el oxígeno disuelto en el agua, ya que la presencia de materia orgánica disminuye la concentración de oxígeno.

### 3.3. Energías alternativas

Con el objetivo de alcanzar el desarrollo tecnológico necesario para el autoabastecimiento, conversión y utilización de la energía, la mayoría de los países han desarrollado, en los últimos años, varios planes energéticos con el fin de diversificar las fuentes de energía y evitar la elevada dependencia que el petróleo supone para sus economías. Otro objetivo de estos planes energéticos es reducir los efectos contaminantes que supone el uso de las fuentes clásicas de energía. Entre estas fuentes de energía alternativa, también denominadas renovables, se encuentran la biomasa, la energía hidráulica, la minihidráulica, la solar, la eólica, la geotérmica, la energía nuclear de fusión y la energía maremotriz, que a su vez se divide en:

1. **Mareomotriz:** es la energía procedente de las mareas.
2. **Undimotriz:** es la energía procedente de las olas del mar.
3. Energía procedente de las corrientes marinas.

Habitualmente se denominan energías renovables a las fuentes de energía que el hombre puede utilizar de forma periódica y sistemática para satisfacer sus necesidades. Es decir, son fuentes de energía que se están renovando de manera continua, justo al contrario de lo que ocurre con los combustibles fósiles o el uranio, que, debido a que se encuentran en la naturaleza en dosis limitadas, suponen unos recursos energéticos que se agotarán en un tiempo determinado y no son renovables.

El origen de estas fuentes energéticas renovables es el Sol: ya sea por la utilización directa de la energía radiante procedente de él, es decir, la energía solar; o bien por la utilización de algunos recursos cuyo origen es algún fenómeno natural provocado por el calentamiento del Sol, como la energía hidráulica o la energía eólica, ya que entre el 1 y el 2% de la energía procedente del sol se transforma en viento.

### **3.3.1. Energía solar**

Dentro de las energías renovables, la energía solar ocupa un lugar destacado, ya sea por utilización, impacto ambiental o porque la mayoría de las fuentes energéticas que se usan en la actualidad tienen su origen en la energía del sol. La energía solar se genera por la fusión de átomos de hidrógeno, que se transforman en helio. Esta transformación tiene lugar en el interior del sol. En estos procesos de fusión se libera una gran cantidad de energía que llega a la Tierra en forma de radiación electromagnética.

La cantidad de radiación solar que recibe la Tierra depende de múltiples factores como la latitud, la distancia al sol, etc. Además, la atmósfera absorbe aproximadamente el 50% de la radiación solar total que llega a la Tierra, otro 15% es reflejada por la superficie terrestre y un 5% es absorbida por el suelo. Otro 0.3% es utilizada por la vegetación terrestre, el 1.7% es utilizado por la vegetación marina, y el 28% se utiliza en evaporación de agua.

La radiación solar se puede aprovechar energéticamente de tres formas: de forma pasiva, mediante conversión térmica o mediante conversión fotovoltaica.

El aprovechamiento de la energía solar de forma pasiva se basa en captar la radiación, almacenarla y distribuirla de forma natural. Está relacionado con la arquitectura de las edificaciones, es decir, en la orientación de las fachadas, empleo de materiales y estructuras diáfanos.

En la conversión térmica, se emplean unos paneles colectores destinados a la absorción de la energía solar para calentar agua, que posteriormente se almacena en depósitos de forma apropiada para su distribución.

Pero, la forma de aprovechar la energía solar por antonomasia es la energía fotovoltaica, que consiste en la obtención de energía eléctrica de paneles fotovoltaicos compuestos por un número definido de células solares conectadas entre sí. Cada célula es un dispositivo electrónico que transforma la energía de los fotones procedentes de la radiación solar en energía eléctrica.

La principal ventaja de aprovechar energéticamente la radiación solar es que es un recurso energético que tiene una baja repercusión medioambiental, y que, aunque el sol se agotará algún día, a efectos temporales de la especie humana se puede considerar como una fuente inextinguible de energía, debido a que su esperanza de vida es de aproximadamente 450 millones de años.



En esta memoria nos centraremos en la energía solar fotovoltaica y su impacto ambiental, ya que aunque su repercusión ambiental sea baja o menor que el de otro tipo de energías, su explotación también tiene un impacto sobre diversos componentes del medio ambiente que a continuación se enumeran:

- Paisaje. Es el aspecto medioambiental sobre el que más repercusión tiene este tipo de energía, y que es muy difícil de subsanar, sobre todo cuando las plantas o parques solares se instalan en zonas rurales o en zonas con una gran diversidad y riqueza en flora y fauna. Además, si los parques son de una gran extensión, puede desaparecer mucha flora necesaria para rumiantes, con lo que se puede alterar el ecosistema.
- Suelo. Aunque si se trabaja con la precaución debida y se toman las medidas de seguridad necesarias, la probabilidad de contaminación del suelo durante las etapas de construcción y funcionamiento de la planta es muy baja, sí que es verdad que se produce una pérdida de suelo que ocupa el parque, las instalaciones contiguas a la planta y el cableado de la misma. Además, esta pérdida de suelo es permanente durante toda la vida útil del parque. Si no se toman las medidas adecuadas para nivelar el suelo, se puede producir una erosión continuada del mismo, ocasionando una pérdida de suelo en todo el parque.
- Flora. Si el parque es muy grande, se pueden generar grandes extensiones de sombra en las que la flora no puede desarrollarse adecuadamente, por ello, los parques solares no pueden instalarse en parques naturales o en espacios cuya flora está protegida.
- Fauna. Muchos parques o centrales solares se instalan en terrenos de secano, eriales, barbechos o tierras de pasto que son empleados por muchas aves para nidificar en su superficie, como por ejemplo la avutarda. En algunas zonas de España, la población de avutardas ha disminuido considerablemente, debido a que los emplazamientos que eligen para erigir sus nidos han sido ocupados por centrales fotovoltaicas.

Por todo esto, es importante mejorar el rendimiento de los parques fotovoltaicos, para lo cual, es necesario saber que los paneles solares están compuestos por células solares y qué factores influyen en el rendimiento de las células solares, para poder mejorar su eficiencia y que el impacto medioambiental de las centrales fotovoltaicas sea el mínimo posible.

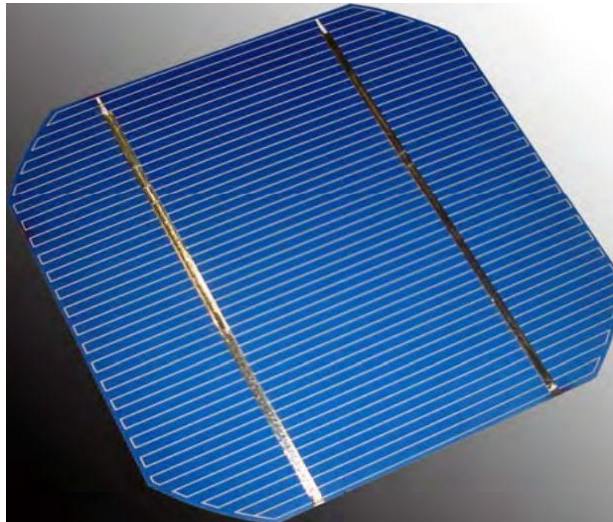
#### **3.3.1.1. Células solares**

Una célula solar es un dispositivo capaz de convertir la energía procedente de la radiación solar en energía eléctrico. Aunque, existen células solares de diversos materiales, la mayor parte de las que se comercializan en la actualidad son de silicio, ya sea monocristalino o policristalino

### Breve historia de las células solares:

Desde la antigüedad el ser humano siempre se ha preguntado acerca de la posibilidad de crear energía a partir del Sol de forma eficiente. Ya en 1939 el físico francés Edmund Becquerel descubrió, a los diecinueve años, el efecto fotovoltaico, por el que ciertos materiales producen pequeñas cantidades de corriente eléctrica cuando se ven expuestos a la luz.

Los trabajos, de Heinrich Hertz en los que descubrió y describió el efecto fotoeléctrico en 1887 y de Einstein encontrando la explicación teórica del mismo en 1905, permitieron seguir investigando en el tema de la creación de energía eléctrica a partir de la radiación solar. Sin embargo, el avance tecnológico más importante en tecnología solar no tuvo lugar hasta 1954, cuando tres científicos de los laboratorios Bell, Daryl Chapin, Calvin Fuller y Gerald Pearson, descubrieron e inventaron la primera célula fotoeléctrica utilizando una unión p-n de silicio, que convertía luz solar en energía eléctrica. Su eficacia era tan sólo del 6%, pero en los años 50 ya fueron implantadas en los sistemas espaciales, como satélites por ejemplo.



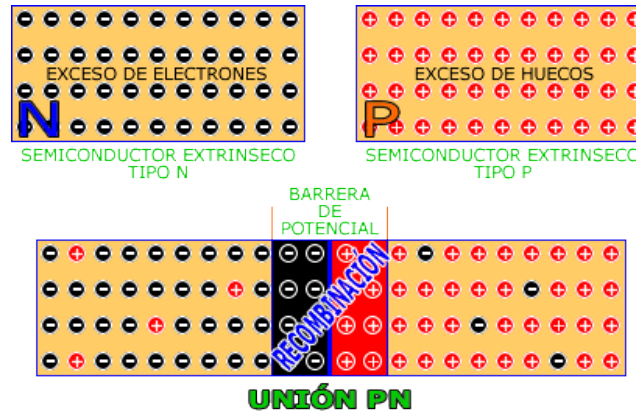
*Célula solar de silicio monocristalino.*

### Funcionamiento interno de una célula solar:

La producción de energía fotovoltaica se fundamenta en el efecto fotoeléctrico, es decir, en transformar la energía lumínica proveniente del sol en energía eléctrica. Para efectuar esta transformación se emplean unos dispositivos conocidos como células solares o células fotovoltaicas. Estas células solares han sido fabricadas con materiales semiconductores, en los que se ha creado de forma artificial un campo eléctrico constante mediante una unión p-n.

Se puede definir de manera básica un semiconductor tipo p como un semiconductor con deficiencias de electrones en la banda de valencia, llamadas huecos. De la misma manera podemos definir un semiconductor tipo n como un semiconductor con un exceso de electrones libres en la banda de valencia, lo que aumenta su conductividad de forma considerable.

Una unión p-n consiste básicamente en poner en contacto dos materiales de tipo p y de tipo n, de forma que los materiales se comportan de una forma muy diferente a como lo hacen por separado. Así, la corriente circulará de manera muy fácil en un sentido (polarización directa), pero no en el otro (polarización inversa), de modo que lo que tenemos básicamente es un diodo semiconductor.



Cuando sobre un semiconductor incide una radiación lumínica con energía suficiente para romper los enlaces de los electrones de valencia y generar pares electrón-hueco, por el hecho de existir una unión p-n, esos pares se separan y comienzan a fluir electrones a la zona n y huecos a la zona p, de modo que se genera una corriente que puede ser aprovechada por un circuito externo, saliendo por la zona p y entrando por la zona n.

De esta forma, cuando una célula solar fotovoltaica está expuesta a la radiación solar, se produce una circulación de electrones y aparece una corriente eléctrica entre las dos caras de la célula solar, de modo que se transforma la energía solar en energía eléctrica.

Hay que tener en cuenta que la energía que emite el Sol procede de la fusión nuclear que está teniendo lugar en él. La energía que esta reacción libera se emite como radiación electromagnética. La atmósfera atenúa esta radiación hasta que llega a la superficie de la tierra, principalmente debido a vapor de agua (infrarrojo), ozono (ultravioleta) y procesos de scattering por capas de aire, de polvo y aerosoles.

La generación de energía solar necesita que gran cantidad de fotones procedentes de la radiación solar sean convertidos en energía eléctrica. Si los fotones tienen energía menor que el gap del semiconductor (distancia energética entre la banda de conducción y la banda de valencia del semiconductor), no contribuyen a modificar las características electrónicas del material y no se producirá corriente eléctrica entre las dos caras del semiconductor y la energía del sol no se transformará en energía eléctrica.

Por tanto, se puede concluir que no toda la radiación solar es válida para generar energía eléctrica en una célula solar, sino que por el contrario, sólo generará energía eléctrica la radiación solar de una energía mayor que la energía umbral del material.

### Rendimiento de células y paneles solares fotovoltaicos:

De forma general, para evaluar el rendimiento de una célula o un panel solar, se utiliza el coeficiente de rendimiento. El coeficiente de rendimiento se define como la fracción de energía incidente que se convierte en electricidad, aunque es más frecuente y mucho más práctico expresarlo en tanto por ciento:

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{inc}} \times 100(\%)$$

Es decir, el cociente entre la potencia eléctrica máxima que es capaz de generar la célula o panel solar, entre la potencia total que incide sobre la célula, multiplicado por 100.

Para calcular el coeficiente de rendimiento, se utilizan características de rendimiento de las células solares calculadas en condiciones estándar, es decir, una irradiancia de  $1000\text{W/m}^2$ , una temperatura de la célula o panel de  $25^\circ\text{C}$ , y una masa de aire de 1.5. La masa de aire es la distancia que tiene que recorrer la radiación electromagnética solar a través de la atmósfera para llegar al panel solar. En condiciones normales, también se considera un día soleado y despejado, a nivel del mar, a una latitud media, y con un ángulo cenital solar de  $45^\circ$ .

Pese a que en la magnitud del coeficiente de rendimiento de un panel solar fotovoltaico influyen muchos factores, nosotros en esta memoria nos centraremos únicamente en los factores ambientales que influyen en el coeficiente de rendimiento:

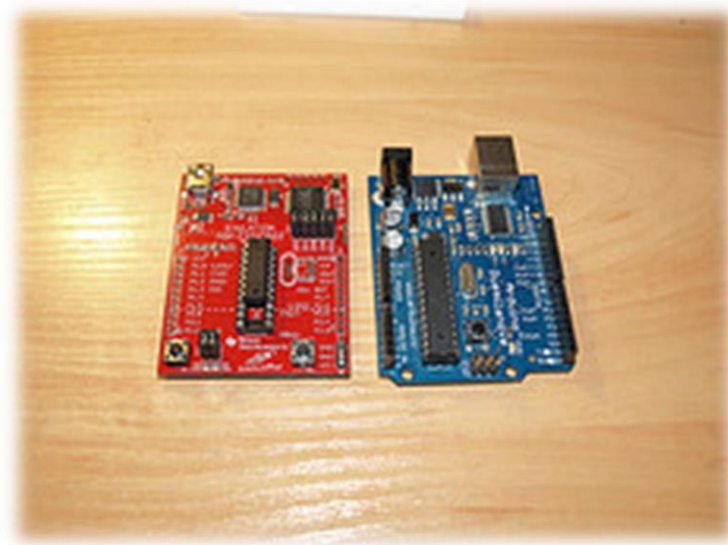
- Temperatura del panel fotovoltaico: Los paneles fotovoltaicos trabajan con una mayor eficiencia a bajas temperaturas, debido que un aumento de temperatura en las células solares implica un aumento en la intensidad de corriente, pero al mismo tiempo un descenso más pronunciado de la tensión. Como consecuencia, la potencia total del panel disminuye al aumentar la temperatura de trabajo del mismo. Por consiguiente, es importante situar los paneles en un lugar donde puedan estar bien refrigerados, es decir, que las corrientes de aire, puedan refrigerarlos.
- Como la intensidad de corriente que genera un panel fotovoltaico aumenta al aumentar la radiación electromagnética, la orientación e inclinación de los paneles respecto a la horizontal es uno de los factores principales que influyen en el rendimiento de un panel, ya que la magnitud de la irradiancia solar varía a lo largo del día en función del ángulo de inclinación del sol respecto al plano del horizonte.
- Pérdidas por sombra. Debido a que la sombra supone una disminución de la radiación solar, es conveniente situar las células o paneles solares en zonas en las que no se pueda producir sombra de manera artificial, o que al menos no se produzca sombra durante largos períodos a lo largo del día.
- Pérdidas por reflexiones en la propia célula fotovoltaica. Para evitar pérdidas por reflexión, se cubre la célula con un revestimiento antirreflectante.

## 4. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL ESPECTROFOTÓMETRO

Una fase importante en el proceso de diseño de un espectrofotómetro de estas características es la elección adecuada de los distintos materiales y componentes necesarios para su construcción.

El primer componente a elegir es la placa, ¿Arduino o Texas? Para ello, se analizaron minuciosamente las características y las ventajas y desventajas de una y otra placa.

### 4.1. Texas Instruments Vs Arduino



Aunque la plataforma que está respaldada por una mayor comunidad de usuarios es sin ningún tipo de duda Arduino, por diversos motivos que enumeraremos después, nosotros nos hemos decantado por la plataforma de EK-TM4C123GLX de Texas Instruments.

El primer motivo es económico, ya que el precio de un modelo de Arduino de características similares al de Texas Instruments es bastante más elevado que el de este último.

Si, por el contrario atendemos a las características técnicas y las posibilidades de desarrollo que nos ofrece cada plataforma con un coste similar, debemos comparar, Arduino Uno V3 que es el modelo de Arduino que tiene un coste similar al EK-TM4C123GLX de Texas Instruments (\$12.99 USD). Comprobamos que usar la plataforma de Texas Instruments en vez de la plataforma de Arduino, presenta ventajas y desventajas, aunque las ventajas superan con creces a las desventajas.

Como ventajas podemos enumerar que dispondremos de un procesador mucho más potente (80MHz frente a 16 MHz), con muchos más pines de entrada y salida (tenemos 40 pines y más periféricos, lo que nos permite diseñar aplicaciones para cubrir necesidades específicas, como nuestro proyecto, de manera más fácil. Texas, trae incorporado un módulo de on-board emulation, que permite depurar las rutinas sin necesidad de herramientas adicionales.

Además, Texas Instruments incorporando el entorno de desarrollo energía ha solucionado probablemente la mayor desventaja que tenía antes y que era la principal causa para que Arduino fuese el elegido. TEXAS sólo se podía programar mediante Code Composer Studio, que utilizaba lenguaje ensamblador, que es el lenguaje más próximo al lenguaje máquina que utilizan los microprocesadores. Ahora, con el entorno de desarrollo Energía, que está basado en un lenguaje de programación C, y que es compatible con el IDE de Arduino, podemos programar nuestras aplicaciones con un nivel de dificultad similar al de Arduino. Además Energía es multiplataforma, ya que funciona en todos los sistemas operativos habituales, existiendo versiones para Windows, Macintosh y GNU/Linux.

Como desventajas frente a Arduino, se puede señalar que de la plataforma Texas apenas hay información, y la que hay es bastante escasa, no existen muchos tutoriales, foros, páginas web y hay muy pocas librerías creadas específicamente para implementarlas en esta placa, mientras que es muy fácil encontrar información acerca de Arduino, con muchas librerías creadas para implementarlas en aplicaciones desarrolladas con Arduino.

#### **4.1.1. Entorno de Programación Energia**

Energia, es un entorno de desarrollo ideado similar al IDE de Arduino, que ha desarrollado Texas Instruments para implementarlo en sus microcontroladores. Con este entorno podemos programar de manera sencilla y rápida aplicaciones con el hardware de Texas, de manera equivalente a como lo haríamos con Arduino. Energia, está basado en un lenguaje de programación C, aspecto que facilita mucho el aprendizaje para los usuarios que se inician en microcontroladores, o que ya tienen una cierta experiencia con Arduino. Energia es un software gratuito y completamente abierto.

Pese a que el entorno de programación clásico de Texas es Code Composer Studio que ofrece programar de manera en la que aprovechemos mejor los recursos de los que disponemos que el entorno Energia, como ya he explicado es lenguaje ensamblador y así evitamos programar por medio de un intérprete como es el compilador. He elegido Energia por tres motivos principalmente:

1. Considero que un lenguaje de programación con una dificultad tan elevada como la que tiene el lenguaje ensamblador, es un nivel demasiado elevado para alumnos de Bachillerato, no entrando dentro ni del curriculum prefijado ni establecido para este nivel de la etapa educativa ni forma parte de las competencias que deben adquirir los alumnos en esta etapa educativa.
2. Este proyecto tampoco necesita un lenguaje de programación tan elevado, con desarrollarlo en lenguaje C, es más que suficiente. Además, el lenguaje C es el lenguaje ideal para empezar y para aprender a programar, a pesar de que sea un lenguaje con más de 40 años de vida. Cuando en informática aparece un problema sin resolver, lo primero que se plantea es crear un lenguaje en C



para posteriormente depurarlo en otro lenguaje. Aunque, hoy en día la programación está orientada a objetos, clases, componentes y C++ puede ser mucho más útil que C, todavía sigue siendo necesario estudiar C para aprender C++. Por tanto, considero que aprender C en Bachillerato mejorará sustancialmente la empleabilidad futura del alumnado.

3. Energía usa la misma interfaz de programación y el mismo lenguaje de programación que el IDE de Arduino, de modo que este proyecto es trasladable directamente a otros entornos de desarrollo, haciendo que sea un proyecto mucho más abierto y que cualquier alumno con ganas de mejorarlo pueda hacerlo, o al menos intentarlo en cualquier momento. De este modo, los alumnos pueden comprobar por sí mismos que las cosas se pueden construir de maneras muy distintas, empleando materiales muy distintos, desarrollándolas de maneras muy diferentes, con un precio muy diferente y funcionando con un rendimiento muy similar. Es decir, que se puede alcanzar un mismo objetivo, utilizando metodologías, estrategias y recursos totalmente distintos.

## 4.2. Elección de sensor

Una vez elegida la placa Texas como placa para el equipo el siguiente paso fue elegir el tipo de sensor que mejor se adaptase a las características del equipo.

Para ello, lo primero que se hizo fue examinar varias opciones, y analizarlas de manera rigurosa para ver cuál de ellas era la que más se adecuaba a nuestro proyecto. Entre los distintos sensores que analizamos, se encontraban LDR, fotodiodos, sensores analógicos de luz a voltaje y por último sensores digitales de luz a frecuencia.

El primer tipo de sensor que analizamos fue una LDR. Una LDR (Light Dependent Resistor) es una resistencia que varía en función de la luz recibida, de modo que cuanto mayor es la luz que recibe, menor es su resistencia. Normalmente las LDR están fabricadas con un semiconductor de alta resistencia como por ejemplo el sulfuro de cadmio.

Este sensor quedó rápidamente descartado, porque solo es lineal a primer orden. Además en condiciones de baja iluminación su tiempo de respuesta es bastante elevado, ya que es prácticamente de 1 segundo, que es un tiempo de respuesta demasiado grande para las necesidades y características de nuestro equipo.

Otra desventaja es que una LDR nos ofrece una entrada analógica, y necesitamos acoplar un conversor analógico a digital de 12 bits, mediante un simple circuito electrónico.

El otro motivo es de índole ecológico y biológico porque el Cadmio es un metal pesado, y aún en pequeñas cantidades contamina el suelo.



El siguiente paso fue estudiar un fotodiodo. Un fotodiodo no es más que un diodo normal, es decir, una unión P-N, pero polarizada en inversa en vez de en directa. Si estuviera polarizado en directa se comportaría como un diodo normal, pero con esta polarización, por el diodo pasa una corriente inversa que es linealmente proporcional a la irradiancia. De este modo, el fotodiodo presenta una respuesta lineal a la luz que le llega, de forma que es la base de la mayoría de fotodetectores.

Aunque un fotodiodo en principio sea una opción mucho más eficiente que una LDR, como consecuencia de que un fotodiodo tiene una respuesta mucho más rápida que una LDR a los cambios de oscuridad e iluminación y viceversa, se descartó como sensor, porque observamos que había sensores que permitían utilizar un gran número de fotodiodos y no solo uno, lo que mejora bastante la precisión de la medida.

A continuación, se evaluaron sensores analógicos que convertían luz a voltaje y tenían incorporado un fotodiodo. En este tipo de sensores la salida del voltaje es directamente proporcional a la intensidad de luz, es decir, a la irradiancia en el fotodiodo. Se descartó esta opción, porque preferíamos un sensor digital ya que mejoran la precisión y la rapidez de medida al no necesitar pasar por un estado intermedio, es decir, los sensores digitales no necesitan un conversor analógico/digital, lo que incrementa de forma cuantitativa su velocidad de respuesta frente a un estímulo.

Ya por último, se analizaron dos modelos de sensores digitales, el TSL230 RD, que es un sensor digital que convierte luz a frecuencia; y el TCS320 que también es un sensor al color, ya que tiene incorporado un filtro para el color blanco, otro para el azul, otro para el rojo y otro para el verde.

Se descartó el TCS320 porque es menos sensible que el TSL230 RD, y porque además, para este proyecto no era necesario un sensor con filtro de color.

Después de todo el análisis efectuado, nos decantamos por el TSL230 RD como sensor para nuestro proyecto. El TSL230, es un sensor que convierte luz a frecuencia. La ventaja de este sensor es que es programable, es extremadamente sensible y proporciona a la salida una señal en forma de onda cuadrada con una frecuencia directamente proporcional a la intensidad de la luz. El dispositivo convierte la intensidad de luz a un formato digital, de modo que se puede conectar directamente a cualquier microcontrolador.

Una gran ventaja es que este sensor tiene 100 fotodiodos programables, es decir, se puede escoger el número de fotodiodos dependiendo de la sensibilidad que necesitemos en cada momento o aplicación, ya que la sensibilidad puede ser controlada por dos entradas lógicas. La sensibilidad se puede ajustar a tres niveles: 1x, 10x, y 100x. Hay que tener en cuenta que

cuando variamos la sensibilidad, el área efectiva del fotodiodo también varía en el mismo factor.

La salida de escala de frecuencias también está controlada por dos entradas lógicas S2 y S3. Además tiene incorporado un chip para poder realizar un divisor de frecuencias. Las salidas permitidas son 2, 10, 100 y 1 (que no es división). El valor del divisor se escogerá en función de la precisión que necesitemos en cada momento, dependiendo del tipo de medidas que vayamos a realizar.

### 4.3. Elección de la fuente de iluminación

La última etapa es analizar el tipo de iluminación que más nos convenga. En esta etapa se analizaron distintos tipos de LED hasta que se decidió optar por un diodo LED RGB de cuatro patas de ánodo común como fuente de iluminación para nuestro espectrofotómetro; debido a que necesitábamos realizar una síntesis aditiva de color.

#### 4.3.1. LED RGB de Ánodo Común

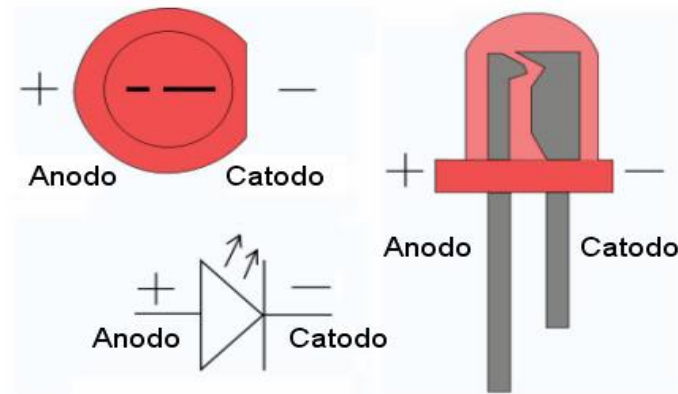
Se ha elegido como fuente emisora de luz un led RGB de ánodo común con el fin de poder elegir un ancho de banda adecuado para excitar la muestra correctamente.

Un diodo es un dispositivo electrónico que permite el paso de la corriente eléctrica en un único sentido, y cuando es atravesado por la misma, emite luz. Un diodo LED tiene polaridad, donde el cátodo es el borne negativo y el ánodo es el borne positivo, de modo que deberemos tener cuidado cuando lo conectemos a una fuente de alimentación, debido a que si lo conectamos mal, se fundirá, quedando inservible.



Por el diodo sólo pasa corriente en el sentido de la flecha, es decir, del ánodo al cátodo. Por tanto, antes de conectarlo a la corriente deberemos identificar cuál es el ánodo y cuál es el cátodo de nuestro diodo LED. Aquí también deberemos distinguir entre diodos de dos patas y diodos de cuatro patas.

Así en un diodo de dos patas, tenemos que el cátodo se corresponde con la pata que se encuentra más próxima a la muesca plana situada en la luminaria del LED. En la mayoría de los casos, el ánodo coincide con la pata larga del LED y cátodo con la pata corta del LED, pero esto no siempre es así, de modo que la mejor forma de asegurarse una polaridad correcta es fijándose en la muesca plana situada en la cabeza del LED.



Aunque existen LED RGB de 2 patas, se ha descartado esta opción, debido a que este tipo de LED no se puede programar porque ya viene programado de serie por el fabricante para que cuando lo alimentemos inicie una secuencia cambiando de color continuamente. De modo que no se puede controlar la velocidad ni la gama de colores, cosa que no nos interesa. Así que trabajaremos con un LED RGB de cuatro patas, ya que podemos programar, la frecuencia, la velocidad de cambio de color y la gama de colores.

Un LED RGB de cuatro patas es en realidad una unión de tres LED, cada uno de ellos de un color básico (rojo, verde y azul), en un mismo recubrimiento y que comparten o bien el ánodo o bien el cátodo, dependiendo de si el LED es de ánodo común o de cátodo común.

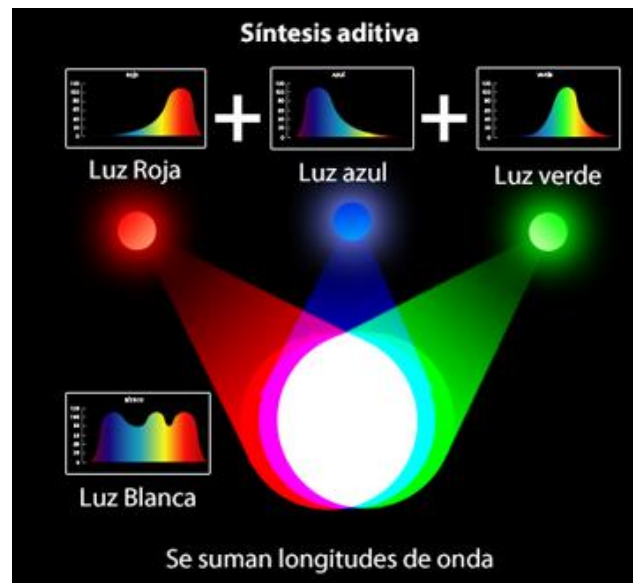
Como este tipo de diodos también tiene polaridad es importante saber distinguir entre cátodo y ánodo.



Aquí sí que deberemos fijarnos en la pata más larga, ya que si el LED es de cátodo común, la pata más larga será el cátodo que comparten los tres LED y el resto de patas serán los ánodos para los tres colores rojo (Red), verde (Green) y azul (Blue). Si por el contrario, el LED es de ánodo común, la pata más larga será el ánodo que comparten los tres LED y las otras tres patas serán los cátodos para los tres colores.

#### 4.3.1.1. Síntesis aditiva de color

Con un LED RGB se puede generar cualquier color a partir de los tres colores primarios, debido a que el modelo RGB es un modelo de color basado en la síntesis aditiva de color, con el que es posible representar un color, a partir de la mezcla por adición de los tres colores primarios (rojo, verde y azul). El modelo de síntesis aditiva de color, es un modelo muy utilizado en las pantallas de los televisores, monitores de PC, portátiles, en las pantallas de smartphones,...etc.



Para indicar que proporción de cada color compone la mezcla, se atribuye un valor a cada uno de los colores primarios, de forma que el valor 0 significa que no está presente en la mezcla, y cuando este valor aumenta, significa que aporta más intensidad a la mezcla. A pesar de que cualquier rango de valores podría ser válido, es decir, un intervalo comprendido entre dos números reales cualesquiera o dos números enteros cualesquiera, es habitual que cada color primario se codifique con un byte (8 bits). De modo que, como norma la intensidad de cada una de las componentes del color se mide conforme a una escala que va desde 0 hasta 255.

Por lo tanto, el rojo se consigue con (255,0,0), el verde con (0,255,0) y el azul con (0,0,255), consiguiendo en cada caso un color resultante monocromático. La ausencia de color (concepto que se conoce como color negro) se obtiene cuando las tres componentes son (0,0,0). La mezcla de dos colores con una intensidad de 255 con un tercer color de intensidad 0, da lugar a tres colores intermedios. De esta manera, el amarillo es (255,255,0), el cian (0,255,255) y el magenta (255,0,255). Es evidente, que el color blanco se forma con los tres colores primarios a su máxima intensidad (255,255,255).

Nosotros, podemos conseguir este efecto y esta combinación de colores empleando nuestra placa de TEXAS Instruments y un LED RGB, ya que podemos programar el LED en forma analógica para que la intensidad de cada color primario varíe (oscile) entre 0 y 255, pudiendo conseguir así, una gama de colores muy amplia.

Con el fin de simplificar la representación del conjunto de todos los colores, éste se suele representar en forma de cubo. De forma, que cada color es un punto de la superficie o del interior del cubo. En esta representación, la escala de grises estaría situada en la diagonal que une al color blanco con el negro.

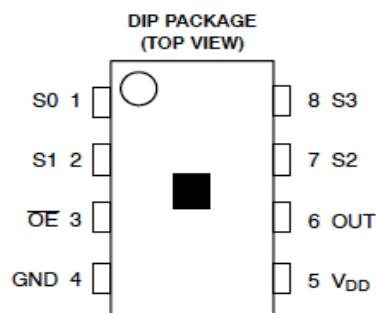
En nuestro espectrofotómetro es perfectamente posible utilizar un LED programable (chip WS2812), con lo que se simplifican mucho las cosas, debido a que podemos suprimir el transistor que hemos soldado al equipo y soldar los LED directamente a los pines de la placa Texas.



*Foto: Led programable Chip WS2812*

#### 4.4. Construcción del equipo de medida

Una vez elegidos la placa, el sensor y la fuente de iluminación a utilizar, el siguiente paso fue montar el equipo de medida. El primer paso fue soldar los bornes eléctricos en una placa de circuito impreso para poder realizar las conexiones eléctricas necesarias entre el sensor y nuestra placa, la TM4C123G de Texas Instruments. A continuación, en otra lámina de silicio, se soldó el sensor que habíamos elegido, el TSL230RD.



Se siguió el esquema recomendado por el fabricante, que consta de una resistencia en serie soldada en una patilla del sensor y de un condensador de 0.1  $\mu$ F de capacidad soldado en otra para evitar fluctuaciones en la señal de salida del chip del sensor.

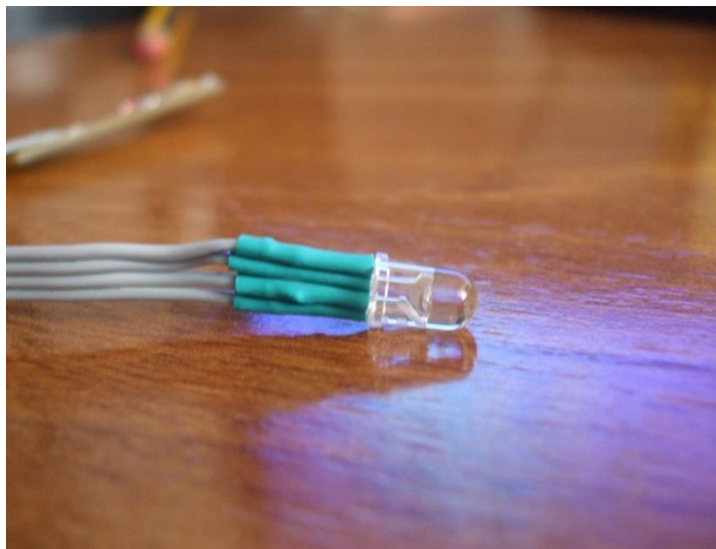
El siguiente paso fue soldar las conexiones del circuito del sensor a los bornes de entrada de nuestra placa, para lo que se empleó un cable IDE de un ordenador antiguo que ya no

utilizábamos, porque es un cable plano, y los cables planos son mucho más flexibles que los cables convencionales.



*Foto del sensor*

Después nos dispusimos a soldar el led RGB. En su momento elegimos como fuente emisora de luz un led RGB de Ánodo común. Debido a que este tipo de diodos tiene polaridad, antes de soldar nada, lo primero que hicimos fue distinguir entre cátodo y ánodo. Los LED RGB de cuatro patas tienen tres patas de igual longitud, y otra más larga que el resto, la pata más larga es el ánodo que comparten los tres LED y las otras tres patas son los cátodos para los tres colores. Una vez identificado el cátodo de nuestro diodo, nos dispusimos a soldarlo.



*Foto LED RGB*

Para que no pase excesiva intensidad por cada uno de los LED y los funda, soldamos en serie una resistencia para cada LED (rojo, verde y azul). Para calcular la resistencia que debíamos soldar empleamos la ley de ohm  $V = I \cdot R$ , y teniendo en cuenta que todos los LED están alimentados a 20 miliamperios y el voltaje que consume cada LED, podemos calcular la resistencia que debemos colocarle a cada uno de ellos.



El LED rojo consume 1.5 V, como está alimentado a  $20 \times 10^{-3}$  A, mediante la ley de ohm

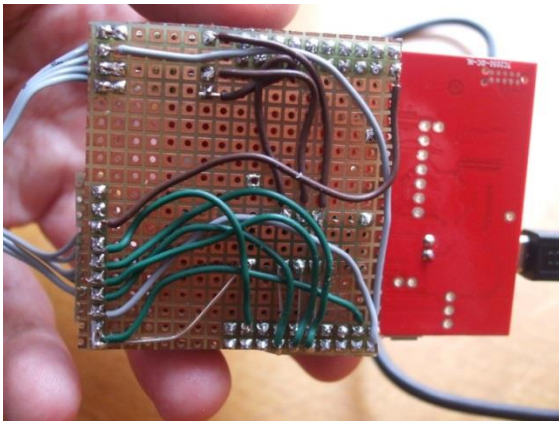
$$\text{tenemos: } R = \frac{V}{I} = \frac{1.5}{20 \times 10^{-3}} = 75 \Omega$$

Los LED verde y azul consumen 2 V cada uno, como están alimentados a  $20 \times 10^{-3}$  A, mediante la ley de ohm tenemos:

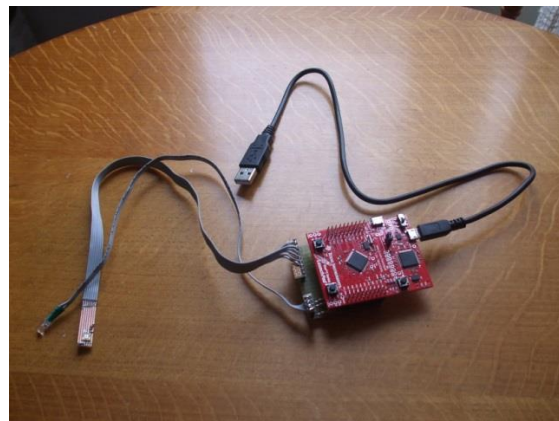
$$R = \frac{V}{I} = \frac{2}{20 \times 10^{-3}} = 100 \Omega$$

De modo que al LED rojo lo pusimos en serie una resistencia de  $300 \Omega$ , y a los LED verde y azul los pusimos en serie una resistencia de  $400 \Omega$  a cada uno de ellos.

Posteriormente, se introdujeron de manera adecuada y con la polaridad correcta los pines de nuestra placa en los bornes que previamente habíamos soldado en la lámina de silicio, de forma, que ya podíamos soldar cables de cobre entre cada uno de los pines para realizar las conexiones eléctricas necesarias entre el sensor y la placa.



*Foto: Conexiones eléctricas del circuito*



*Foto: Equipo montado*

Con todo esto, ya tenemos nuestro dispositivo montado y listo para ser conectado a un ordenador mediante el puerto USB.

Como las muestras iban a ser analizadas en cubetas cuadradas, se diseñó un portamuestras en (Autocad) y se imprimió con una impresora 3D, con el hueco necesario para situar la cubeta cuadrada, encapsulando perfectamente al sensor para que para que no variase su posición y orientación), ya que las medidas de frecuencia dependen de la distancia de la fuente al sensor y del ángulo de la radiación incidente. Con este encapsulado, este problema desaparece totalmente, debido a que la distancia a la fuente emisora y el ángulo entre el sensor y la misma quedan fijados.

Además, cada uno de los colores (rojo, verde y azul) del LED RGB enfoca en un punto distinto, lo cual, es un problema a la hora de medir la frecuencia con la que emite cada uno de ellos



porque como hemos dicho, ésta depende de la distancia al sensor y del ángulo que forme con el mismo la radiación o Intensidad lumínica que emite cada LED.

Este inconveniente se subsanó vaciando una varilla de metacrilato, creando así en su interior una cavidad con la forma y el tamaño de nuestro LED, de modo que quede encapsulado en su interior, sin poder moverse ni oscilar. De esta forma, además de fijar la distancia y la orientación del LED al sensor, también se consigue colimar el haz que emite cada LED interno del LED RGB, de modo que cada uno de los colores (rojo, verde y azul) de nuestro LED focaliza prácticamente en el mismo punto.

Por último, se pulió la cara externa de la varilla de metacrilato para conseguir la transparencia necesaria que el sistema de medida necesita.



*Fotos: Portamuestras y soporte de metacrilato.*

#### **4.5. Organización y estructuración del código del programa del sensor**

Una vez montado completamente nuestro dispositivo, el siguiente paso fue pensar cómo organizar el programa. En el sensor TSL230RD que convierte luz a frecuencia, es necesario controlar cuatro entradas, dos de factor de escala y dos de sensibilidad, y además, medir una frecuencia comprendida entre cero (oscuridad) y  $10^6$  Hz.

Para medir la frecuencia, se empleó un contador y se promedió el período a un número de ciclos bastante elevado para de esta forma, medir la frecuencia con una precisión mucho mayor que midiendo únicamente un ciclo, como se explica más detalladamente en el anexo I de este informe.

El primer problema con el que me encontré para empezar a escribir y posteriormente a depurar el código del programa fue poder comprobar qué funcionaba, qué fallaba del mismo y cómo se podía mejorar. Para ello, fue necesario iniciar la conexión por puerto de serie de nuestro dispositivo con nuestro un ordenador.

Un puerto serie o puerto serial es una interfaz de comunicaciones que permite enviar y recibir datos digitales bit a bit, es decir la información se transmite enviando un solo bit a la vez.

Debido a que en la mayoría de Institutos el sistema operativo que se emplea es Windows, la conexión por puerto serie del dispositivo con el ordenador se ha hecho mediante Putty, ya que las versiones de Windows vista, Windows 7 y posteriores ya no incluyen el Hyperterminal. Putty es un cliente de conexión remota a equipos informáticos mediante SSH, Telnet o rlogin, con licencia libre y que en un principio sólo estaba disponible para Windows, pero que en la actualidad está disponible en varias plataformas GNU/Linux.

Una vez pensado el método a emplear para medir la frecuencia, lo primero que hice fue definir los pines de entrada y salida de nuestra placa y del LED, y las variables necesarias para medir frecuencia y las variables que nos permitieran calibrar eligiendo la escala y la sensibilidad en función de nuestras necesidades.

Una vez inicializada la conexión por puerto serie con nuestro ordenador es importante limpiar la pantalla y que la impresión de datos comience al principio de la pantalla. La orden genérica para limpiar la pantalla en la que se monitorizan los datos que se envían por puerto serie es `Serial.clear()`, pero la orden de limpiar el puerto serie es dependiente del terminal serie a usar. Como putty, no permite utilizar el `Serial.clear()` genérico, es necesario emplear el comando específico para limpiar la pantalla en putty que es `ESC[2J` y el comando para que el terminal comience a escribir al principio de la pantalla que es `[H`.

El siguiente paso en el programa fue fijar los niveles de escala y sensibilidad del sensor. Aunque, en principio se puede leer frecuencia en cualquier nivel de escala y de sensibilidad, se creó un menú que permitiera al usuario elegir estos niveles según su conveniencia. Primero se creó el menú de escala, y el proceso empleado para crear este menú se imitó en la creación del menú de elección de sensibilidad, por lo que sólo explicaremos cómo se creó el menú de elección del nivel de escala.

Lo primero que hace este menú es preguntar al usuario que nivel de escala quiere seleccionar, para ello se le indica que tecla del teclado debe pulsar para seleccionar un nivel de escala u otro, por ejemplo, para seleccionar nivel de escala 1, el usuario debe pulsar la tecla 0 de su teclado, si quiere nivel de escala 2 tiene que pulsar el 1, y si quiere seleccionar los niveles de escala 10 y 100 debe pulsar las teclas 2 y 3 de su teclado respectivamente. El programa espera 10 segundos para que el usuario introduzca un valor del nivel de sensibilidad pulsando un número del teclado. Si pasados estos 10 segundos, el usuario no pulsa ningún botón, el programa seleccionará un nivel de escala por defecto. En principio, este valor de la escala por defecto es 1, aunque se puede entrar al programa y cambiar este valor manualmente por el que más nos interese en cada momento.

Lo siguiente es que el programa comience la lectura del teclado indicándole el valor vía puerto serie. Como la información transmitida entre nuestra placa Texas y nuestro PC va a estar codificada, vamos a necesitar un código común para que no haya problemas de compatibilidad. El código que usamos para evitar estos problemas es el código ASCII, que es un código

estándar en todos los PC. A modo de reseña reflejamos que el 0 en ASCII es 48, el 1 en ASCII es 49, el 2 en ASCII es 50 y el 3 en ASCII es 51.

Como he comentado previamente, para crear el menú que permite seleccionar al usuario introducir manualmente el nivel de sensibilidad que desee, sólo han de repetirse los pasos seguidos en la creación de selección del nivel de escala.

Este menú es muy práctico para trabajar con el equipo conectado a un PC con teclado, pero su mayor utilidad es que permite conectar a nuestra placa Texas un Keypad o teclado numérico como este:



Además mi código, permite la implementación de la librería que me facilitaron mis tutores para acoplar una pantalla LCD, de modo que tenemos dos equipos de medida que funcionan de distinta manera.

Teniendo así de momento dos fotómetros. Añadiendo más código lograremos que funcionen como espectrofotómetros.



*Foto: Espectrofotómetro con pantalla LCD*

Y para ello, lo primero que se debe hacer, es normalizar la frecuencia para que el equipo mida siempre la misma frecuencia independientemente de la escala y de la sensibilidad elegidas, para no tener que calibrar cada vez que elijamos un nivel de escala o de sensibilidad distintos. Y ya solo quedaría implementar el algoritmo que se encuentra desarrollado en el anexo II de este informe.

## **5. Aplicación del espectrofotómetro a prácticas de Bachillerato**

Este espectrofotómetro permite realizar gran variedad de experimentos dentro de un laboratorio de Física y Química de Bachillerato. En Química podemos realizar experimentos de cinética química como por ejemplo los factores que afectan a la velocidad de reacción en la práctica del reloj de yodo o en una reacción de oxidación-reducción como la de la botella azul (en la que el azul de metileno, reacciona de forma muy rápida con el oxígeno disuelto en el agua, y se oxida dando azul de metileno en su forma oxidada que es de color azul. A continuación, el azul de metileno en su forma oxidada reacciona con la glucosa para dar el azul de metileno inicial que es incoloro).

Pero el campo de la química en el que el espectrofotómetro tiene más aplicaciones es en Química Analítica, donde se puede calcular la concentración de una muestra (solución/disolución) de la que desconocemos su concentración comparando su gráfica de absorbancia en función de la concentración con la gráfica absorbancia en función de la concentración de una solución patrón de concentración conocida.

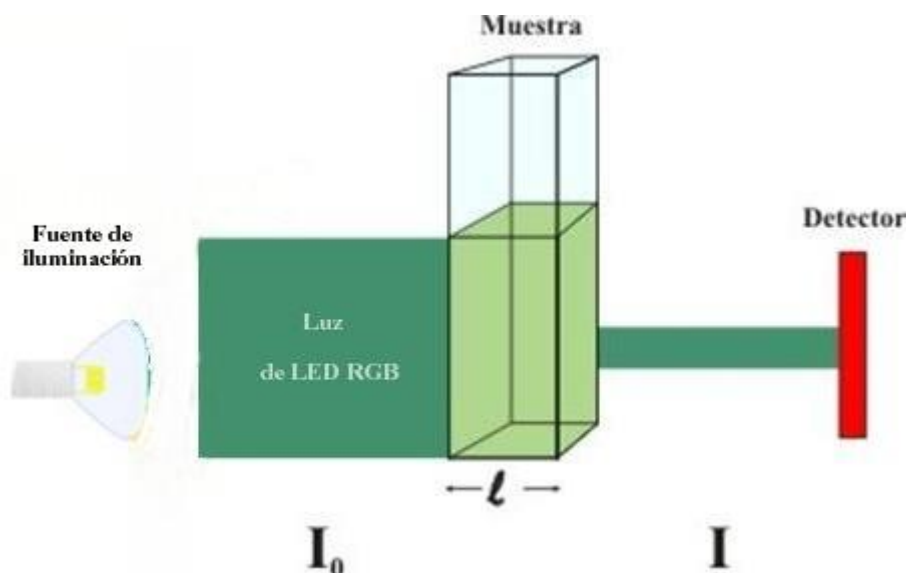
En física el equipo puede trabajar como un fotómetro. De modo que con este equipo se puede medir la irradiancia solar en función del tiempo, para ver el efecto del ángulo del sol en este parámetro y aplicarlo a la orientación de paneles solares. También se puede medir el tiempo de encendido de distintos tipos de bombillas (incandescentes, de bajo consumo, LED) y medir el rendimiento de diferentes bombillas (incandescentes, de bajo consumo fluocompactas, LED).

### **5.1. Aplicación del espectrofotómetro a prácticas de Química en Bachillerato**

Debemos reseñar, que con este equipo no tenemos suficiente resolución espectral como para medir espectros, y por tanto, nos tenemos que conformar con medir la absorción de la muestra en determinados colores, rojo, verde y azul.

Vamos a medir la absorción en función de la concentración de una muestra de sulfato de cobre(II) pentahidratado y de una muestra de Cloruro Férrico, para cada uno de los colores de nuestro LED RGB.

Debido a que nosotros no tenemos un monocromador, no podemos seleccionar bandas estrechas de longitudes de onda. Por lo tanto, el esquema de funcionamiento de nuestro espectrofotómetro sería el siguiente:



#### 5.1.1. Medida de la absorción de una muestra de sulfato de cobre (II) pentahidratado

En este experimento mediremos la absorbancia como función de la concentración de una muestra de sulfato de cobre (II) pentahidratado. Las medidas se realizarán para cada uno de los colores de nuestro LED, es decir, se medirá la absorbancia del rojo, del verde y del azul. Tal y como está programado nuestro espectrofotómetro, para calibrarlo justo antes de realizar una medida sólo tenemos que pulsar un botón, y tendremos el espectrofotómetro calibrado.

##### *Material y reactivos.*

- Agua destilada.
- Tres frascos roscados de polipropileno para muestras.
- Una cubeta cuadrada de plástico de 1 cm de espesor.
- Una jeringa de 5ml de volumen.
- Un espectrofotómetro.
- Un ordenador.
- Varias disoluciones de sulfato de cobre (II) pentahidratado de diferente concentración.

##### *Seguridad.*

- Gafas de seguridad.
- Guantes de nitrilo.
- Bata.



Foto: Absorbancia Sulfato de cobre (II) pentahidratado

#### Procedimiento.

Se mide la absorbancia de la muestra para distintas concentraciones de la misma y para cada una de las fuentes de iluminación. Las medidas deben realizarse con la luz apagada, es decir, en total oscuridad. Se realizará una medida de la absorbancia de la muestra para cada tipo de fuente de iluminación, es decir, para rojo, verde y azul.

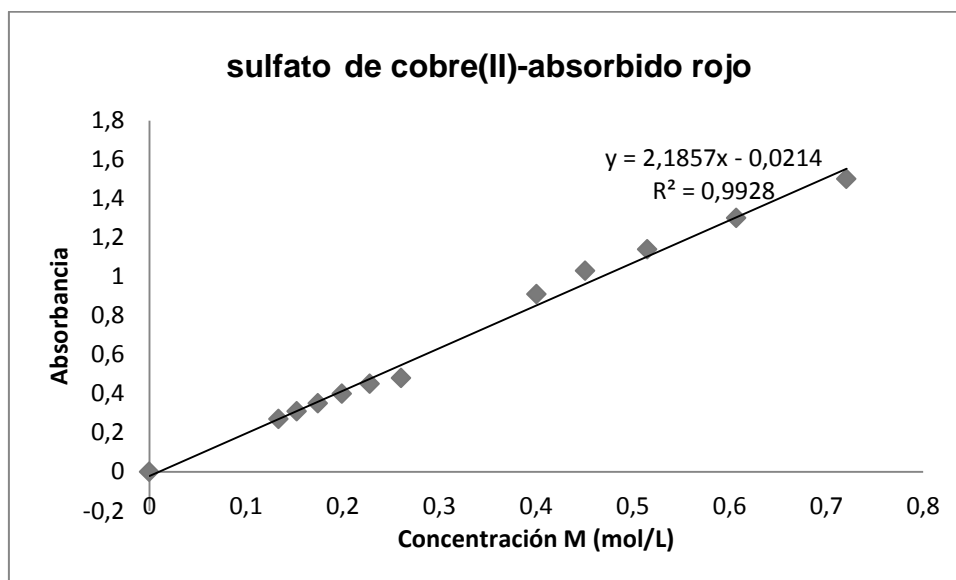
Como es importante que los alumnos se familiaricen con el empleo de tablas y gráficos y con la interpretación de los mismos, los datos de las medidas se recogerán en una tabla y posteriormente se representarán y se interpretarán.

Los datos de las medidas se recogen en la siguiente tabla:

Concentración M (mol/L)	Absorbancia del rojo	Absorbancia del verde	Absorbancia del azul
0,720922	1,5	0,04	0,01
0,607	1,3	0,04	0,01
0,514944	1,14	0,03	0,01
0,45057	1,03	0,03	0,02
0,400512	0,91	0,03	0,02
0,2603	0,48	0,02	0
0,22779	0,45	0,02	0
0,19925	0,4	0,02	0
0,1743	0,35	0,02	0
0,1525	0,31	0,02	0
0,13347	0,27	0,02	0
0	0	0	0



A la vista de los datos recogidos, se observa que en esas concentraciones la muestra no absorbe radiación en el verde, ni el azul, sino que sólo absorbe radiación en el color rojo. Por lo tanto, únicamente representaremos la absorbancia de la muestra en función de la concentración para el color rojo.



Pese a que las concentraciones de la solución son algo elevadas, la gráfica de la absorbancia para el color rojo en función de la concentración no ha perdido su linealidad, esto puede ser debido a que las moléculas de soluto no han interactuado entre sí, y no han modificado sus propiedades de absorber luz.

Como  $A = \epsilon \cdot l \cdot c$ ; donde  $l$  es el espesor de la cubeta cuadrada que hemos utilizado, expresado en centímetros.

Como el espesor de nuestra cubeta es de 1 cm, la pendiente de la recta que hemos obtenido al representar la Absorbancia frente a la concentración, es la absorptividad molar, expresada en  $\text{Lmol}^{-1}\text{cm}^{-1}$ . Como la pendiente de nuestra gráfica es  $m = 2.1857$ , la absorptividad molar  $\epsilon$  para el color rojo de nuestra solución de sulfato de cobre(II) pentahidratado es  $\epsilon = 2.1857 \text{ Lmol}^{-1}\text{cm}^{-1}$ .

### 5.1.2. Medida de la absorción de una muestra de cloruro férrico

En este experimento mediremos la absorbancia como función de la concentración de una muestra de sulfato de cloruro férrico. Las medidas se realizarán para cada uno de los colores de nuestro LED, es decir, se medirá la absorbancia del rojo, del verde y del azul. Tal y como está programado nuestro espectrofotómetro, para calibrarlo justo antes de realizar una medida sólo tenemos que pulsar un botón, y tendremos el espectrofotómetro calibrado.

#### *Material y reactivos.*

- Agua destilada.
- Tres frascos roscados de polipropileno para muestras.
- Una cubeta cuadrada de plástico.
- Una jeringa de 5ml de volumen.
- Un espectrofotómetro.
- Un ordenador.
- Varias disoluciones de sulfato de cloruro férrico de diferente concentración.

#### *Seguridad.*

- Gafas de seguridad.
- Guantes de nitrilo.
- Bata.



Foto: Absorbancia Cloruro Férrico

*Procedimiento.*

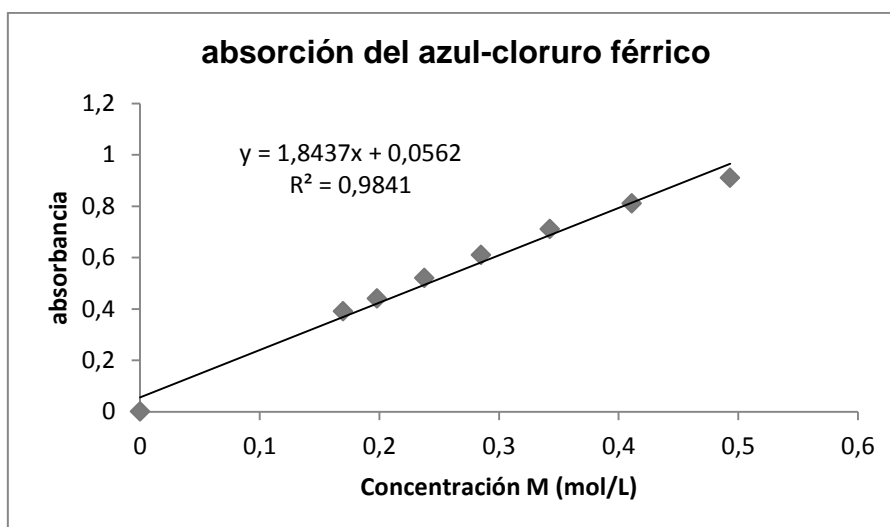
Se mide la absorbancia de la muestra para distintas concentraciones de la misma y para cada una de las fuentes de iluminación. Las medidas deben realizarse con la luz apagada, es decir, en total oscuridad. Se realizará una medida de la absorbancia de la muestra para cada tipo de fuente de iluminación, es decir, para rojo, verde y azul.

Los datos de las medidas se recogen en la siguiente tabla:

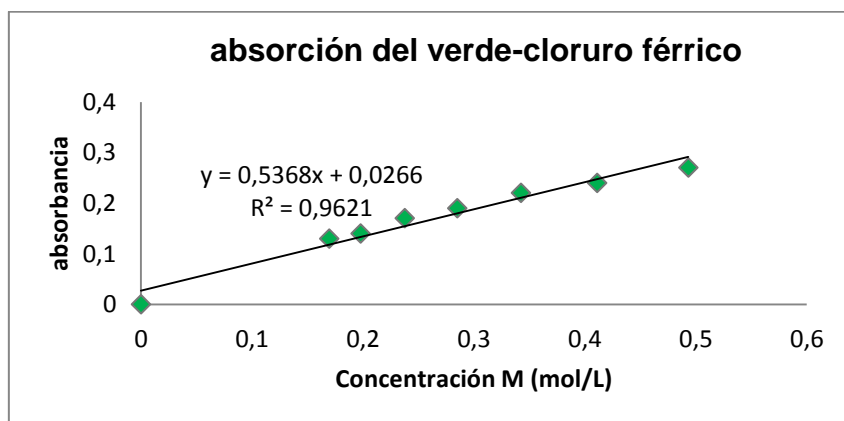
Concentración M(mol/L)	Absorbancia del rojo	Absorbancia del verde	Absorbancia del azul
0,493218	0,03	0,27	0,91
0,411	0,03	0,24	0,81
0,3425	0,03	0,22	0,71
0,285	0,03	0,19	0,61
0,2377	0,02	0,17	0,52
0,198	0,02	0,14	0,44
0,169788	0,02	0,13	0,39
0	0	0	0

A la vista de los datos recogidos, se observa que en esas concentraciones la muestra solo absorbe radiación en el verde y en el azul, pero no en el color rojo. Por lo tanto, únicamente representaremos la absorbancia de la muestra en función de la concentración para los colores verde y azul. También se observa que la muestra absorbe más el azul que el verde.

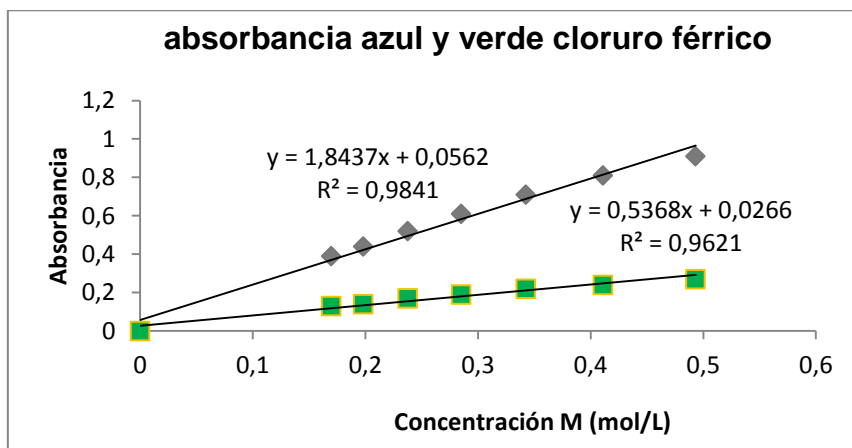
Representación gráfica para el color azul.



Representación gráfica para el color verde.



Representación en una misma gráfica de la absorbancia para los colores azul y verde.



Aunque las concentraciones de la solución son algo elevadas, la gráfica de la absorbancia para los colores verde y azul en función de la concentración no ha perdido su linealidad, esto puede ser debido a que las moléculas de soluto no han interactuado entre sí, y no han modificado sus propiedades de absorber luz.

Como el espesor de nuestra cubeta es de 1 cm, la pendiente de la recta que hemos obtenido al representar la Absorbancia frente a la concentración, es la absortividad molar, expresada en  $\text{Lmol}^{-1}\text{cm}^{-1}$ .

La pendiente de nuestra gráfica para el color azul es  $m = 1.8437$ . Por tanto, la absortividad molar  $\epsilon$  para el color azul de nuestra solución de cloruro férrico es  $\epsilon = 2.1857 \text{ Lmol}^{-1}\text{cm}^{-1}$ .

La pendiente de nuestra gráfica para el color verde es  $m = 0.5368$ . Por tanto, la absortividad molar  $\epsilon$  para el color verde de nuestra solución de cloruro férrico es  $\epsilon = 0.5368 \text{ Lmol}^{-1}\text{cm}^{-1}$ .

## 5.2. Aplicación del espectrofotómetro a prácticas de Física en Bachillerato

Como en Física el equipo puede trabajar como un fotómetro, vamos a realizar medidas de la rapidez de encendido de bombillas fluocompactas, LED e incandescentes y vamos a calcular y comparar el rendimiento de varias bombillas de características diferentes.

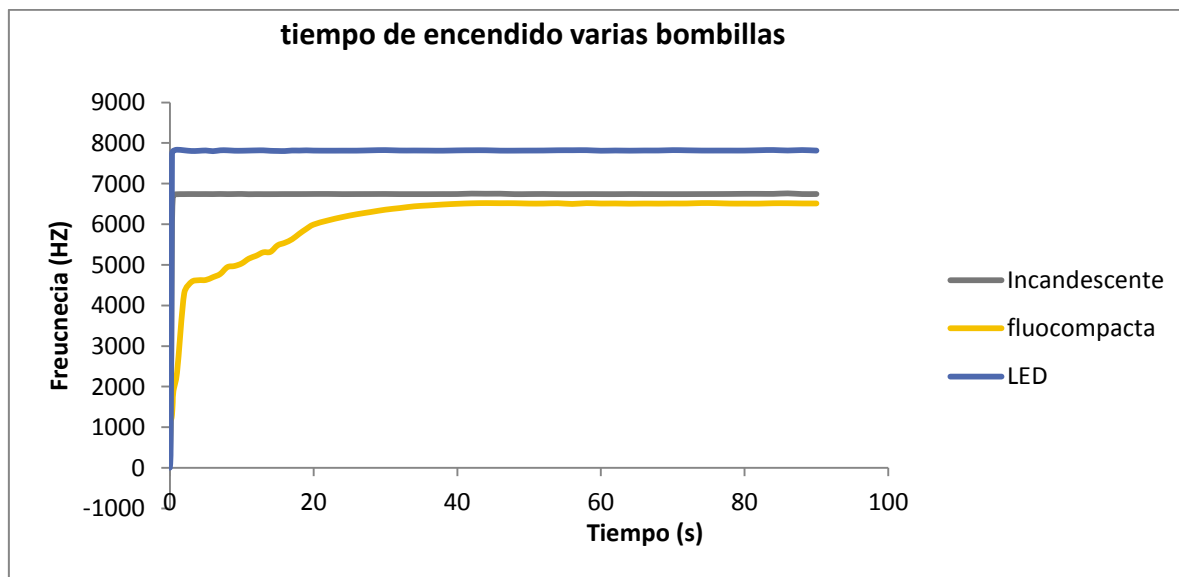
### 5.2.1. Medida de la rapidez de encendido de bombillas de diferentes características

En este experimento vamos a medir la rapidez de encendido de una bombilla LED, una bombilla fluocompacta en espiral muy rápida. Para ello, se medirá el tiempo que tarda cada una de ellas en encenderse y se representará gráficamente la frecuencia de cada una de ellas como función del tiempo.

*Material.*

- Una lámpara.
- Una bombilla incandescente de 60 W.
- Una bombilla fluocompacta muy rápida en espiral de 9 W.
- Una bombilla LED de 4 W.
- Un fotómetro.
- Un PC.

La representación gráfica de las medidas es:



A partir de la gráfica se obtiene que la bombilla incandescente y la bombilla LED se encienden de manera casi instantánea, rondando el segundo, mientras que la bombilla de bajo consumo tarda en estabilizarse unos 45 segundos, pese a ser de las consideradas fluocompactas muy rápidas. Por tanto las bombillas incandescente y LED se encienden de forma mucho más rápida que cualquier bombilla de bajo consumo fluocompacta.

A partir de estos datos, se puede concluir que las bombillas de bajo consumo fluocompactas son bombillas lentas, que no sirven para zonas de paso como baños y pasillos, estando recomendada su utilización en lugares donde la luz está encendida mucho tiempo como salones y habitaciones.

### **5.2.2. Medida del porcentaje de emisión en el infrarrojo y en el visible de bombillas de distintas características**

#### *Material.*

- Una lámpara.
- Una bombilla incandescente de 60 W.
- Una bombilla fluocompacta muy rápida en espiral de 9 W.
- Una bombilla LED de 4 W.
- Un fotómetro.
- Un PC.
- Un filtro para bloquear la radiación infrarroja.

Para realizar las medidas debemos considerar varios aspectos importantes.

- La distancia entre la bombilla y el sensor debe ser la misma en todas las medidas que se realicen, ya que la medición de la frecuencia que produce el sensor depende de la distancia entre el foco emisor (bombilla) y el sensor.
- El fotómetro no está calibrado.
- El fotómetro es sensible a todas las longitudes de onda por igual.
- El sensor convierte la cantidad de luz recibida en una frecuencia proporcional, es decir, la frecuencia que produce el sensor es linealmente proporcional a la intensidad de luz.
- El filtro de bloqueo al infrarrojo también presenta opacidad al visible, y por tanto hay que tenerlo en cuenta.
- El sensor es sensible a longitudes de onda que van desde los 400 nm hasta los 1000 nm, por tanto no es sensible al infrarrojo lejano, sino que sólo es sensible al infrarrojo cercano.

#### **Bombilla LED.**

El filtro bloquea totalmente el infrarrojo, pero también absorbe el visible, por tanto, lo primero que debemos hacer es calcular la opacidad del filtro al visible. Para ello, se escoge una fuente que no emite radiación infrarroja, como por ejemplo una bombilla LED. Como una bombilla LED no emite radiación infrarroja, si medimos el flujo luminoso de la bombilla sin filtro y luego el flujo luminoso de la bombilla con el filtro de bloque de infrarrojo, las dos medidas serán distintas, y por tanto si dividimos el valor de la medida con filtro entre el valor de la medida sin filtro y lo multiplicamos por 100, obtendremos un porcentaje, que será el porcentaje de opacidad de la bombilla al visible.

Una vez realizadas las medias del flujo luminoso con filtro de bloqueo de radiación infrarroja y sin filtro de la bombilla LED, podemos calcular el valor medio del porcentaje de absorción del filtro. Se obtiene un valor medio del porcentaje de opacidad al visible para el filtro de bloqueo de infrarrojo del 44 %.

#### **Bombilla Incandescente.**

Si repetimos el proceso anterior con una bombilla incandescente y consideramos que el filtro absorbe prácticamente toda la radiación infrarroja y el 44 % de la radiación visible que emite la bombilla incandescente, la lectura que nos ofrece el sensor del flujo luminoso corresponderá al 56 % del total de la radiación visible que emite la bombilla incandescente.

Teniendo en cuenta todos estos aspectos, se obtiene que la bombilla incandescente emite un 21.83% de su radiación en el visible y un 78.17 % en el infrarrojo.

#### **Bombilla fluocompacta en espiral.**

Si repetimos el proceso anterior con una bombilla fluocompacta en espiral y consideramos que el filtro absorbe prácticamente toda la radiación infrarroja y el 44 % de la radiación visible que emite la bombilla fluocompacta, la lectura que nos ofrece el sensor del flujo luminoso corresponderá al 56 % del total de la radiación visible que emite la bombilla fluocompacta.

Teniendo en cuenta todos estos aspectos, se obtiene que prácticamente la totalidad de la radiación emitida por la bombilla fluocompacta se produce en el visible, ya que la radiación emitida por ésta en el infrarrojo apenas supone el 1% del total.

A la vista de los datos, se comprueba que la energía disipada en forma de radiación infrarroja en una bombilla incandescente es de una magnitud considerable (un 78 % del total), mientras que en una bombilla fluocompacta apenas supone un 1 % y en una bombilla LED el 0%, debido a que no emite radiación infrarroja.

#### **5.2.3. Comparación de la eficiencia de estas tres bombillas**

Si calculamos la eficiencia de estas bombillas como flujo luminoso medido en unidades arbitrarias emitido en el visible, entre la potencia consumida se tiene:

Tipo de bombilla	Flujo luminoso en el visible (medido en unidades arbitrarias)	Potencia consumida (W)	Eficacia (Flujoluminoso/W)
Incandescente	3571	60	59.51
Fluocompacta	3370	9	374.44
LED	3915	4	978.75



Según este criterio de eficiencia, se obtiene que la bombilla de mayor eficiencia, es la bombilla LED, seguida de la fluocompacta, siendo la bombilla incandescente la de menor eficiencia.

Por tanto, para conseguir una mayor eficiencia energética deberemos utilizar bombillas LED y fluocompactas en lugar de bombillas incandescentes.

A la hora de elegir entre bombillas LED y fluocompactas debemos tener en cuenta que desde el punto de vista espectral el rendimiento de ambas es muy similar, pero el rendimiento energético no, ya que las bombillas LED consumen menos electricidad para conseguir la misma cantidad de lúmenes que una bombilla fluocompacta, debido a que convierten mejor la electricidad en energía lumínica, necesitando menos temperatura y teniendo menos pérdidas energéticas en el proceso.

## 6. CONCLUSIONES

El tema escogido para este trabajo fin de máster (TFM) ha sido el diseño y construcción de un espectrofotómetro y su aplicación a prácticas de Bachillerato. Conforme con el planteamiento general del máster, en este TFM queda recogida y desarrollada la aplicación práctica de numerosos conocimientos, estrategias y metodologías que se han adquirido durante los módulos que conforman este máster: (genérico, específico y practicum).

Escoger un TFM acerca de la construcción de un equipo de medida a partir de materiales electrónicos baratos y simples nace como consecuencia de la convicción personal de que emplear actividades experimentales como instrumento pedagógico es imprescindible en la enseñanza de las ciencias experimentales, ya sea como experiencias de cátedra o como prácticas de laboratorio que el alumnado ha de ejecutar, por sí mismo.

En lo referente a la materia elegida, los experimentos de laboratorio propuestos tratan sobre métodos analíticos basados en la absorción de radiación electromagnética, cuando ésta atraviesa una disolución (ley de Beer) y en la medición de radiación electromagnética para comparar el rendimiento de varios sistemas de iluminación por tener ambos temas un gran interés. El primero de ellos tiene un gran dimensión transdisciplinar, ya que se trabaja en la asignatura de Física 2º Bachillerato (unidad didáctica de Óptica), pero también, en la asignatura Química 2º Bachillerato (unidad didáctica Introducción a la electroquímica), y en la asignatura Física y Química 1º Bachillerato (unidad didáctica Estudio de las transformaciones químicas), pudiendo estar incluido en la programación de otras asignaturas como Biología. La medición de radiación electromagnética para comparar el rendimiento de varios sistemas de iluminación, en principio sólo se trabaja en Física 2º Bachillerato, pero es un tema de gran actualidad y de gran relevancia en nuestra sociedad, debido a que un alto porcentaje del consumo mundial de energía se produce en los hogares, siendo la energía consumida en iluminación doméstica nada despreciable. Por todo ello, este experimento tiene una gran importancia desde el punto de vista ecológico y económico, por lo que podría formar parte de la programación de otras asignaturas como Economía, Ciencias del Mundo Contemporáneo o Ciencias de la naturaleza. Con esto, se pretende que el alumnado conecte conceptos y principios comunes a varias disciplinas y los aplique en su vida diaria fuera del centro educativo, de forma que se favorece el aprendizaje funcional y el aprendizaje integrado.

Por otro lado, la idea de diseñar y construir un espectrofotómetro y aplicarlo a prácticas de Bachillerato nace de dos problemas que he podido comprobar a lo largo del Practicum y que dificultan en gran manera el desarrollo ideal de un laboratorio de Física y Química para alumnos en Bachillerato: escasez de tiempo y del material necesario para realizar los experimentos de manera adecuada.

La construcción de este equipo no corrige totalmente estos problemas, pero sí que los subsana en gran medida, por dos motivos:

- 1) Ya tenemos a nuestra disposición un equipo de medida para prácticas de química analítica, bioquímica, o incluso (aunque es un poco más complicado) de cinética química.
- 2) Tenemos un equipo de toma continua y prácticamente instantánea de datos, de modo que se han podido realizar experimentos como los de medida de la rapidez de encendido y comparación del rendimiento de distintas bombillas que sin este equipo no se han podido realizar. Además, con este equipo se pueden realizar experimentos que implican tomar medidas durante más de los 50 minutos que dura la clase, como por ejemplo, medir la irradiancia solar en función del tiempo, o medir como varía con el tiempo la iluminancia de una bombilla incandescente al estar varias horas encendida (ya que la temperatura del filamento de una bombilla cambia la resistencia).

Además, las máquinas y la informática están cada vez más presentes en numerosos ámbitos de nuestra vida, y saber en qué se fundamentan, cómo funcionan y como deben ser programadas va a ser clave para encontrar un empleo en un futuro. Este proyecto, ayuda al alumnado a pensar acerca de los materiales y dispositivos electrónicos que se deben emplear en la construcción del equipo y cómo ensamblarlos para obtener el resultado deseado. También, se ayuda a los alumnos a programar en C, que es un lenguaje básico para aprender a programar.

Todos estos factores, pueden favorecer el despertar en el alumno de un interés por la ciencia, que le ayudará a comprender mucho mejor los fenómenos observados y los conceptos estudiados. También ayudan a que el alumno observe que la aplicación del método científico no tiene porqué ser aburrido y tedioso, sino que se puede hacer de forma divertida, amena y novedosa.

Como contrapunto, se debe de dejar claro que el proyecto y los experimentos aquí propuestos son sólo un complemento a la actividad docente que el profesor puede emplear en un momento determinado del curso para favorecer el aprendizaje de sus alumnos, pero que no pueden sustituir nunca a la enseñanza tradicional.

He podido comprobar que para mejorar la calidad educativa, es clave una formación continua del profesorado, sobre todo en el manejo y empleo de las nuevas tecnologías, apostando por la implementación de propuestas de innovación e investigación docente. Aspectos que creo haber reflejado en este trabajo.

Por último, el hecho de que el equipo pueda ser diseñado y construido a ese nivel, ayudará a comprender a los alumnos que los equipos e instrumentos de medida no son cajas negras y que es importante que quien utiliza un equipo de medida comprenda su funcionamiento.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### Normativa:

- REAL DECRETO 1467/2007, de 2 de Noviembre, por el que se establece la estructura del bachillerato y se fijan sus enseñanzas mínimas.
- DECRETO 42/2008, de 5 de Junio (B.O.C.yL nº111), por el que se establece el currículo de bachillerato en la comunidad de Castilla y León.
- LOE. (2006). Ley Orgánica 2/2006, de 3 de Mayo, de educación. *BOE*, 17158-17207.
- LOMCE. (2013). Ley Orgánica 8/2013, de 9 de diciembre, para la mejora de la calidad educativa. *BOE*, 97858-97921.

### Libros de texto:

- Aureli Caamaño (coord)...[et al.] (2011). *“Didáctica de la Física y la Química”*. Volumen II. Barcelona: Editorial GRAÓ.
- MAC CANLLEY, M.H. and NATTER, F.L. (1974): *“Psychological Differences in Education”*, Natter/Rollins (Ed.); The Governor’s Task Force Disruptive Youth, Tallahassee, Florida.
- SARRAMONA, J. (1991): *“Fundamentos de Educación”*. Barcelona: CEAC).
- MEDLEY, D.M. (1977): *“Teacher Competence and teacher Effectiveness. A Review of Process-Product Research”*. American Association of Colleges for Teacher Education, Washington.
- M<sup>a</sup> DEL MAR ARAGÓN, MANUEL BONAT JOSÉ M<sup>a</sup> OLIVA, JOAQUÍN MATEO. (1999). Alambique. [Versión electrónica]. Revista Alambique 21.
- WOOLNOUGH, B. E. (1991). *“Practical Science”*. Buckingham: Open University Press.
- RUSSELL, D. W., LUCAS, K. B. y MCROBBIE, C. J. (2004). *“Role of the Microcomputer-Based Laboratory Display in Supporting the Construction of New Understanding in Thermal Physics”*. Journal of Research in Science Teaching, 41 (2), 165-185.
- GARCÍA HOZ, V. (1970): *“Educación personalizada”*. C.S.I.C. Madrid.
- .DELORS, J. (1996): *La educación encierra un tesoro*. Madrid: Santillana Ediciones UNESCO.
- BUTTY, C., TIBERGHIE, A. y LEMARECHAL, J.F. (2004). *“Learning hypotheses and an associated tool to design and to analyse teaching-learning sequences”*. International Journal of Science Education 26 (5), 579-604.
- PERRENOUD, P. (1993). *“Touche pas à mon évaluation! Pour un approche systémique du changement. Mesure et évaluation en éducation”*, 16 (1/2), 107-132.
- SANMARTÍ, N. (2007). *“Evaluar para aprender. 10 ideas clave”*. Barcelona: Graó.

- PARDO COLLANTES DANIEL, BAILÓN VEGA, LUIS A. (2007) *“Elementos de Electrónica”*. Universidad de Valladolid, Secretariado de Publicaciones e intercambio Editorial.
- CLIFFORD, A. PICKOVER. (2011). *“The Physics Book”*. Librero b.V., Postbus 72,5330 AB Kerkdriel, Holanda.
- DOUGLAS. A. SKOOG, DONAL M. WEST. *“Introducción a la química analítica”*.
- RUÍZ MARTÍNEZ, JESÚS. GARCÍA LUCAS, ISABEL. (2012). *“Física y Química: temario cuerpo de profesores de enseñanza secundaria”*. Volumen I. Física I. Editorial MAD. S.L.

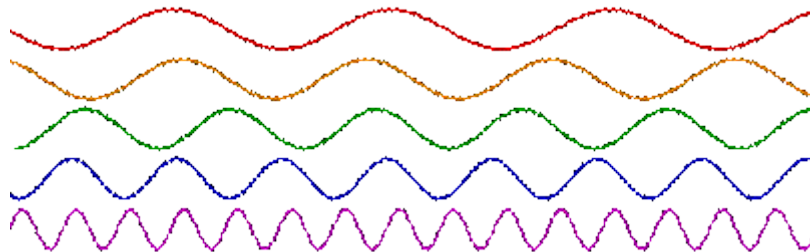
**Páginas web:**

- <http://www.grao.com/revistas/alambique/021-la-divulgacion-cientifica/las-analogias-como-recurso-didactico-en-la-ensenanza-de-las-ciencias>
- <http://triplenlace.com/2012/09/27/eutrofizacion-causas-y-efectos/>
- [http://www.ecured.cu/index.php/Modelo\\_RGB](http://www.ecured.cu/index.php/Modelo_RGB)
- <http://www.solener.com/pregunta.html>
- [http://www.uam.es/personal\\_pdi/ciencias/bolarios/BiologíaCCAA/Guiones/Practica1.htm](http://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/bolarios/BiologíaCCAA/Guiones/Practica1.htm)
- <http://es.slideshare.net/guest0aacfc/espectrofotometra-presentation>
- [https://es.wikipedia.org/?title=Espectro\\_electromagn%C3%A9tico](https://es.wikipedia.org/?title=Espectro_electromagn%C3%A9tico)
- <http://www.ni.com/tutorial/7111/es/>
- <http://campus.usal.es/~quimfis/apoyo/Carmen/Practicas/Espectrofotometria.PDF>
- <http://www.ti.com/lit/ug/spmu296/spmu296.pdf>
- <http://www.mouser.com/catalog/specsheets/TSL230RDTSL230ARDTSL230BRD-P.pdf>
- <http://www.ti.com/tm4c123g-launchpad>
- <http://www.energia.nu>

## ANEXO I. CÓMO MEDIR FRECUENCIA

La frecuencia es el índice de repetición de un suceso. En física, los fenómenos periódicos aparecen en movimientos circulares, de rotación, en oscilaciones y en fenómenos ondulatorios, como las ondas sonoras o las oscilaciones en corriente alterna. También, aparece periodicidad en fenómenos físicos descritos por ecuaciones diferenciales que necesitan ser resueltas mediante series de Fourier, como en la teoría del sonido, en el estudio de las ondas electromagnéticas, la transmisión de calor o el análisis de Fourier para señales.

Debido a que medir directamente la frecuencia de una onda, ya sea analógica o digital, es bastante complicado, lo que se hace normalmente es medir el período para poder calcular la frecuencia, ya que la frecuencia es la inversa del período. Cuanto mayor sea el período, menor será la frecuencia y viceversa.




En la figura se representan ondas de distintas frecuencias. Donde las ondas están ordenadas de menor a mayor frecuencia desde arriba abajo, por tanto la onda de arriba o superior es la de menor frecuencia y la onda de abajo o inferior es la de mayor frecuencia.

La frecuencia se expresa normalmente como frecuencia angular  $\omega$  en radianes/segundo, o como frecuencia en segundos<sup>-1</sup>, que es equivalente a la unidad de frecuencia del Sistema Internacional, el *hercio* o hertz (símbolo Hz). La frecuencia también se puede representar como pulsaciones por minuto (BPM) y como revoluciones por minuto (RPM). La frecuencia angular  $\omega$  (rad/seg) y la frecuencia  $f$  (Hz) están relacionadas por:  $\omega = 2\pi f$ .

El tratamiento de señales analógicas, como por ejemplo el sonido es muy complejo y necesita del análisis de Fourier.

Sin embargo, obtener la frecuencia de una señal digital como la que nos ofrece la salida del sensor (TSL230RD) de nuestro equipo no es muy complicado, debido a que el sensor nos devuelve en la salida una señal digital de onda cuadrada. Para una señal de onda cuadrada, el período es directamente el tiempo entre extremos de subida, o entre extremos de bajada.

Si el tiempo entre extremos de subida o extremos de bajada varía ligeramente, podemos realizar un promedio sobre un gran número de muestras para obtener la frecuencia con una mejor precisión.

$$\text{Period (s)} = \frac{1}{\text{Frequency}} \text{ (Hz)}$$


### Cómo efectuar una medición de frecuencia.

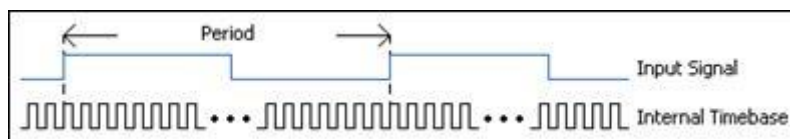
Para medir la frecuencia de sistemas digitales con una mayor precisión, se mide un gran número de períodos en vez de uno sólo, para posteriormente promediar el período en un gran número de muestras, de modo que la frecuencia es el inverso de este período promediado.

Existen distintos métodos para obtener la frecuencia de una señal digital, dependiendo de si la señal es de baja o de alta frecuencia. Para una señal de baja frecuencia se utiliza un contador o un tiempo base, y para una señal de alta frecuencia es necesario emplear dos contadores, más comúnmente conocido como el método de los dos contadores.

Como la señal que hemos no es excesivamente elevada, hemos empleado un contador. El extremo de subida de la señal de entrada inicia el número de veces que el tiempo base debe ser contado. Además, como ya hemos dicho, el período  $T$  de una señal de entrada es el inverso de su frecuencia  $T = 1/f = t/n$ . Por tanto, el período  $T$  de una señal es el tiempo que tarda la señal en completar un ciclo de oscilación, Si ese tiempo es medido a lo largo de varios ciclos de la señal de entrada, lo que se obtendrá será el período promedio, que también se conoce como período promedio múltiple.

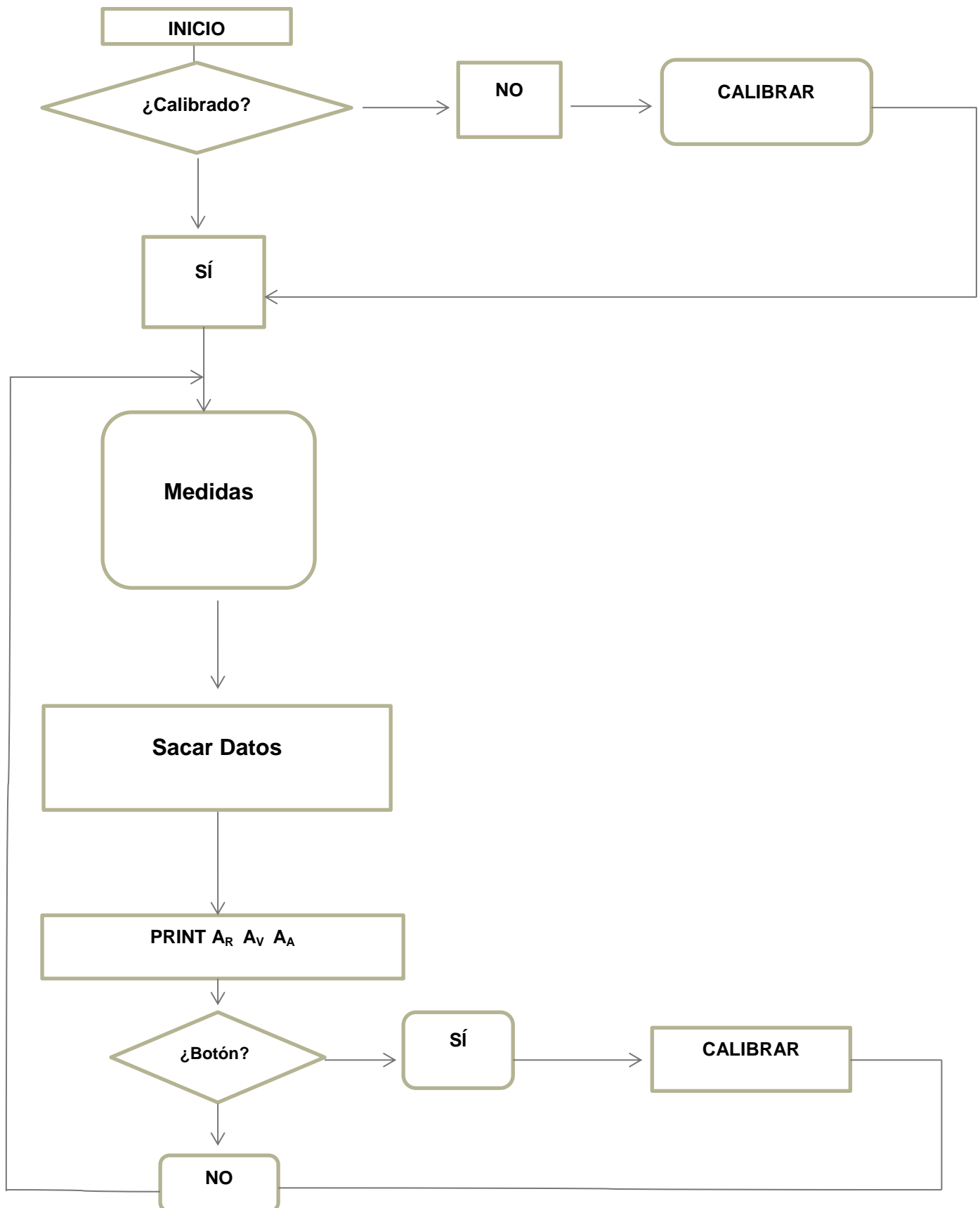
Promediando el período a un número de ciclos bastante alto, podemos medir frecuencias con una precisión mucho mayor que midiendo únicamente un ciclo, debido a que el margen de error disminuye considerablemente.

Una imagen ilustrativa de en qué consiste este método sería:





## ANEXO II. ALGORITMO DEL ESPECTROFOTÓMETRO



Los bloques de medidas y de calibrar consisten básicamente en:

### Medidas

Apagar LEDS  
Medir Frecuencia  $F_0$   
Encender LED rojo  
Medir Frecuencia  $F_R$   
Encender LED verde  
Medir Frecuencia  $F_V$   
Encender LED azul  
Medir Frecuencia  $F_A$

### Calibrar

Apagado  $F_0$

Calibrar rojo:  $R_{CAL} = (F_R - F_0)$

Calibrar verde:  $V_{CAL} = (F_V - F_0)$

Calibrar azul:  $A_{CAL} = (F_A - F_0)$

Calculamos las absorbancias

$$A_R = -\log \frac{F_R - F_0}{R_{cal}}$$

$$A_V = -\log \frac{F_V - F_0}{V_{cal}}$$

$$A_A = -\log \frac{F_A - F_0}{A_{cal}}$$

### ANEXO III. COSTES DEL MATERIAL EMPLEADO

<b>Construcción de un espectrofotómetro básico</b>	
<b>Material</b>	<b>Coste</b>
Tiva C Series TM4C123G	11.45 €
Sensor TSL230RD	3.87 €
Condensador 0.1 $\mu$ F	0.30 €
1 Resistencia Cerámica	0.03 €
1 LED RGB Ánodo Común	0.71 €
1 Varilla de metacrilato transparente	1.40 €
<b>Total</b>	<b>17.76 €</b>
<b>Construcción de un espectrofotómetro ampliado</b>	
1 pantalla LCD	3.70 €
2 módulos de presión (botones)	5.70 €
<b>Total</b>	<b>27.16 €</b>

<b>Actividad de laboratorio: Medidas con bombillas</b>	
1 Bombilla incandescente de 60 W	2.40€
1 Bombilla fluocompacta muy rápida de 9 W	3.60 €
1 Bombilla LED de 4 W	5.80 €
<b>Total</b>	<b>11.8 €</b>

<b>Actividad de laboratorio: Medidas de Absorbancia</b>	
1 litro de agua destilada	0.60 €
3 frascos roscados de polipropileno para muestras	0.45 €
3 cubetas de plástico cuadradas macro 10mm paso luz con tapón	0.75 €
1 bote de 100 g de cloruro férrico	5.40 €
1 bote de 150 g de sulfato de cobre(II) pentahidratado	7.35 €
1 Jeringa sin aguja de 5 mL	0.09 €
<b>Total</b>	<b>14.64</b>

