ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

"Impulsando la Sociedad del Conocimiento"

Recuperación y rediseño de un espectrofotómetro digital para el cálculo de la Transmitancia y Absorbancia

M. Sc. Miguel Yapur (1), Rafael Alejandro Alume Cusme (2), Jimmy José Clavijo Edgar (3), Christian Orlando Valdez Heredia (4)
Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral
Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador
myapur@espol.edu.ec (1), ralume@fiec.espol.edu.ec (2), jclavijo@fiec.espol.edu.ec(3), cvaldez@fiec.espol.edu.ec (4).

Resumen

El objetivo del presente trabajo es la reparación, rediseño y actualización de un espectrofotómetro que dejó de operar hace algún tiempo, el Spectronic 20D; y para ello se aplicaron conocimientos de electrónica, programación y microcontroladores, enfocándose especialmente en las aéreas de cálculo de la ABSORBANCIA y el manejo y presentación de la información.
Se cambió el medio de presentación de resultados , que se lo hacía a través de un despliegue visual de 7 segmentos, el cual fue reemplazado por una pantalla LCD que tiene asignada la función de interfaz entre el equipo y el usuario. Tanto el cálculo de la ABSORBANCIA como el de la longitud de onda se lo realiza dentro de un microcontrolador PIC16F887A el mismo que fue programado usando PIC-C y lenguaje C.
Por otro lado, se repararon e hicieron ciertos cambios en las fuentes de polarización, para poder energizar los diferentes circuitos electrónicos que fueron modificados.
Finalmente el equipo fue sometido a pruebas de confiabilidad y estabilidad, para lo cual se usó un juego de filtros de calibración y un espectrofotómetro digital operativo y calibrado profesionalmente.

Palabras Claves: *reparación, espectrofotómetro, programación, absorbancia, microcontrolador, diseño.*

Abstract

The objective of this work is repair, redesign and upgrade of a spectrophotometer that ceased operations some time ago, the Spectronic 20D, through the application of electronics, programming and microcontrollers.
The display was changed; a visual 7-segment display was replaced by an LCD screen that has been assigned the role if interface between the computer and the user. Both the calculation of the absorbance as the wavelength is performed within a PIC16F887A microcontroller that was programmed using C and PIC-C languages.
On the other hand, other changes were made in the power supply in order to energize the various circuits which were modified.
Finally, the device was tested for reliability and stability; filters were used for calibration and a digital spectrophotometer for comparison.

Keywords: *repair, spectrophotometer, programming, absorbance, microcontroller, design.*

1. Introducción

El presente proyecto consiste en la recuperación y rediseño de un espectrofotómetro digital, utilizando un PIC de gama media, el PIC16F877A, la programación y los conocimientos de Electrónica Clásica y Electrónica Médica.

Por otro lado, este proyecto resulta muy útil en el área pedagógica, ya que permite a los estudiantes apreciar el funcionamiento de los transductores fotoeléctricos; esto es transformar la energía lumínica a energía eléctrica y sus aplicaciones en la Medicina, además de permitir ver como se aplican y combinan los conocimientos adquiridos en diferentes materias de la carrera.

2. Descripción del equipo a modificar

El equipo que se va a recuperar es un Spectronic 20D, que originalmente es de diseño digital parar luz visible, con las siguientes características:

- Pantalla digital (despliegue visual con LED's de 7 segmentos)
- Operación manual
- Opera en el rango de luz visible
- Detector de fototubo

Figura 1 Spectronic 20D

A continuación se procederá a describir cada una de las partes que conforman al equipo.

2.1. Fuente luminosa

Una bombilla pequeña de filamento enrollado es apropiada para concentrar el flujo de luz en un haz intenso. La lámpara de tungsteno funciona con corriente constante. Esta fuente tiene un alto grado de estabilidad y larga vida.

Figura 2 Lámpara de Tungsteno

2.2 Monocromador

Constituido por las rendijas de entrada y salida, colimadores y el elemento de dispersión, el monocromador, el cual descompone la luz incidente en un espectro de luz tipo Arco Iris.

El colimador permite dirigir los rayos que emanan de la rendija de entrada, de forma que los rayos provenientes de todas las posiciones de la rendija llegan al elemento de dispersión con el mismo ángulo.

El elemento de dispersión es la parte más importante del monocromador. En los monocromadores convencionales se utiliza el prisma como elemento de dispersión de la luz

2.3 Elemento fotodetector

El propósito de este elemento es responder eléctricamente a los cambios de magnitud de la radiación no absorbida.

Debido al voltaje aplicado entre los electrodos, los electrones se dirigen al ánodo, este flujo de electrones permite que por el circuito fluya una corriente cuya intensidad es directamente proporcional a la intensidad de la luz que excita al fototubo.

- Se utiliza en el rango UV-VIS (420-720 nm)
- Es más sensible que la célula fotovoltaica.

2.4 Sistema de registro

Formado principalmente por un microcontrolador (PIC 16F877A), el cual será el encargado de procesar la información proveniente de los circuitos electrónicos, y de esta forma poder presentar en una pantalla LCD la información requerida por el usuario.

Además de controlar el selector de información que le permite al usuario elegir entre Absorbancia o Transmitancia, el PIC también será el encargado de calcular la longitud de onda en la que se encuentra trabajando el equipo, así como la obtención del valor de Absorbancia a partir del valor de Transmitancia.

Figura 3 PIC 16F877A

3. Recuperación y rediseño del instrumento

Una vez analizado el equipo y reconociendo el estado en que se encuentra se decidirá que partes se reutilizarán y las que tendrán que ser rediseñadas.

Al haber sido un equipo dado de bajase observó un deterioro en ciertos elementos electrónicos como potenciómetros, transistores y capacitores, los cuales se consideró reemplazarlos.

Figura 4 Equipo antes de ser modificado

Una vez terminado el análisis del estado del equipo, se procedió a rediseñarlo de acuerdo al siguiente diagrama de bloques

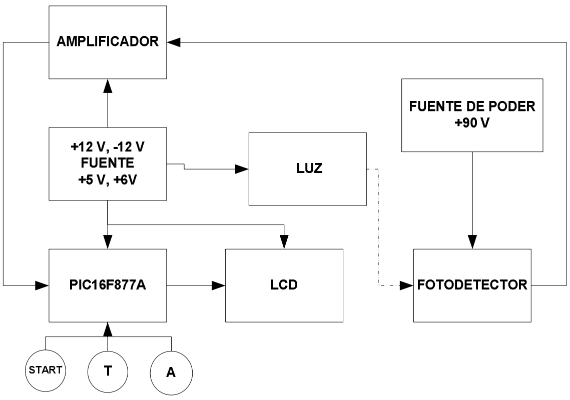

Figura 5 Diagrama de bloques del equipo modificado

3.1 Recuperación de la fuente de poder

Para recuperar los voltajes de de ±12VDC y de +5VDC bastó con analizar los esquemáticos de dichas fuentes. Para el caso de la fuente de +5VDC se utilizó el integrado LM7805. De manera similar se procedió con las fuentes de +12VDC y -12VDC en las que se reemplazaron los integrados LM78L12 y LM79L12 respectivamente.

En la fuente de la lámpara, el análisis comienza desde el transformador T1, que está protegido por un fusible F1 de 250 VAC, 1A y cuyo secundario LS1 se rectifica con el puente de diodos de onda completa (ver Figura 6), el cual por la característica de la fuente es de 600 VAC, 35A. El voltaje VR1 ya rectificado es el voltaje de entrada del regulador LM723 que suministra el voltaje necesario para que encienda la lámpara, cuya característica es de 6 V, 20 W.

Si la potencia de la lámpara es de 20 Watios, se tiene que la corriente está dada por:

$$\boldsymbol{P} = \boldsymbol{V} * \boldsymbol{I}$$

$$20 = 6 * \boldsymbol{I}$$

$$\boldsymbol{I} = 3.33\boldsymbol{A}$$

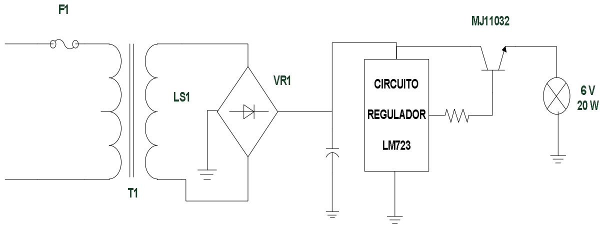

Figura 6 Fuente de alimentación del foco

Debido a la corriente elevada que maneja la carga, la fuente original utiliza un transistor Darlington MJ10000, el cual permite un alto manejo de corriente en bajos niveles de voltaje; en este rediseño se lo ha reemplazado por el MJ11032, de características muy próximas a las del original, debido a que éste no se encuentra disponible en el mercado.

Para el caso de la fuente de polarización del fototubo, ésta no fue necesario recuperarla debido a que en el circuito original se notó que el fototubo se polariza con -90VDC y en el equipo modificado éste se polariza con +90VDC. Para generar los +90VDC se hace uso del siguiente esquema, muy útil gracias a su simplicidad y bajo costo.

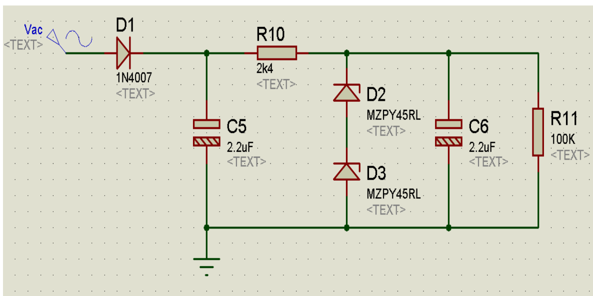

Figura 7 Fuente del fototubo

La alimentación del circuito es de 110 VAC con una frecuencia de 60Hz; el diodo D1 funciona como rectificador de media onda, es decir solo deja pasar el voltaje positivo y es justo en este periodo que se realiza la carga del capacitor C5.

Dado que se desean obtener +90 VDC, se utilizaron dos diodos zener en serie de 45V cada uno, los mismos que al ser atravesados por una corriente superior a Iz(min), funcionan como dos fuentes de voltaje en serie, fijando en la entrada de C6 un voltaje de +90VDC. Una vez determinado esto y conociendo las corrientes de los diodos zener especificadas por el fabricante junto con el valor de C5, se puede calcular el valor de R10 para obtener a la salida de la misma, la corriente necesaria para activar los dos diodos Zener.

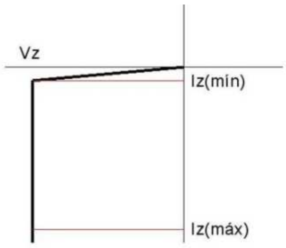

Figura 8 Curva inversa del zener

3.2 Cálculo de la longitud de onda

El elemento principal de este sistema es un potenciómetro de precisión de 10KΩ a 10 vueltas. A medida que la perilla de longitud de onda gira, se hace girar un mecanismo cuyo fin es el de variar la resistencia del potenciómetro y mover el monocromador para obtener los diferentes colores del espectro. Al estar el potenciómetro alimentado por una fuente de +5VDC, esta variación de resistencia equivale a una variación de voltaje, el mismo que será enviado al microcontrolador para el cálculo y visualización de la longitud de onda.

Para el cálculo de longitud de onda es necesario establecer una relación entre la variación de voltaje dada por el potenciómetro y la longitud de onda del rayo de luz que sale del monocromador. Ya que las variaciones del espectro de luz guardan una relación lineal, lo más apropiado y sencillo es establecer una relación lineal entre dichos valores.

Se usó la observación como método de análisis para obtener la relación. Para esto se fijaron ciertos colores y con la ayuda de un voltímetro se determinaron los voltajes respectivos a la salida del potenciómetro, creándose la siguiente tabla.

Tabla 1 Resultados obtenidos en la observación de la luz incidente

Longitud de onda (nm)	Voltaje (V)	Color
720	3,76	Rojo
630	3,69	Naranja
580	3,64	Amarillo
545	3,6	Verde
500	3,4	Azul

Para determinar la relación lineal se valió de los datos de la tabla anterior y la ayuda de la ecuación lineal:

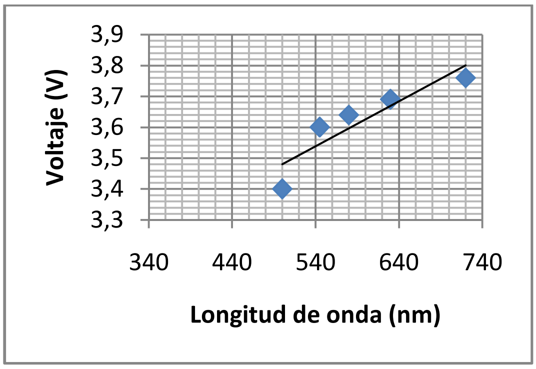

Figura 9 Relación lineal entre voltaje y longitud de onda

$$y = mx + b$$

$$m = \frac{3.76 - 3.4}{720 - 500}$$

$$m = 1.636 * 10^{-3}$$

$$b = 2.69$$

Una vez obtenidos los valores de m y b, estos son usados como constantes dentro del PIC el mismo que al recibir el voltaje del potenciómetro será capaz de calcular el valor de la longitud de onda por medio de la siguiente ecuación:

$$y = (1.636 * 10^{-3})x + 2.69$$

3.3 Rediseño del circuito de adquisición y de datos

El puerto A del microcontrolador se ha designado para recibir las variaciones de voltaje del potenciómetro del mecanismo de longitud de onda, para el cálculo de la misma. Esta señal es procesada y digitalizada por el ADC del PIC.

Para poder obtener el valor de longitud de onda (λ) partir de la señal digitalizada, primero se debe convertir el dato digitalizado, a su equivalente en voltaje, de la siguiente manera:

$$V = (señal\ digital * 5)/255$$

Para presentar el valor de λ en el LCD aplicamos la siguiente relación:

$$\lambda = \frac{V - 2.4346}{0.001735}$$

Ya que la señal emitida por el fototubo es una señal de corriente muy pequeña, sumado a que el microcontrolador solo puede recibir señales de voltaje a partir del orden de los milivoltios, dicha señal del fototubo es necesario que se convierta en señal de voltaje y luego amplificarla, para lo cual se ha utilizado el circuito amplificador mostrado en la figura 10, entre la salida del fototubo y el microcontrolador.

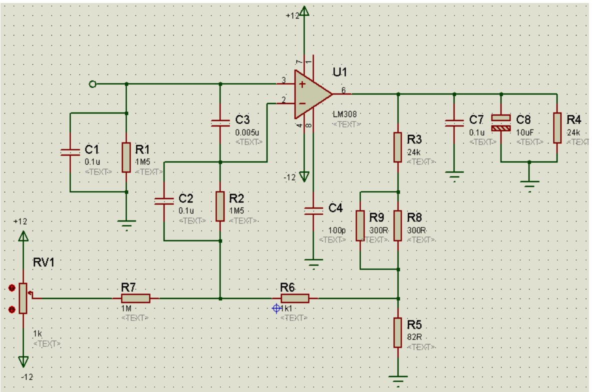

Figura 10 Amplificador

Luego de que se ha adaptado la señal del fototubo para que pueda ser procesada por el microcontrolador, se la direcciona al puerto B y, utilizando el ADC incorporado, se obtiene su equivalente digital. Este valor multiplicado por 100, será el valor de Transmitancia (T).

Para obtener el valor de Absorbancia (A) se aplica la siguiente ecuación:

$$A = \log\left(\frac{1}{T}\right)$$

La presentación de los valores de Absorbancia y de Transmitancia en la pantalla depende de la selección del usuario, para lo cual se cuenta con dos pulsadores que permiten elegir el dato que se desea visualizar.

4. Pruebas realizadas

Se realizaron varias pruebas con los filtros de calibración en el equipo modificado y en un equipo nuevo y calibrado profesionalmente para poder comparar resultados, y se obtuvo la siguiente tabla:

Tabla 2 Valores de T tomados de un equipo y del equipo modificado

Filtro (λ) [nm]	T	EQUIPO PARA COMPARACIÓN	EQUIPO REDISEÑADO
590	46.4	46.6	46.8
590	9.7	9.8	9.3
590	10	9.9	9.5

También se realizó un análisis para determinar el posible porcentaje de error que tiene el equipo rediseñado, utilizando la siguiente ecuación:

$$\%\,Error = \frac{(Valor\ Teórico - Valor\ Práctico)}{Valor\ Teórico}$$

Y se obtuvieron los siguientes valores de error, los cuales se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 3 Porcentaje de error con respecto a otro Espectrofotómetro

Filtro (λ) [nm]	T	EQUIPO PARA COMPARACIÓN	EQUIPO REDISEÑADO
590	46.4	0.43	0.86
590	9.7	1.03	4.12
590	10	1.00	5.00

5. Figuras del equipo modificado

Figura 11 Presentación final del equipo

Figura 12 Vista interna del equipo terminado

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

- La rama de la Medicina va de la mano con la Electrónica y teniendo en cuenta que la Electrónica Médica no está muy desarrollada en el país, nos hace concluir que aplicaciones como esta son necesarias para estimular a los estudiantes en esta rama profesional.
- Cuando se trabaja con muestreo de señales analógicas constantes y muy cercanas entre sí, es necesario contar con un buen ADC, como es en este caso.
- Las características mecánicas y eléctricas del potenciómetro utilizado para calcular la longitud de onda son inapropiadas para el trabajo que realiza, ya que el recorrido de todo el espectro apenas lo realiza en una vuelta, siendo el potenciómetro original de 10 vueltas, de tal manera que se tiene todo el espectro en 1 KΩ; esto da un rango de voltaje muy pequeño para el cálculo de la longitud de onda.
- Los resultados obtenidos en las tarjetas difieren de los simulados ya sea por los canales físicos utilizados que generan ruido o por los tiempos de muestreo de los convertidores ADC.

Recomendaciones

- Cambiar el potenciómetro utilizado para calcular la longitud de onda por uno de más vueltas, con el fin de obtener un rango de voltajes más amplio para el espectro y así evitar errores de muestreo en los ADC del PIC.
- Utilizar un LCD más amplio para mostrar de forma más detallada la información al usuario

Bibliografía

- Ing. Giovanni Lafebre, Micros y Micros, http://micros.mforos.com/1149902/6142592-ad-volt-con-f877/, 15/01/2010
- Wikipedia http://es.wikipedia.org/wiki/Espectrofot%C3%B3metro, 20/01/2010
- Uned, Colorimetría http://www.uned.es/094258/contenido/tecnicas/colorimetria/colorimetria.htm, 05/03/2010
- Wikipedia, Fototubo, http://es.wikipedia.org/wiki/Fototubo, 15/05/2010
- Wikipedia, Ley de Beer – Lambert, http://es.wikipedia.org/wiki/Ley_de_Beer-Lambert, 18/05/2010
- Hispavila, Artículos sobre microcontroladores PIC y su programación, http://www.hispavila.com/3ds/chipspic/indice.html, 12/06/2010
- Dr. Howard Johnson, Common Mode Ground Currents, http://www.sigcon.com/Pubs/news/7_02.htm, 14/06/2010
- Rincondelvago, Barrido Espectral, http://www.slideshare.net/asaor/espectrofotometria-presentation , 15/07/2010
- Slidershare, Espetrofotometría, http://www.slideshare.net/asaor/espectrofotometria-presentation, 15/08/2010
- Boylestad Robert - Nashelsky Louis, Electrónica: teoría de circuitos y dispositivos electrónicos (Pearson, 2003), pp 450-473
- Runge Marschall - Ohman Magnus, Netter's Cardiology (Masson, 2006) pp 29-41