



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe de avance y final de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLAM
Versión	2.1
Vigencia	13/10/2015

Unidad Ejecutora:

Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas

Título del proyecto de investigación:

Diseño de un sensor óptico sumergible para técnicas volumétricas por color.

Código del proyecto:

C2-ING-027

Programa de acreditación:

CyTMA2

Director del proyecto:

Mg. Fauroux, Luis Enrique

Co-Director del proyecto:

Ing. Molina Vuistaz, Nicolás.

Integrantes del equipo:

Ing. Sagarna, Gustavo

Lic. Degaetani, Omar Jorge

Fecha de inicio:

01/01/2015

Fecha de finalización:

31/12/2016

Informe final

Sumario:

1.	Resumen del Proyecto:	2
2.	Memoria descriptiva	2
3.	Introducción	2
4.	Desarrollo	4
5.	Resultados y Conclusiones	7
6.	Referencias	10
7.	Cuerpo de Anexos	11
	Anexo I – Resistencia química de materiales	11
	Anexo II – Presentaciones	12
	Anexo III – Nota de Alta Patrimonial	19
	Anexo IV – Rendición de Gastos	20



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe de avance y final de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	2.1
Vigencia	13/10/2015

1. Resumen del Proyecto:

El objetivo principal es diseñar un dispositivo óptico sensor sumergible que permita mayor precisión y sensibilidad en técnicas volumétricas de determinación química cuyo punto final depende de la coloración de la solución analizada. Este sensor además de eliminar la subjetividad en la apreciación del operador, podrá ser utilizado en el control automático de las técnicas de análisis que se hayan evaluado. Dado que existen diversas técnicas analíticas que difieren en el medio en que se desarrollan y en el color del punto final, se analizará la posibilidad de diseñar el dispositivo con la capacidad de emitir en diferentes rangos de longitud de onda y resistente a la acción de agentes ácidos y básicos (álcalis), Esto aumentará la versatilidad del sensor desarrollado.

Palabras Claves: Dispositivo, sensor, óptico, sumergible, química.

2. Memoria descriptiva

En un aspecto macro el grupo se dividió en equipos según sus conocimientos, un grupo en la tarea del desarrollo de dispositivos, y otro en la preparación de las técnicas sobre las que se aplicará. El objetivo de la investigación se cumplió conforme el cronograma establecido. Sin embargo es necesario hacer notar que hubo que adaptar ciertas tareas, como por ejemplo las soluciones de permanganato a verificar. Los inconvenientes surgieron por la imposibilidad de adquirir productos incluidos en las listas de precursores químicos.

Es de destacar que si bien algunas tareas han sido en especial abordadas por algún integrante del grupo, en general todos se formaron en los distintos temas y trabajos realizados, cumpliendo las tareas conforme el cronograma establecido. Asimismo, durante el 2015, se ofrecieron becas en la Universidad, otorgándosele una de ellas a un estudiante de Ingeniería Industrial, David E. Jara. El alumno se incorporó al grupo de investigación en septiembre 2015, y su plan de trabajo consistió en la evaluación económica del proyecto, siendo supervisado por el resto de los integrantes.

Dado que la presentación de documentos para la publicación en congresos de la temática (accesibles para el presupuesto) concluyó tempranamente en 2016, se envió un artículo para su evaluación y publicación en el segundo número de la revista electrónica del departamento de ingeniería (REDDI).

3. Introducción

Selección del tema: El espectro visible está compuesto por emisiones cuyas longitudes de onda se encuentran entre los 380 nanómetros (nm) y 750 nm. La fuente de luz inicialmente será mediante diodos, con baja dispersión. Un sensor lumínico es capaz de distinguir la cantidad de energía absorbida, por ejemplo, por una solución que es atravesada por un haz emitido en el mismo rango de longitud de onda al que el sensor es sensible. Esta energía absorbida puede ser interpretada por un instrumento de medición que responderá instruyendo al mecanismo automático de control, substituyendo así la subjetividad del operador. El instrumento deberá ser calibrado según sea su respuesta conductimétrica al color del punto final de la titulación. Un conductímetro no es suficiente para la automatización de la técnica, hace falta además un controlador. El mismo interpreta el valor de entrada (que es la salida del sensor) de la conductividad y envía la orden correspondiente al motor que actúa sobre la válvula. La interpretación de la información y la respuesta corresponde a la forma en la que opera un PLC Controlador Lógico Programable (Programmable Logic Controller). Estos aparatos funcionan en la industria con entradas de 4 a 20 mA. En el mercado se encuentran desarrollados sensores similares orientados a la medición en aguas de la turbidez, biomasa microbiana, sedimentos, a la detección de chimeneas hidrotermales, etc. También existen sensores de este tipo utilizados para la fluorescencia en clorofila. Estas aplicaciones permiten inferir que la tecnología disponible en cuanto a los emisores y receptores en el rango visible, es adecuada a los requerimientos del proyecto. Lo mismo ocurre con los sistemas de instrumentación y



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe de avance y final de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	2.1
Vigencia	13/10/2015

control automático, ya que existen diversas técnicas analíticas que cuentan con control automático. Un método a analizar es la respuesta de una célula fotoeléctrica. En el punto inicial la célula fotoeléctrica está recibiendo el haz de luz (energía) de una fuente que se encontraría a pocos milímetros de distancia, quizás entre 5 y 15 mm. En este punto la célula responde con cierto valor de conductividad que será utilizado como referencia (o “blanco”). Una vez comenzada la determinación el color de la solución cambiará, se “aclará”, con ello se altera su absorvancia (disminuye) y en consecuencia aumentará la cantidad de luz (energía) que llegará a la célula. Esto hace que cambie su respuesta, y este cambio puede ser medido. El instrumento básicamente podría ser un conductímetro que indicará mediante una aguja el cambio de posición respecto a la referencia original.

Definición del Problema: La problemática a investigar surge a partir del conocimiento, por parte del grupo, de las dificultades con las que se encuentran los técnicos de laboratorio para determinar el punto final de una titulación colorimétrica. Este tipo de técnicas son ampliamente usadas por su relativo bajo costo ya que no utilizan equipos tales como colorímetros, espectrofotómetros, polarógrafos, etc.

Sin embargo, estas técnicas pierden precisión cuando la cantidad de la sustancia a determinar es pequeña.

Justificación del estudio: En estos casos una muy pequeña diferencia, en la apreciación final del color, se traduce en un gran error porcentual del resultado. Al mismo tiempo, no en todas las determinaciones se utilizan los mismos reactivos, por lo que las longitudes de onda de trabajo son variables. Vale decir entonces que el desarrollo de un dispositivo sencillo, económico pero a la vez sensible, tendrá una utilidad apreciable.

Limitaciones y Alcances del trabajo: En este contexto la metodología a seguir es fáctica, exploratoria y los pasos consisten en la selección de técnicas de análisis para la aplicación. Las técnicas seleccionadas fueron aquellas basadas en la coloración del permanganato de potasio (permanganometrías) por su buena absorción en la longitud de onda del verde [1].

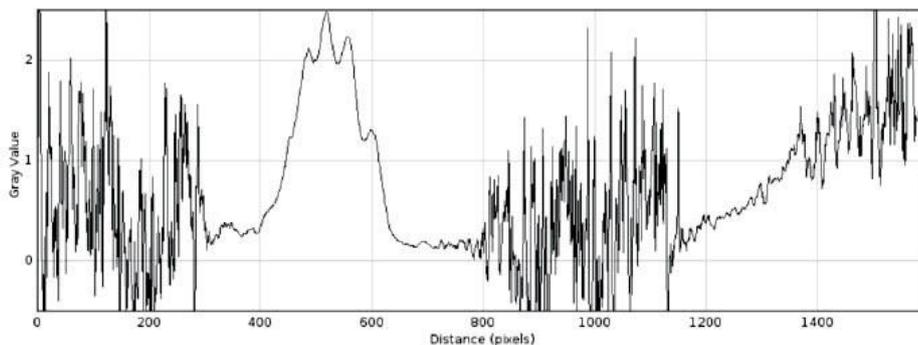


Figura 1 – Espectro de absorción obtenido para una solución diluida de permanganato de potasio

El verde es un color primario y se encuentra en la zona central del espectro visible, entre los 497 y 529 nm



Figura 2 – Espectro de emisión de una lámpara fluorescente compacta

Objetivo: El objetivo es diseñar un dispositivo óptico capaz de eliminar la subjetividad en la apreciación del color en el punto final en técnicas de análisis volumétrico. Las mismas son de aplicación en laboratorios de análisis químico.



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe de avance y final de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	2.1
Vigencia	13/10/2015

Hipótesis: Las soluciones de permanganato presentan linealidad en la absorbancia según la concentración [1]

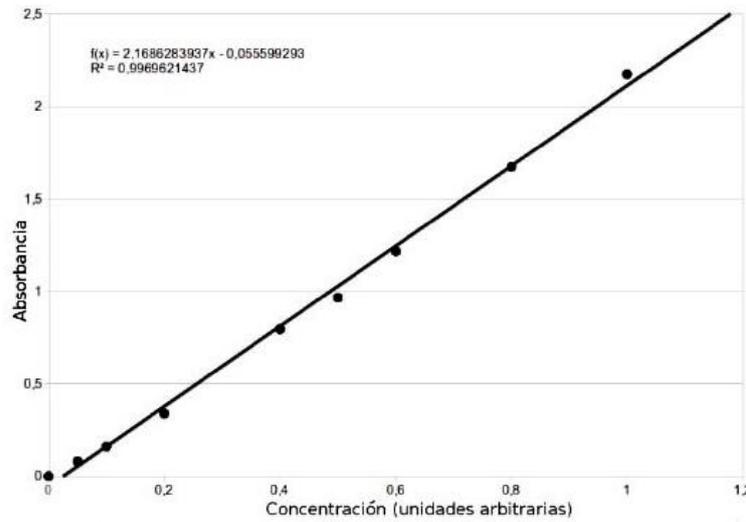


Figura 3 – Curva de absorbancia para soluciones de permanganato de potasio

4. Desarrollo

Materiales y métodos: Por motivos descriptos, se optó por un emisor láser verde standard de 10 mW y se investigaron sensores de color con buena respuesta en ese rango de longitud de onda, como los que se mencionan a continuación:

- a) TSL12T, TSL13T Light-to-Voltage Converters [2]

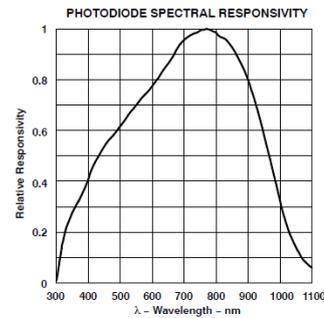
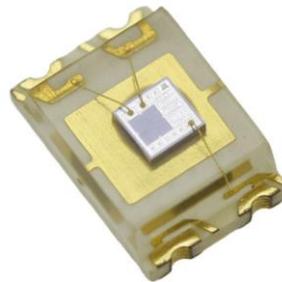
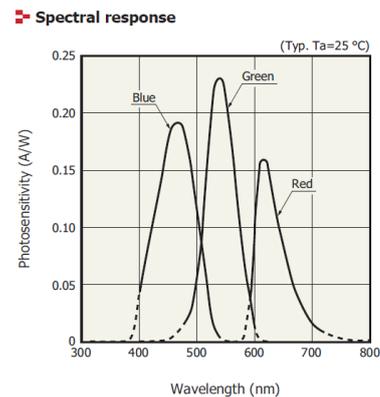


Figura 4 – TSL12T, TSL13T LIGHT-TO-VOLTAGE CONVERTERS

- b) Si Photodiode S9032-02, RGB color sensor [3]





Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe de avance y final de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	2.1
Vigencia	13/10/2015

Figura 5 – Si Photodiode S9032-02, RGB color sensor

Dado que se desea obtener un producto versátil, se determinó que el material del bastidor será teflón dada su alta resistencia a ácidos y bases [Anexo 1], ya que el dispositivo estará dirigido a técnicas de análisis químico. Del mismo modo se pretende que sea económico, por lo que propusieron componentes de probada fiabilidad, existentes en el mercado y a un costo razonable. Con este objetivo se seleccionó la placa STM32VLDISCOVERY [4] como controladora.



Figura 6 - Placa STM32VLDISCOVERY

La herramienta de programación y depuración ST -LINK está integrado en la línea de desarrollo del kit STM32F100. Es posible utilizar el STM32VLDISCOVERY como ST -LINK simplemente el traslado de algunos puentes (jumpers). La fuente de alimentación es proporcionada por un conector USB o una fuente externa de alimentación. Los conectores de 5V y 3V3 se pueden utilizar independientemente como entrada o salida de suministro de potencia. La salida permitirá automatizar la titulación mediante la acción de un motor paso a paso (PAP) sobre una válvula de precisión con aplicación química, con un esquema como el siguiente

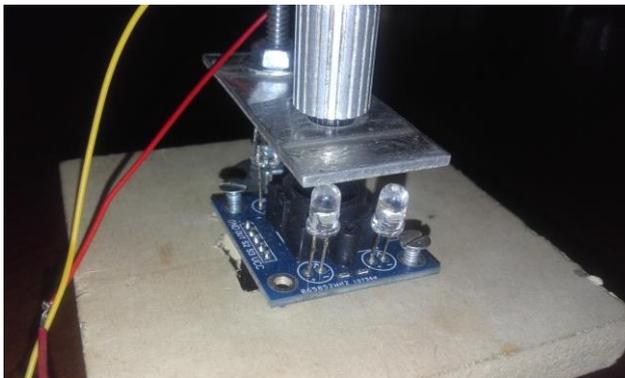
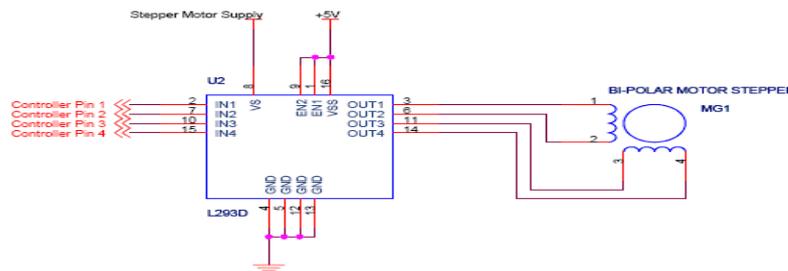


Figura 7 – Montaje de prueba





Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe de avance y final de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	2.1
Vigencia	13/10/2015

Figura 8 – Esquema de control de un motor paso a paso con una placa STM32

Lugar y tiempo de la investigación: La interpretación de la variación podrá permitir automatizar la técnica y estimar el final de la operación analítica. Por lo anteriormente dicho se ha decidido utilizar la placa de control lógico (PLC) desarrollada por el grupo de investigación en la UNLaM durante el período 2015/2016..

Descripción del objeto de estudio: A los efectos de que el producto final sea económico, se propuso trabajar con componentes de probada fiabilidad y versatilidad. Los mismos deberían ser existentes en el mercado y a un costo razonable. Se determinó que el teflón es el material más adecuado para el bastidor, dada su alta resistencia a ácidos y bases, ya que el dispositivo estará dirigido a técnicas de análisis químico en esas condiciones. El dispositivo es un tubo dividido en tres secciones. En la parte central se encuentra una abertura que permite que la solución se interponga entre el haz de luz del emisor y el sensor receptor.



Figura 9 – Bastidor del conjunto sensor

Los extremos del tubo contienen entonces, en forma herméticamente sellada, el láser emisor de luz verde y un sensor de color RGB que actúa como el receptor. Dicho sensor se conecta a un instrumento el cual apreciará la variación de la conducción eléctrica a través del mismo. Para tales propósitos se utilizó un conjunto de componentes físicos (“hardware”) de propósitos industriales desarrollado por el mismo grupo de investigación, capaz de manejar los dispositivos utilizados en esta experiencia.

El hardware desarrollado es capaz de ser programado en un lenguaje de alto nivel, como puede ser C/C++. Es del tipo modular, a fin de poder adaptar en un mismo equipo las necesidades de un problema puntual de automatización, y por último ofrece la calidad de prestaciones compatible con el problema a resolver, a un costo accesible que no genera un elevado precio del producto final.

Herramientas utilizadas para el desarrollo del prototipo:

- Altium Designer v14.3 para el diseño de circuitos impresos,
- Solidworks 2015 para el diseño estructural del dispositivo de medición.

Herramientas de programación y depuración aplicadas:

- STM32CubeMX, una herramienta de configuración de un soporte lógico (“software”) gráfico, que permite generar código de inicialización en lenguaje C utilizando asistentes gráficos.
- uVision de Keil, para la gestión de proyectos, edición de código fuente, la depuración del programa y la simulación completa.

Descripción de la población y muestra: El objeto del sensor es proveer la información necesaria automatizar el proceso de una titulación de soluciones de permanganato de potasio con concentraciones entre 0.1% y 0.3%.



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe de avance y final de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	2.1
Vigencia	13/10/2015

Diseño de la investigación: Se desarrolló una placa de potencia que pudiera manejar una bomba del tipo peristáltica. La misma es la encargada de regular el flujo, regulando el caudal dentro de un rango entre los 0.1 ml/min y 100 ml/min, y una presión de descarga máxima de 1.2 bares. El diseño propuesto reemplaza a un dispositivo comercial cuyo flujo es regulado manualmente por un potenciómetro externo, y cuya precisión es relativamente baja, dependiendo casi exclusivamente de la percepción del usuario. El objetivo del sistema de control es reemplazar dicha operación, mediante el manejo del motor de la bomba a través de un transistor MOSFET, que actúa como interruptor. La técnica utilizada como control, es la modulación por ancho de pulso (en inglés, PWM).

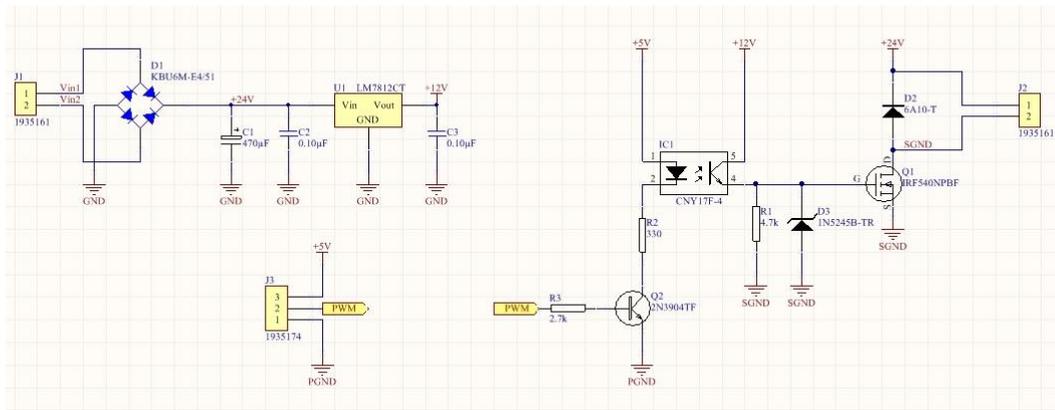


Figura 10 – Esquema de control

Para manejar el hardware se utilizan las salidas del PLC destinadas a tal fin. Dichas salidas fueron vinculadas a través de una interfaz optoacoplada, de tal manera que se pueda garantizar una operación libre de riesgos para el dispositivo de control.

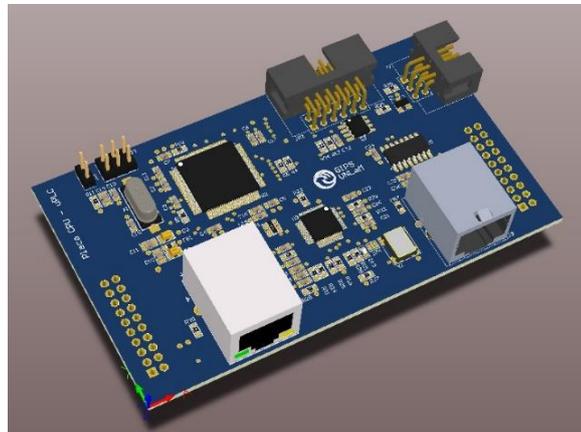


Figura 11 – Placa de control

5. Resultados y Conclusiones

El montaje del receptor cuenta con una interfaz, de entrada y adaptación de señal, hecha en base a amplificadores operacionales, en configuración de transimpedancia debido a su alta velocidad, y su amplio rango dinámico. Este circuito permite convertir la señal del sensor óptico de una corriente, en función de la intensidad lumínica que depende a su vez de la concentración y la absorbancia, a una variación de tensión. La tensión es amplificada e inyectada en un canal de conversión analógico-digital (ADC) del PLC. En base a un algoritmo, y a los valores obtenidos tras la conversión (respecto a una tensión de referencia), es posible determinar el estado de la concentración del analito. Así, por lo tanto, el estado final de la titulación volumétrica.



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe de avance y final de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	2.1
Vigencia	13/10/2015

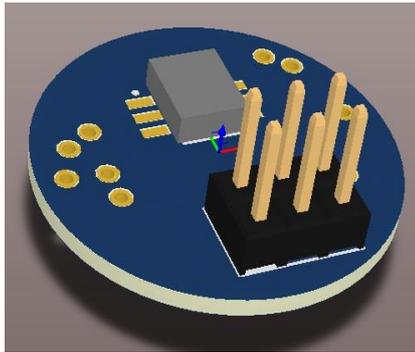
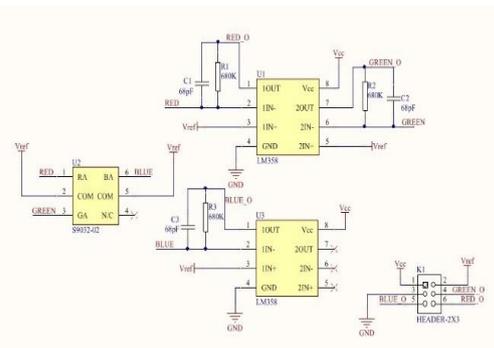


Figura 12 – Montaje de prueba



El emisor está diseñado de manera simple debido a que está principalmente basado en el dispositivo óptico de emisión. Podrá ser usado en aplicaciones que requieran un elevado rendimiento y una alineación óptica/mecánica precisa del eje. Se controla mediante una señal modulada desde el PLC, que se aplica a un transistor bipolar conectado al mismo.

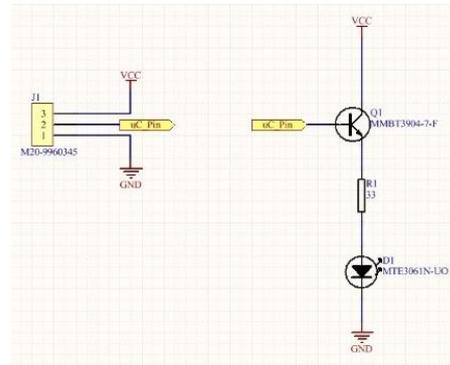
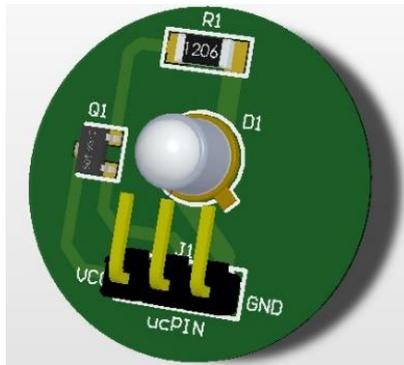


Figura 13 – Montaje del emisor

El software desarrollado recibe la información del sensor óptico, luego de procesarla la presenta en una pantalla LCD. La toma de datos desde el sensor se realiza usando la función color filtro. Esta función toma muestras cada 10ms, filtrando color rojo, verde, azul y la intensidad de la fuente emisora de luz. Puede describirse como la habilitación de la interrupción del temporizador externo TIMER2, que cuenta los pulsos por interrupción (IRQ) generado por el sensor, y del temporizador interno TIMER 6, que cambia de estado para seleccionar la muestra de color. Terminado este cálculo de las frecuencias, se desactivan los temporizadores, finalizando la función y liberando el sistema para continuar con el procesamiento y respuesta del dispositivo. En el caso de esta investigación la fuente emisora es un láser verde, luego se transforma la longitud de onda al rango de escala RGB (0 a 255) que puede ser mostrado mediante una pantalla.

Todos los circuitos, comentados anteriormente, conforman el sistema de medición y control de la titulación volumétrica, que se vinculan al PLC mediante un único conector de tipo IDC (del inglés, insulation-displacement connector) con cable plano.

Evaluación Económica: Las técnicas seleccionadas, aquellas basadas en la coloración del permanganato de potasio (permanganometrías) por su buena absorción en la longitud de onda del verde, fueron las adecuadas para el dispositivo a diseñar y construir; al igual que el resto de los componentes, en lo referente a la parte que corresponde al sensor y el bastidor.

El precio de un producto se compone de costos fijos, costos variables, utilidad y amortización de las instalaciones y equipamiento necesario. Respecto a las amortizaciones, dado que los insumos son importados, no se adquirirían equipos, tercerizando así la construcción del bastidor. De esta manera la mano de obra involucrada



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe de avance y final de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	2.1
Vigencia	13/10/2015

es la del ensamblado de las piezas, para lo que no es necesario la adquisición de máquinas de gran porte. Asimismo los costos de comercialización pueden inicialmente limitarse al mercado de internet y que la folletería sea virtual (archivos PDF). El argumento para esta decisión es evitar las impresiones innecesarias, y la conservación del medio ambiente tal como es la tendencia actual (facturas electrónicas, propaganda electrónica, solicitud de presupuestos, transacciones monetarias, etc...)

El costo calculado con estas condiciones del dispositivo por unidad resultó

Tabla 1. Conformación del costo unitario

Item	Costo Unitario (\$)
Bastidor	1100
Placa Controladora	300
Emisor láser (verde)	120
Sensor de color	450
Componentes (cables, fichas, terminales, etc...)	1500
Mano de obra y gastos administrativos (50%)	1735
Costos de comercialización y folletería (5%)	175
Utilidad – Ganancia (15%)	520
Costo total	\$5900

Los costos analizados corresponden a presupuestos solicitados para armar hasta 5 (cinco) prototipos. La consulta de la compra de componentes en cantidad mayor (1000 unidades) disminuyó los montos en un 15%. Cabe destacar que este porcentaje es un cálculo promedio ya que al tratarse de productos importados existe una gran desviación entre proveedores, además de la intervención de los servicios de entrega, aduana e impuestos locales e internacionales. Hasta tanto no haya una producción formal no es posible establecer fehacientemente un costo final. Sin embargo, y teniendo en cuenta productos internacionales, el costo calculado es significativamente conveniente. El análisis en este sentido se realizó sobre tituladores automáticos. El equipo de investigación pretende desarrollar un equipo como estos y adaptar el dispositivo. En este contexto el costo final ronda los U\$s 500, mientras que uno importado se encuentra en el orden de los U\$s 16.000. Por esta razón es que el resultado de la evaluación económica del dispositivo fue más que satisfactoria, en este caso nos referimos el costo de realizar el dispositivo es menos que el 10% del valor de un titulador que pueda ofrecer una marca dedicada al rubro.

La adquisición del sensor presentó ciertas dificultades, motivadas por la importación, ya que de los contactos con el proveedor surgió la presencia de algunos inconvenientes con el formulario de la Declaración Jurada Anticipada de Importación (DJAI, <http://www.afip.gob.ar/djai/>). Esto implica ciertos retrasos al momento de importar componentes (entre otros) electrónicos ya que no se fabrican en el país y por consiguiente una demora importante que es necesario tener en cuenta a la hora de programar una posible producción en serie.



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe de avance y final de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	2.1
Vigencia	13/10/2015

6. Referencias

- [1] Eduardo Montoya Rossi y otros (2013). "Espectrómetro para radiación visible hecho en casa, de bajo costo y altas prestaciones". Revista de la Sociedad Química del Perú. ISSN 1810-634X
- [2] TAOS Inc. (2007) TSL12T, TSL13T LIGHT-TO-VOLTAGE CONVERTERS
- [3] HAMAMATSU PHOTONICS K.K., Solid State Division. (2014). Si photodiode S9032-02, RGB Color Sensor
- [4] STMicroelectronics NV- (2010-2014). STM32VLDISCOVERY, Discovery kit for STM32F100 Value line
- [5] Mazen Aounallah (2014). "Bipolar Stepper Motor with STM32".
<http://myactivities-mazen.blogspot.com.ar/2014/01/bipolar-stepper-motor-with-stm32.html>



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe de avance y final de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	2.1
Vigencia	13/10/2015

7. Cuerpo de Anexos

Anexo I – Resistencia química de materiales



Pol. Ind. do Tambre, Recinto Mercagalicia - UNINOVA
15890 - Santiago de Compostela
Tel.: 981 936 338 - Fax: 981 936 351
www.cienytech.com
info@cienytech.com

(Continuación)

Abreviatura	Denominación Química	Campo de Temperatura normalmente tolerado.	
		Desde	Hasta
POM	Polioximetileno Polyoxymethylene	-40°C	+90(110)°C
PP	Polipropileno Polypropylene	-10°C	+120(140)°C
PS	Poliestireno Polystyrene	-10°C	+70(80)°C
PTFE	Politetrafluoroetileno Polytetrafluoroethylene	-200°C	+260°C
PVC	Cloruro de polivinilo Polyvinylchloride	-20°C	+80°C
PVDF	Fluoruro de Polivinildieno Polyvinylidenfluoride	-40°C	+105(150)°C
SAN	Estireno-Acrilonitrilo Styrene-Acrylonitrile	-20°C	+85(95)°C
SI	Goma Silicona Silicone Rubber	-50°C	+180(250)°C

La temperatura entre paréntesis representa los límites de resistencia durante breves periodos de tiempo.

Figura 14 – Resistencia química de los materiales para el bastidor.



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe de avance y final de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	2.1
Vigencia	13/10/2015

Anexo II – Presentaciones

Diseño de un sensor óptico sumergible para técnicas volumétricas por color.

Design of a submersible optical sensor for volumetric techniques by color.

Ing. Nicolás Molina Vuistaz⁽¹⁾, Ing. Gustavo Sagarna⁽²⁾

⁽¹⁾ Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas - UNLaM

nicomolina@unlam.edu.ar

⁽²⁾ Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas - UNLaM

Resumen:

El objetivo principal es diseñar un dispositivo óptico sensor sumergible que permita mayor precisión y sensibilidad en técnicas volumétricas de determinación química cuyo punto final depende de la coloración de la solución analizada. Este sensor además de eliminar la subjetividad en la apreciación del operador, podrá ser utilizado en el control automático de las técnicas de análisis que se hayan evaluado. Dado que existen diversas técnicas analíticas que difieren en el medio en que se desarrollan y en el color del punto final, se analizará la posibilidad de diseñar el dispositivo con la capacidad de emitir en diferentes rangos de longitud de onda y resistente a la acción de agentes ácidos y básicos (álcalis), Esto aumentará la versatilidad del sensor desarrollado.



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe de avance y final de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	2.1
Vigencia	13/10/2015

Abstract:

The main objective is to design an optical device submersible sensor that allows greater precision and sensitivity in volumetric techniques of chemical determination whose end point depends on the coloration of the solution analyzed. This sensor, besides eliminating the subjectivity in the operator's appreciation, can be used in the automatic control of the analysis techniques that have been evaluated. Since there are several analytical techniques that differ in the medium in which they are developed and in the color of the end point, the possibility of designing the device with the capacity to emit in different wavelength ranges and resistant to the action of agents Acids and alkalis. This will increase the versatility of the developed sensor.

Palabras Clave: *Dispositivo, sensor, óptico, sumergible, química.*

Key Words: *Device, sensor, optical, submersible, chemical*

I. CONTEXTO

La problemática a investigar surge a partir del conocimiento, por parte del grupo, de las dificultades con las que se encuentran los técnicos de laboratorio para determinar el punto final de una titulación colorimétrica. Este tipo de técnicas son ampliamente usadas por su relativo bajo costo ya que no utilizan equipos tales como colorímetros, espectrofotómetros, polarógrafos, etc. Sin embargo, estas técnicas pierden precisión cuando la cantidad de la sustancia a determinar es pequeña. En estos casos una muy pequeña diferencia, en la apreciación final del color, se traduce en un gran error porcentual del resultado. Al mismo tiempo, no en todas las determinaciones se utilizan los mismos reactivos, por lo que las longitudes de onda de trabajo son variables. Vale decir entonces que el desarrollo de un dispositivo sencillo, económico pero a la vez sensible, tendrá una utilidad apreciable.

II. INTRODUCCION

El espectro visible está compuesto por emisiones cuyas longitudes de onda se encuentran entre los 380 nanómetros (nm) y 750 nm. La fuente de luz inicialmente será mediante diodos, con baja dispersión. Un sensor lumínico es capaz de distinguir la cantidad de energía absorbida, por ejemplo, por una solución que es atravesada por un haz emitido en el mismo rango de longitud de onda al que el sensor es sensible. Esta energía absorbida puede ser interpretada por un instrumento de medición que responderá instruyendo al mecanismo automático de control, substituyendo así la subjetividad del operador. El instrumento deberá ser calibrado según sea su respuesta conductimétrica al color del punto final de la titulación. Un conductímetro no es suficiente para la automatización de la técnica, hace falta además un controlador. El mismo interpreta el valor de entrada (que es la salida del sensor) de la conductividad y envía la orden correspondiente al motor que actúa sobre

la válvula. La interpretación de la información y la respuesta corresponde a la forma en la que opera un PLC Controlador Lógico Programable (Programmable Logic Controller). Estos aparatos funcionan en la industria con entradas de 4 a 20 mA. En el mercado se encuentran desarrollados sensores similares orientados a la medición en aguas de la turbidez, biomasa microbiana, sedimentos, a la detección de chimeneas hidrotermales, etc. También existen sensores de este tipo utilizados para la fluorescencia en clorofila. Estas aplicaciones permiten inferir que la tecnología disponible en cuanto a los emisores y receptores en el rango visible, es adecuada a los requerimientos del proyecto. Lo mismo ocurre con los sistemas de instrumentación y control automático, ya que existen diversas técnicas analíticas que cuentan con control automático. Un método a analizar es la respuesta de una célula fotoeléctrica. En el punto inicial la célula fotoeléctrica está recibiendo el haz de luz (energía) de una fuente que se encontraría a pocos milímetros de distancia, quizás entre 5 y 15 mm. En este punto la célula responde con cierto valor de conductividad que será utilizado como referencia (o "blanco"). Una vez comenzada la determinación el color de la solución cambiará, se "aclará", con ello se altera su absorbancia (disminuye) y en consecuencia aumentará la cantidad de luz (energía) que llegará a la célula. Esto hace que cambie su respuesta, y este cambio puede ser medido. El instrumento básicamente podría ser un conductímetro que indicará mediante una aguja el cambio de posición respecto a la referencia original.

III. METODOS

En este contexto la metodología a seguir es fáctica, exploratoria y los pasos consisten en la selección de técnicas de análisis para la aplicación. Las técnicas seleccionadas fueron aquellas basadas en la coloración del permanganato de potasio

(permanganometrías) por su buena absorción en la longitud de onda del verde [1].

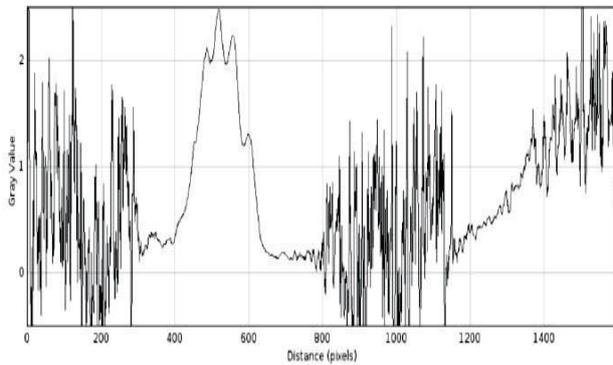


Figura 1 – Espectro de absorción obtenido para una solución diluida de permanganato de potasio

El verde es un color primario y se encuentra en la zona central del espectro visible, entre los 497 y 529 nm



Figura 2 – Espectro de emisión de una lámpara fluorescente compacta

Además las soluciones de permanganato presentan linealidad en la absorbancia según la concentración [1]

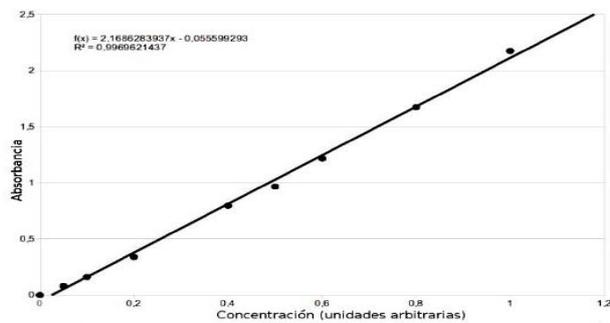


Figura 3 – Curva de absorbancia para soluciones de permanganato de potasio

Por estos motivos se optó por un emisor láser verde standard de 10 mW y se investigaron sensores de color con buena respuesta en ese rango de longitud de onda, como los que se mencionan a continuación:

c) TSL12T, TSL13T Light-to-Voltage Converters [2]

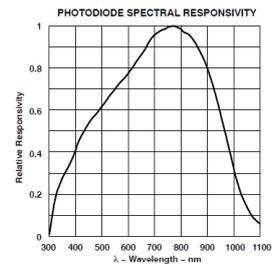


Figura 4 – TSL12T, TSL13T LIGHT-TO-VOLTAGE CONVERTERS

d) Si Photodiode S9032-02, RGB color sensor [3]

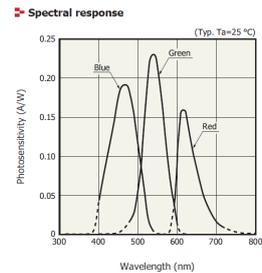


Figura 5 – Si Photodiode S9032-02, RGB color sensor

Dado que se desea obtener un producto versátil, se determinó que el material del bastidor será teflón dada su alta resistencia a ácidos y bases, ya que el dispositivo estará dirigido a técnicas de análisis químico. Del mismo modo se pretende que sea económico, por lo que propusieron componentes de probada fiabilidad, existentes en el mercado y a un costo razonable. Con este objetivo se seleccionó la placa STM32VLDISCOVERY [4] como controladora.



Figura 6 - Placa STM32VLDISCOVERY

IV. OBJETIVOS

A los efectos de que el producto final sea económico, se propuso trabajar con componentes de probada fiabilidad y

versatilidad. Los mismos deberían ser existentes en el mercado y a un costo razonable. Se determinó que el teflón es el material más adecuado para el bastidor, dada su alta resistencia a ácidos y bases, ya que el dispositivo estará dirigido a técnicas de análisis químico en esas condiciones. El dispositivo es un tubo dividido en tres secciones. En la parte central se encuentra una abertura que permite que la solución se interponga entre el haz de luz del emisor y el sensor receptor.



Figura 7 – Bastidor del conjunto sensor

Los extremos del tubo contienen entonces, en forma herméticamente sellada, el láser emisor de luz verde y un sensor de color RGB que actúa como el receptor. Dicho sensor se conecta a un instrumento el cual apreciará la variación de la conducción eléctrica a través del mismo. Para tales propósitos se utilizó un conjunto de componentes físicos (“hardware”) de propósitos industriales desarrollado por el mismo grupo de investigación, capaz de manejar los dispositivos utilizados en esta experiencia. La herramienta de programación y depuración ST -LINK está integrado en la línea de desarrollo del kit STM32F100. Es posible utilizar el STM32VLDISCOVERY como ST -LINK [5] simplemente el traslado de algunos puentes (jumpers). La fuente de alimentación es proporcionada por un conector USB o una fuente externa de alimentación. Los conectores de 5V y 3V3 se pueden utilizar independientemente como entrada o salida de suministro de potencia. La salida permitirá automatizar la titulación mediante la acción de un motor paso a paso (PAP) sobre una

válvula de precisión con aplicación química, con un esquema como el siguiente

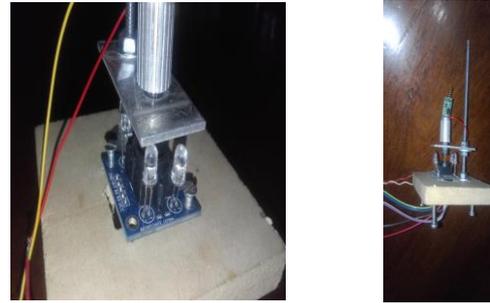


Figura 8 – Montaje de prueba

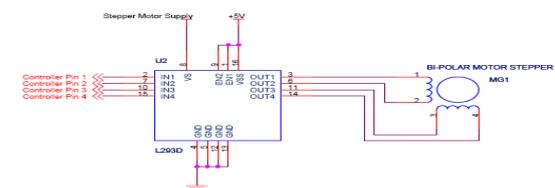


Figura 9 – Esquema de control de un motor paso a paso con una placa STM32

V. DISCUSION

La interpretación de la variación podrá permitir automatizar la técnica y estimar el final de la operación analítica. Por lo anteriormente dicho se ha decidido utilizar la placa de control lógico (PLC) desarrollada por el grupo de investigación de la UNLaM. El hardware desarrollado es capaz de ser programado en un lenguaje de alto nivel, como puede ser C/C++. Es del tipo modular, a fin de poder adaptar en un mismo equipo las necesidades de un problema puntual de automatización, y por último ofrece la calidad de prestaciones compatible con el problema a resolver, a un costo accesible que no genera un elevado precio del producto final.

Las siguientes son las herramientas utilizadas para el desarrollo del prototipo:

- Altium Designer v14.3 para el diseño de circuitos impresos,
- Solidworks 2015 para el diseño estructural del dispositivo de medición.

Mientras que las aplicadas en la de programación y depuración fueron

- STM32CubeMX, una herramienta de configuración de un soporte lógico (“software”) gráfico, que permite generar código de inicialización en lenguaje C utilizando asistentes gráficos.
- uVision de Keil, para la gestión de proyectos, edición de código fuente, la depuración del programa y la simulación completa.

El objeto del sensor es proveer la información necesaria automatizar el proceso de una titulación. Para ello, se desarrolló una placa de potencia que pudiera manejar una bomba del tipo peristáltica. La misma es la encargada de regular el flujo, regulando el caudal dentro de un rango entre los 0.1 ml/min y 100 ml/min, y una presión de descarga máxima de 1.2 bares. El diseño propuesto reemplaza a un dispositivo comercial cuyo flujo es regulado manualmente por un potenciómetro externo, y cuya precisión es relativamente baja, dependiendo casi exclusivamente de la percepción del usuario. El objetivo del sistema de control es reemplazar dicha operación, mediante el manejo del motor de la bomba a través de un transistor MOSFET, que actúa como interruptor. La técnica utilizada como control, es la modulación por ancho de pulso (en inglés, PWM).

Para manejar el hardware se utilizan las salidas del PLC destinadas a tal fin. Dichas salidas fueron vinculadas a través de una interfaz optoacoplada, de tal manera que se pueda garantizar una operación libre de riesgos para el dispositivo de control.

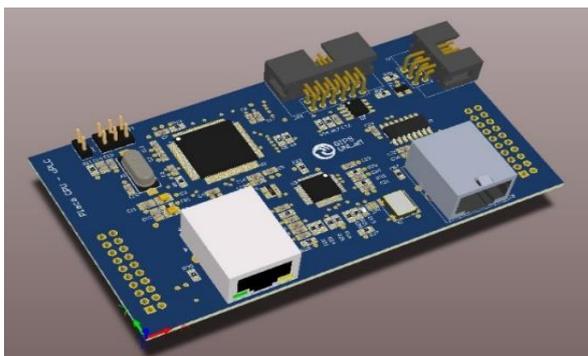


Figura 11 – Placa de control

VI. RESULTADOS y CONCLUSIONES

El montaje del receptor cuenta con una interfaz, de entrada y adaptación de señal, hecha en base a amplificadores operacionales, en configuración de transimpedancia debido a su alta velocidad, y su amplio rango dinámico. Este circuito permite convertir la señal del sensor óptico de una corriente, en función de la intensidad lumínica que depende a su vez de la concentración y la absorbancia, a una variación de tensión. La tensión es amplificada e inyectada en un canal de conversión analógico-digital (ADC) del PLC. En base a un algoritmo, y a los valores obtenidos tras la conversión (respecto a una tensión de referencia), es posible determinar el estado de la concentración del analito. Así, por lo tanto, el estado final de la titulación volumétrica.

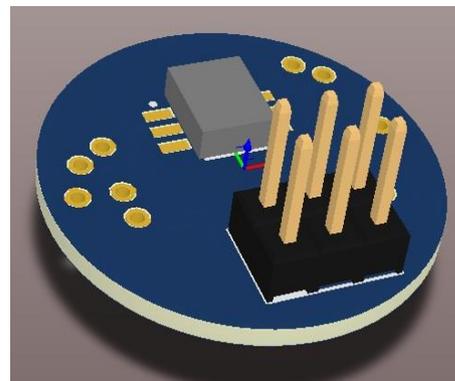


Figura 12 – Montaje de prueba

El emisor está diseñado de manera simple debido a que está principalmente basado en el dispositivo óptico de emisión. Podrá ser usado en aplicaciones que requieran un elevado rendimiento y una alineación óptica/mecánica precisa del eje. Se controla mediante una señal modulada desde el PLC, que se aplica a un transistor bipolar conectado al mismo.

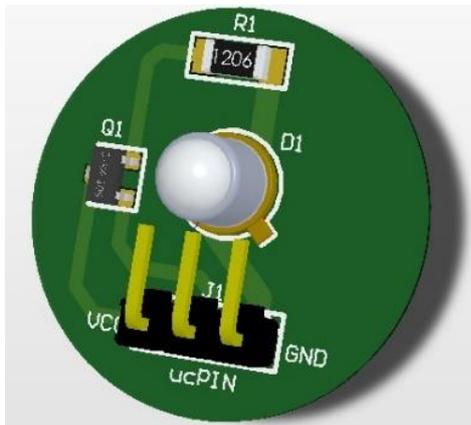


Figura 13 – Montaje del emisor

El software desarrollado recibe la información del sensor óptico, luego de procesarla la presenta en una pantalla LCD. La toma de datos desde el sensor se realiza usando la función color filtro. Esta función toma muestras cada 10ms, filtrando color rojo, verde, azul y la intensidad de la fuente emisora de luz. Puede describirse como la habilitación de la interrupción del temporizador externo TIMER2, que cuenta los pulsos por interrupción (IRQ) generado por el sensor, y del temporizador interno TIMER 6, que cambia de estado para seleccionar la muestra de color. Terminado este cálculo de las frecuencias, se desactivan los temporizadores, finalizando la función y liberando el sistema para continuar con el procesamiento y respuesta del dispositivo. En el caso de esta investigación la fuente emisora es un láser verde, luego se transforma la longitud de onda al rango de escala RGB (0 a 255) que puede ser mostrado mediante una pantalla.

Todos los circuitos, comentados anteriormente, conforman el sistema de medición y control de la titulación volumétrica, que se vinculan al PLC mediante un único conector de tipo IDC (del inglés, insulation-displacement connector) con cable plano.

VII. BIBLIOGRAFIA

[6] Eduardo Montoya Rossi y otros. "Espectrómetro para radiación visible hecho en casa, de bajo costo y altas prestaciones". Revista de la Sociedad Química del Perú. 2013.
ISSN 1810-634X

[7] TAOS Inc. TSL12T, TSL13T LIGHT-TO-VOLTAGE CONVERTERS. 2007.

[8] HAMAMATSU PHOTONICS K.K., Solid State Division. Si photodiode S9032-02, RGB Color Sensor. 2014.

[9] STMicroelectronics NV.. STM32VLDISCOVERY, Discovery kit for STM32F100 Value line. 2014

[10] Mazen Aounallah. "Bipolar Stepper Motor with STM32". 2014.

<http://myactivities-mazen.blogspot.com.ar/2014/01/bipolar-stepper-motor-with-stm32.htm>

Anexo III – Nota de Alta Patrimonial

Sr. Secretario Administrativo
Unidad Académica
S/D

Por medio de la presente informo que los siguientes bienes han sido adquiridos con el presupuesto asignado al proyecto: Diseño de un sensor óptico sumergible para técnicas volumétricas por color.

Código : C2-ING-027

Acreditado en el Programa PROINCE.../ CyTMA2 X, en ejecución desde: 01 / 01 / 2015 y hasta: 31 / 12 / 2016.

Detalle de bienes a incorporar al patrimonio de la Unidad Académica una vez finalizado el proyector según consta en el FPI-015: Planilla de rendición de gastos y administración de fondos que acompaña al presente Informe de Avance:... Final: X

Nº de Orden	Folio Nº	Fecha	Proveedor o Prestador	Nº de Comprobante	Nº de CUIT	Descripción/ Concepto
		30/11/2016	ELECTROCOMPONENTES S.A.	B 0007-00004082	30-58260502-1	Multímetro

Asimismo, durante el período de ejecución del proyecto, los bienes antes detallados se encuentran bajo mi responsabilidad, en cuanto a su guarda y preservación.

Lugar y fecha: San Justo, 01 de febrero de 2017

.....
...
Firma del Director del Proyecto

Mg. Fauroux, Luis E.
Aclaración de firma

Anexo IV – Rendición de Gastos

Unidad Académica que acredita el proyecto: Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas
Código de Proyecto: C2-ING-027
Título del Proyecto: Diseño de un sensor óptico sumergible para técnicas volumétricas por color.
Director: Fauroux, Luis Enrique
Fecha de inicio: 01/01/2015
Fecha de finalización: 31/12/2016
Periodo de la rendición: Julio 2016 – Diciembre 2016

1.- Insumos							
Nº de Orden	Folio Nº	Fecha	Proveedor o Prestador	Nº de Comprobante	Nº de CUIT	Descripción/ Concepto	Importe
		26/08/2016	PRODUFLON SRL	B 0003-00000006	30-64066459-9	Tapas roscadas en teflón	\$ 500,00
		26/08/2016	PRODUFLON SRL	B 0003-00000007	30-64066459-9	Tube de teflón mecanizado	\$ 600,00
		15/10/2015	PatagoniaTec Electronica	B 0002-00001152	20-31704385-7	RGB Color Sensor S9032-02	\$ 450,00
		28/09/2016	Digi-Key Electronics	54814655	Origen: USA	Placas y componentes	\$ 5.578,86
		13/10/2016	ELECTROCOMPONENTES S.A.	B 0007-00003457	30-58260502-1	Componentes varios	\$ 104,28
		26/10/2016	Electrónica Liniers S.R.L.	B 0006-00005914	30-59801821-5	Componentes varios	\$ 141,60
		10/11/2016	Electrónica Liniers S.R.L.	B 0006-00006329	30-59801821-5	Componentes varios	\$ 173,30
		29/11/2016	ARISTOBULO Gomez Ruperez	B 0003-00006666	30-60284606-3	Alnico	\$ 79,00
		30/11/2016	ELECTROCOMPONENTES S.A.	B 0007-00004080	30-58260502-1	Componentes varios	\$ 169,37
		12/12/2016	MUTEX Ingeniería	C 0002-00000002	20-35533884-4	Desarrollo SCH TX	\$ 877,92
		12/12/2016	MUTEX Ingeniería	C 0002-00000003	20-35533884-4	Desarrollo PCB TX	\$ 960,00
		12/12/2016	MUTEX Ingeniería	C 0002-00000004	20-35533884-4	Desarrollo SCH RX	\$ 860,00
		12/12/2016	MUTEX Ingeniería	C 0002-00000005	20-35533884-4	Desarrollo PCB RX	\$ 880,00
Total							\$ 11.374,33

2.- Equipamiento							
Nº de Orden	Folio Nº	Fecha	Proveedor o Prestador	Nº de Comprobante	Nº de CUIT	Descripción/ Concepto	Importe
		30/11/2016	ELECTROCOMPONENTES S.A.	B 0007-00004082	30-58260502-1	Multímetro	\$ 1.290,00
Total							\$ 1.290,00

3.- Contratación de Servicios Técnicos Especializados

Nº de Orden	Folio Nº	Fecha	Proveedor o Prestador	Nº de Comprobante	Nº de CUIT	Descripción/ Concepto	Importe
Total							

4.- Viáticos

Nº de Orden	Folio Nº	Fecha	Proveedor o Prestador	Nº de Comprobante	Nº de CUIT	Descripción/ Concepto	Importe
Total							

5.- Bibliografía

Nº de Orden	Folio Nº	Fecha	Proveedor o Prestador	Nº de Comprobante	Nº de CUIT	Descripción/ Concepto	Importe
Total							

Lugar y fecha: San Justo, 30 de diciembre de 2016

.....
Firma del Director de Proyecto

Mg. Fauroux, Luis Enrique
Aclaración

17.617.946
DNI