

# **Análisis, Diseño y Construcción de un Colorímetro Básico, para ser utilizado en un Laboratorio Clínico, utilizando Microcontroladores.**

K.J. Chiluiza, F.P. Piguave, Ing Miguel Yapur  
Facultad de Ingeniería Eléctrica y Computación  
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)  
Campus Gustavo Galindo, Km. 30.5 vía Perimetral  
Apartado 09-01-5863. Guayaquil – Ecuador  
kchiluiz@espol.edu.ec, fpiguave@espol.edu.ec, myapur@espol.edu.ec

## **Resumen**

*En el diario vivir, el objetivo de los seres humanos es mejorar y facilitar el estudio en los sistemas biológicos con la ayuda de equipos electrónicos, con el diseño y fabricación de dispositivos que reproduzcan la respuesta visual ante cualquier evento. El color es un atributo de la percepción visual que se compone de una combinación de elementos cromáticos y acromáticos. Este atributo puede ser descrito por nombres de colores tales como amarillo, naranja, marrón, rojo, rosa, verde, azul, púrpura, etc., o por nombres de colores acromáticos tales como blanco, negro y la escala de grises, modificados por los adjetivos que refuerzan el sentido, tales como luminoso, apagado, claro, oscuro, etc., o por combinaciones de tales nombres y adjetivos.*

**Palabras Claves:** *Colorímetro, Absorbancia, Transmitancia, Ley de Beer-Lambert.*

## **Abstract**

*In daily life, the goal of human beings is to improve and facilitate the study of biological systems with the help of electronic equipment, with the design and manufacture of devices that reproduce the visual response to any event. The color is an attribute of visual perception consisting of a combination of chromatic and achromatic. This attribute can be described by the names of colors such as yellow, orange, brown, red, pink, green, blue, purple, etc., Or by achromatic color names such as white, black and gray scale, modified by reinforce the sense adjectives such as bright, dull, light, dark, and so on., or combinations of such names and adjectives.*

**Keywords:** *Colorimeter, Absorbance, Transmittance, Beer-Lambert Law.*

## **1. Introducción**

En el presente estudio se ha desarrollado las diferentes técnicas para reconocer el color; y el diseño se basa en un colorímetro donde su fuente de emisión de luz es un led (full color RGB), donde su intensidad luminosa sobrepasa las 270 milicandelas. El receptor es un transductor

TSL12S – LF que recibe luz para transformarlo a voltaje en una escala de 1 voltio a 5 voltios.

El proyecto consiste de dos PIC´s 16F877A para el cual se usa el software MPLAB que nos ayuda a programar las líneas de funcionamiento de los PIC`s. El primer PIC se basa en la interacción con el operador ya que, debe indicar que color de filtro se elegirá y si el resultado se mostrará como

absorbancia o transmitancia. En la programación del segundo PIC se procesa el resultado solicitado y se lo muestra en un LCD de 2 x 16. En el capítulo 1, se da a conocer la teoría y los conceptos básicos sobre colorimetría, las diferencias entre los tipos de aparatos electrónicos de medición de luz. El concepto de transmitancia y absorbancia.

En el capítulo 2, se especifica los principios de los cuales partimos para el análisis y luego construcción del mismo la Ley de Beer - Lambert, descripción, características, el debido uso del equipo y la aplicación del colorímetro.

En el capítulo 3, se encuentra el desarrollo, diseño y funcionamiento del colorímetro referente a la parte electrónica, el diagrama de bloques, el diagrama de flujo la programación de los microcontroladores, el desglose de funcionamiento de cada bloque interno de trabajo, las placas de PCB y las muestras obtenidas.

La tecnología que continuamente cambia y mejora hace que la medicina tenga avances y los equipos médicos electrónicos no pueden ser la excepción con gran precisión y rapidez en resultados.

### 1.1 Espectro Electromagnético

Se define espectro electromagnético a la distribución energética al conjunto de las ondas electromagnéticas.

El espectro electromagnético se extiende desde la radiación de menor longitud de onda (rayos gamma, rayos X), hasta las de mayor longitud de onda (ondas de radio y de distribución eléctrica). Todas las radiaciones electromagnéticas se

transmiten a la velocidad de la luz (300.000 km/s) y en forma ondulatoria.

Las ondas electromagnéticas de alta frecuencia tienen una longitud de onda corta y mucha energía mientras que las ondas de baja frecuencia tienen grandes longitudes de onda y poca energía.

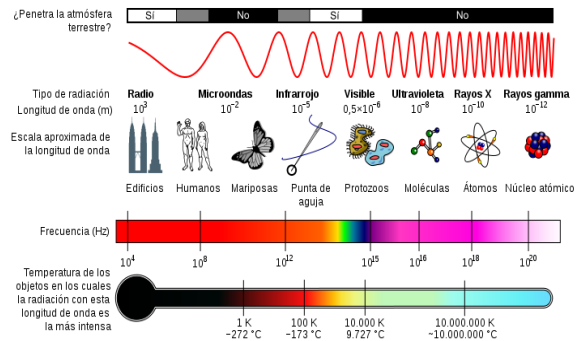


Figura 1. Diagrama del espectro electromagnético.

### 1.2 Color

El color es la sensación que producen los rayos luminosos en los órganos visuales y que el cerebro la interpreta. Se trata de un fenómeno físico-químico donde cada color depende de la longitud de onda.

Los cuerpos iluminados absorben parte de las ondas electromagnéticas y reflejan las restantes; en condiciones de poca luz, el ser humano sólo puede ver en blanco y negro.

### 1.3 Transmitancia

La transmitancia o transmitencia es una magnitud que expresa la cantidad de energía que atraviesa un cuerpo por unidad de tiempo.

La transmitancia óptica que se define como la fracción de la luz incidente, a una longitud de onda especificada, que logra pasar a través de una muestra. Su expresión matemática es:

$$T = \frac{I}{I_0}$$

Donde ( $I_0$ ), es la intensidad del rayo incidente e ( $I$ ) es la intensidad de la luz que viene de la muestra. La transmitancia de una muestra está normalmente dada porcentualmente, definida como:

$$T\% = \frac{I}{I_0} \times 100\%$$

#### 1.4 Absorbancia

En espectroscopia, la absorbancia o absorbencia ( $A$ ) es definida como

$$A_\lambda = -\log_{10} \left( \frac{I}{I_0} \right)$$

Donde ( $I$ ) es la intensidad de la luz con una longitud de onda específica ( $\lambda$ ) que es pasada por una muestra (intensidad de la luz transmitida) y ( $I_0$ ) es la intensidad de la luz antes de que entre a la muestra (intensidad de la luz incidente).

Los resultados de absorbancia son por lo general usadas en química analítica, ya que la absorbancia es proporcional al grosor de una muestra y la concentración de la sustancia en ésta, en contraste a la transmitancia  $I / I_0$ , la cual varía exponencialmente con el grosor y la concentración.

$$A = 2 - \log_{10} T\%$$

La transmitancia se relaciona con la absorbancia (o absorbencia)  $A$  como

$$A = -\log_{10} T = -\log_{10} \left( \frac{I}{I_0} \right)$$

Donde  $T\%$  es el porcentaje de transmitancia y  $T$  es transmitancia en "tanto por uno". Nótese que el término transmisión se refiere al proceso físico de la luz pasando por una muestra, mientras que

*transmitancia* se refiere a una cantidad matemática.

También se llama densidad óptica a la absorbancia de un elemento óptico para una longitud de onda determinada; a veces la misma expresión se usa sin referencia a una longitud de onda específica, y en ese caso debe considerarse sinónima de absorbancia.

## 2. Colorímetro

El colorímetro propuesto para este proyecto se basa en una fuente de luz con un diodo RGB de los cuales tiene cada uno el botón para seleccionar el filtro deseado, el receptor es un transductor se procesan los datos y se muestran en una pantalla LCD, donde con dos botoneras se puede seleccionar si el resultado se lo desea como transmitancia o absorbancia.

Cualquier colorímetro se fundamenta en el proceso de absorción de la luz por un medio transparente coloreado, se resume en una ecuación que se conoce como Ley de Beer – Lambert.

### 2.1 Características del Colorímetro

El colorímetro está diseñado para usar cubetas de polietileno. Las cubetas tienen un volumen de aproximadamente 1 ml. Las cubetas compuestas de materiales como el cuarzo con características transparentes desde los 190 nm en el ultravioleta hasta los 3 ó 4  $\mu$ m en el infrarrojo, en el caso de los vidrios desde los 350 nm hasta los 2  $\mu$ m y los plásticos desde 380 hasta los 780 nm en el visible. No están hechos para transmitir la luz del diodo emisor. Es importante colocar la cubeta correctamente en el colorímetro; la luz viaja del

diodo emisor de luz por la cubeta, al detector que es un transductor, el cual es un dispositivo que transforma el efecto de una causa física en otro tipo de señal, normalmente eléctrica.

En la mayoría de los colorímetros, las cubetas tienen ligeramente una variación en la cantidad de la luz absorbida. Se puede optar por ignorar estas diferencias. Del gran total de muestras de laboratorio, esta variación no supondrá un efecto perceptible en los resultados experimentales.

Para obtener el mejor resultado, la variación de luz absorbida por las cubetas puede ser controlado o usando la misma cubeta para todos los ensayos de un experimento particular o un conjunto de cubetas. Lo más fácil y más confiable es el primer método. Esto requiere que la cubeta esté limpia y seca después de cada ensayo. Si se tienen 5 ó 6 cubetas con los niveles de absorbancia similares, entonces cada muestra puede ser añadida a una cubeta diferente.

## 2.2 Manejo del Equipo

Antes de usar un colorímetro debe hacer lo siguiente:

1. Limpieza de la superficie del equipo.
2. Limpieza en la cabina de la cubeta y la fuente de luz.
3. Verificar la conexión eléctrica.
4. Para procesar los datos en el colorímetro se necesita cumplir con los siguientes pasos:
  - a) Se enciende el equipo.
  - b) Se selecciona la longitud de onda deseada (esto depende de la muestra a ser leída y del reactivo utilizado).
  - c) Se selecciona la función absorbancia o transmitancia.

## 2.3 Recomendaciones de uso y cuidado del equipo

- a) Colocar el equipo en un lugar en donde no esté sujeto a vibraciones, calor excesivo, humedad o luz directa.
- b) Proteger el equipo del polvo. No tocar la fuente de luz (emisor) ni el transductor (receptor).
- c) Permitir que el equipo se caliente por 10 minutos antes de iniciar hacer algún procedimiento.
- d) Verificar el 0 y el 100% T cada vez que se vaya a hacer lecturas y cuando varíe la longitud de onda.
- e) Asegurarse de que las cubetas estén limpias, libres de rayaduras y huellas digitales. Esto debe hacerse cada vez que va a usarse.

## 2.4 Aplicación del equipo

El Colorímetro es utilizado en algunos campos como es el blanqueamiento dental, industria gráfica, en el control de materiales plásticos, el colorímetro diseñado en este proyecto se puede usar en los Laboratorios Clínicos para el análisis de muestras fisiológicas, basándose en el principio que cada compuesto químico, absorbe o emite energía lumínica de diferente longitud de onda que se encuentren comprendida en el espectro electromagnético desde los 470nm hasta los 624 nm.

## 3. Diseño y Funcionamiento

En este capítulo se describe el diseño electrónico y funcionamiento de cada bloque del colorímetro, el diagrama de flujo muestra el esquema básico para la programación que se

encuentra en cada PIC, además se describe los tres componentes de la cabina interior de la cubeta, el cual está compuesto por un dispositivo de entrada constituido por un diodo RGB este diodo es la fuente emisora de luz, dispositivo de recepción en el cual está ubicado la porta cubetas donde se usan cubetas de plástico con la propiedad de traspase el espectro electromagnético visible y dispositivo de salida cuyo elemento principal es un transductor.

A continuación se muestra el análisis electrónico de la selección de los filtros la conexión de puertas AND de alta velocidad, el diseño para las entradas y salidas en cada uno de los PIC, los indicadores para cada señal de filtro y el LCD, en el cual se muestran los mensajes según como se está ejecutando cada fase del proceso.

### 3.1 Dispositivos de Entrada, Recepción y Salida

La cabina interior del colorímetro se compone de tres segmentos la entrada compuesta por el diodo led full color emisor, la base porta cubetas su función es darle estabilidad a la cubeta y las cubetas son plásticas y el receptor que se compone de un transductor que es colocado con un ángulo de 42 grados con respecto a la horizontal.

**3.1.1 Diodo Led.** Un Led (de la sigla inglesa LED: Light-Emitting Diode: 'diodo emisor de luz') es un diodo semiconductor que emite luz. Cuando un led se encuentra en polarización directa, los electrones pueden recombinarse con los huecos en el dispositivo, liberando energía en forma de fotones. Este efecto es llamado electroluminiscencia y el color de la luz (correspondiente a la energía del fotón) se

determina a partir de la banda de energía del semiconductor.

Por lo general, el área de un led es muy pequeña (menor a 1mm), y se pueden usar componentes ópticos integrados para formar su patrón de radiación. Los leds presentan muchas ventajas sobre las fuentes de luz incandescente como un consumo de energía mucho menor, mayor tiempo de vida, tamaño más pequeño, gran durabilidad y fiabilidad.

El diodo Full Color (RGB), el color rojo con una longitud de 624nm y con 360 milicandelas de intensidad luminosa, el color azul tiene una longitud de onda de 470nm y 100 milicandelas y el color verde con longitud de 525nm con una intensidad de 565 milicandelas.



Figura 2. Diodo RGB.

**3.1.2 Cubetas y dispositivos de muestreo.** Las cubetas que contienen las soluciones de la muestra y de la referencia deben tener sus ventanas perfectamente paralelas y perpendiculares al haz de radiación. Las cubetas utilizadas tienen, por lo general, 1 cm de ancho, aunque pueden utilizarse desde 0,1 cm o menos. Las cubetas deben construirse con materiales que no absorban la radiación en la región de interés. Las cubetas deben limpiarse antes y después de ser utilizadas y nunca se debe tocar con los dedos las caras por donde pasa la radiación pues la grasa y las huellas dactilares pueden hacer variar la transmitancia de la cubeta.



Figura 3. Cubeta de medición.

**3.1.3 Receptor de mediciones.** Un detector es un transductor que convierte la radiación electromagnética en un flujo de electrones y, posteriormente, en una corriente o voltaje en el circuito de lectura. En muchos casos la fotocorriente requiere amplificación, particularmente cuando se miden bajos niveles de energía radiante.

Existen detectores de un solo elemento como los fotodiodos de estado sólido, los tubos fotoemisores y los tubos fotomultiplicadores y otros detectores con elementos múltiples, como los detectores de estado sólido. Las características más importantes en el colorímetro es la sensibilidad espectral.

#### 4. Pruebas Realizadas

**Tabla 1.** Valores teóricos del filtro con tres cubetas diferentes.

Transmitancia	Valor teórico
Cubeta1 - %T	9.6
Cubeta2 - %T	10.0
Cubeta3 -%T	46.0

**Tabla 2.** Valores experimentales con tres cubetas diferentes.

Transmitancia	Rojo 624 (nm)	Verde 525 (nm)	Azul 470 (nm)
Cubeta1 - %T	11.11	11.11	9.52
Cubeta2 - %T	11.11	11.11	9.52
Cubeta3 -%T	49.2	47.6	47.6

#### 5. Conclusiones

El colorímetro y el espectrofotómetro ambos instrumentos pueden determinar el color de una muestra. Sin embargo es muy normal que el color de un mismo objeto medido con ambos aparatos los resultados distintos. Debido que el espectrofotómetro usa luz blanca y la descompone por medio de prisma y el colorímetro diseñado usa luz directamente considerando el rango en el espectro electromagnético.

Un espectrofotómetro determina la transmitancia de una sustancia, mientras que las funciones correspondientes a los diferentes iluminantes y las funciones de igualación del sistema visual están tabuladas e introducidas en la base de datos del ordenador del espectrofotómetro, por lo que una vez que se mide la reflectancia o la transmitancia, el cálculo de los valores triestímulo y de las coordenadas cromáticas son exactos.

La imitación no es perfecta, por lo que los resultados obtenidos suelen discrepar de los obtenidos con el espectrofotómetro, aún más, entre diferentes colorímetros los resultados también suelen diferir, debido a que los diferentes filtros desarrollados no suelen ser iguales. Dentro de los colorímetros, como ya se lo demostró, los colorímetros de plantilla son más precisos que los de filtros, aunque mucho más costosos de construir.

Para obtener con exactitud el valor de unas coordenadas cromáticas, lo que se debe utilizar es un espectrofotómetro. Si no es así, es suficiente con un colorímetro de filtros que según los

diseños podrá ser más o menos preciso. En muchos casos prácticos no es imprescindible conocer con precisión las coordenadas cromáticas de un color sino su diferencia respecto a un patrón que se pretende limitar. En este caso, si el aparato presenta una pequeña imprecisión en la medida está será sistemática, de forma que las diferencias de color entre las medidas no se verán afectadas. En estas situaciones es particularmente útil el uso del colorímetro.

## 6. Agradecimientos

“A mis padres y hermanos por brindarme un hogar cálido y enseñarme que la perseverancia y el esfuerzo son el camino para lograr objetivos.

A nuestro Director de Tesina, Ing. Miguel Yapur por su generosidad al brindarme la oportunidad de recurrir a su capacidad y experiencia científica en un marco de confianza, afecto y amistad fundamentales para la culminación de este proyecto.”

“A mi Madre, ser que me ha dado la vida y el apoyo necesario para conseguir los logros, su lucha constante, símbolo de humildad”.

## 7. Referencias

[1] Sogorb Sánchez Miguel Ángel, Vilanova Gisbert Eugenio, *Técnicas Analíticas de Contaminantes Químicos*, Ediciones Díaz de Santos S.A, España (2004) Pág 85-87.

[2] Capilla Pascual, Artigas José, Pujol Jaime, *Fundamentos de Colorimetría*, Ediciones Maite Simon, España (2002) Pág 119-132.

[3] Olsen Eugene, *Métodos Ópticos de Análisis*, McGraw-Hill Book Company, New York (1999), Pág 113-117.

[4] Jaime Escobar Morales, *Espectro Electromagnético*, [http:// astronomos.net23.net /teorias/ espectroelectromagnetico.html](http://astronomos.net23.net/teorias/espectroelectromagnetico.html), fecha de consulta Abril 2011.

[5] *Centro de Estudio de la Energía Solar, Espectrometría*, [http://www.espectrometria.com/ espectro \\_ electromagnetico](http://www.espectrometria.com/espectro_electromagnetico), fecha de consulta Abril 2011.

[6] *Optek, Ley de Lambert – Beer*, [http://www.optek.com/es/Lambert\\_Beer\\_Law.asp](http://www.optek.com/es/Lambert_Beer_Law.asp), fecha de consulta Mayo 2011.