



Análisis de técnicas de iluminación LED para aplicación en fotometría

Knuttzen, Rosana G.; Balducci, Fernando D.; Hirigoyen, German M.; Ramirez, Carlos R.

AUTORES: Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Entre Ríos, (3100) Oro Verde, Entre Ríos, Argentina.

CONTACTO: rknuttzen@ingenieria.uner.edu.ar

Resumen

Las técnicas de espectroscopia por absorción molecular en las regiones ultravioleta y visible del espectro se usan ampliamente en la medición cualitativa y cuantitativa de una gran cantidad de especies orgánicas, inorgánicas y biológicas.

Los fotómetros constituyen una herramienta sencilla y económica para medir absorción molecular, siendo los fotómetros de filtros, a menudo, más convenientes, fáciles de mantener y de utilizar, disponiendo de elevado rendimiento energético y buena relación señal-ruido; lo cual los hace aplicables en ensayos realizados en campo o en laboratorios.

En este informe se presenta el resultado del análisis del comportamiento de los LEDs como fuente de iluminación en reemplazo del esquema tradicional fotométrico lámpara filtro de interferencia, así como también, el desarrollo del prototipo de un instrumento utilizando componentes LED como fuente de radiación y selector de longitud de onda, un AFE ("analog front end") como dispositivo para acondicionamiento de la señal de salida del detector y una interface diseñada en Raspberry Pi para interactuar con el usuario.

Palabras Clave: Fotometría, diodos emisores de luz, caracterización de LED

Estructura

Objetivos propuestos

Generales

Estudiar el desempeño de LEDs comerciales para que sean utilizados en mediciones fotométricas de diversos compuestos para diagnóstico clínico.

Específicos

1. Caracterizar LEDs comerciales con distinto tipo de encapsulado a longitudes de onda típicas utilizadas en laboratorio de análisis clínicos.
2. Verificar las variaciones reportadas en la longitud de onda de emisión entre LEDs del mismo tipo y evaluar si estas variaciones influyen efectivamente en la medición de la absorbancia, en condiciones de laboratorio, para un compuesto químico dado.
3. Realizar mediciones comparativas utilizando soluciones de referencia para control fotométrico y soluciones bioquímicas reales.
4. Determinar las condiciones en las que pueden utilizarse LEDs comerciales para mediciones fotométricas.
5. Proponer el diseño de un instrumento para mediciones fotométricas de bajo costo que contemple las condiciones anteriores.

Marco teórico y metodológico

I. Introducción teórica

La espectroscopia por absorción molecular en las regiones ultravioleta y visible es un método de medición difundido ampliamente debido a sus características más importantes, a saber:

- Gran aplicabilidad tanto para sistemas inorgánicos, orgánicos y biológicos; en laboratorios clínicos, químicos, de medio ambiente, forenses, etc.
- Límites de detección de 10^{-4} a 10^{-5} M
- Selectividad de moderada a alta
- Buena exactitud. En general se encuentran incertidumbres relativas de 1 a 3 %, aunque utilizando procedimientos especiales, los errores se pueden reducir a algunas décimas de porcentaje
- Adquisición de datos de manera fácil y adecuada

La ley fundamental en la que se basan los métodos espectrométricos es la de Lambert y Beer, que establece:

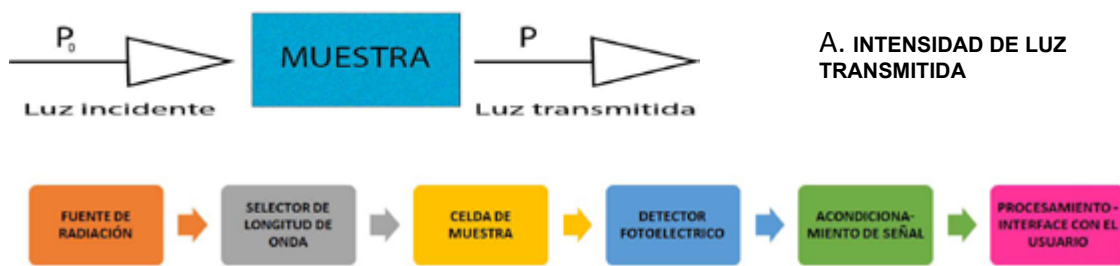
a) La relación entre la intensidad de la luz transmitida o energía radiante P y la energía radiante incidente P_0 es una función del espesor de la celda b a través del medio absorbente, de acuerdo con:

$$A = -\log T = \epsilon bc \quad A = -\log T = \epsilon bc, \text{ donde } T = \frac{P}{P_0} \quad T = \frac{P}{P_0}$$

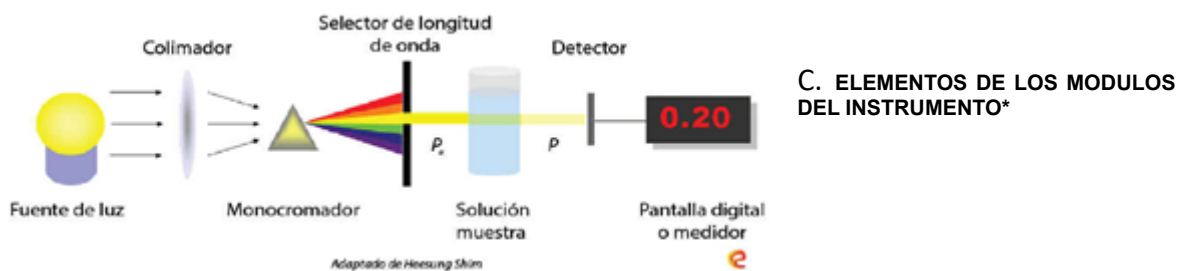
Siendo: A : Absorbancia, T : Transmitancia, ϵ : absortividad molar, b : espesor de la celda, c : concentración del analito;

b) La cantidad de energía electromagnética monocromática absorbida por un elemento es directamente proporcional a la concentración de la(s) especie(s) que la absorbe(n) y a la longitud de la trayectoria de la muestra para un conjunto de condiciones instrumentales establecidas.

Los instrumentos diseñados para medir absorbancia o transmitancia, en la región del espectro ultravioleta, visible y en el infrarrojo cercano están compuestos, generalmente, por los siguientes componentes: fuente de radiación, selector de longitud de onda, recipientes para la muestra, detector transductor de radiación y circuitos procesadores de la señal con dispositivos de lectura. FIGURA i.1



B. MÓDULOS COMPONENTES DE UN INSTRUMENTO PARA MEDICIONES FOTOMÉTRICAS



(*) El selector de longitud de onda puede estar compuesto por un monocromador como se muestra en la imagen, o por uno o más filtros de interferencia.

FIGURA I.1. INSTRUMENTO PARA ESPECTROMETRÍA. Imágenes extraídas de <https://elespectrofotometro.com/espectrofotometria-uv-visible/>

Decenas de compañías fabrican instrumentos para medir la absorción molecular en las regiones ultravioleta, visible e infrarroja cercana. Algunos son sencillos, otros son equipos complejos microcontrolados, capaces de realizar barridos espectrales además de otras prestaciones.

Respecto a la fuente de radiación (objeto de estudio en este proyecto) cuando se trata de mediciones de absorción molecular es necesario disponer de una fuente continua cuya potencia radiante no cambie en forma brusca en un intervalo considerable de tiempo. Habitualmente, en la práctica, se utilizan lámparas de deuterio e hidrógeno a baja presión que producen un espectro continuo en la región ultravioleta (190-400nm) del espectro electromagnético y lámparas de filamento de tungsteno para la región visible y de infrarrojo cercano (350nm a 2500nm).

En la región visible, la energía de la señal de salida de una lámpara de tungsteno varía aproximadamente con la cuarta potencia del voltaje de operación. Como consecuencia, se requiere un regulador electrónico de voltaje para conseguir una fuente de radiación estable. Las lámparas de tungsteno/halógeno, actualmente las más utilizadas en el equipamiento comercial, suministran gran intensidad, poseen un tiempo de vida útil mayor y amplían el intervalo de emisión hasta la región dentro del ultravioleta debido a las propiedades de los materiales que la componen.

En la actualidad una alternativa a las lámparas de tungsteno/halógeno son los diodos emisores de luz (LED), que se utilizan como fuentes de radiación, pero en escasos espectrómetros de absorción.

Un diodo emisor de luz (LED, por sus siglas en inglés) es un dispositivo semiconductor de unión pn que cuando tiene polarización directa produce energía radiante. En general, son más comunes los diodos fabricados en arseniuro de aluminio y galio (AlGaAs) ($\lambda_m = 900$ nm) (rojo e infrarrojo), fosfuro de arsénico y galio (GaAsP) ($\lambda_m = 650$ nm) (rojo naranja y amarillo), fosfuro de galio (GaP) ($\lambda_m = 550$ nm) (verde), nitruro de galio (GaN) ($\lambda_m = 465$ nm) (verde), y nitruro de galio e indio (InGaN) ($\lambda_m = 450$ nm) (azul). Estos diodos producen espectros continuos de emisión en un intervalo angosto de longitud de onda, siendo por lo general, a la mitad del máximo de entre 20 y 50 nm.

El objetivo planteado por el grupo de trabajo en este proyecto fue evaluar el desempeño de los componentes LED disponibles en el mercado local con el objeto de incorporarlos a modo de reemplazo de los módulos fuente de radiación (lámpara tungsteno/halógeno) y selector de longitud de onda (filtros de interferencia) en los fotómetros y realizar mediciones para evaluar su desempeño utilizando para ello, material de referencia certificado y muestras biológicas. Proponiendo, además, un instrumento prototipo para dichas mediciones.

II. Descripción de los LEDs

Los parámetros geométricos y eléctricos descriptos en las hojas de datos de los fabricantes de diodos emisores de luz, a menudo, se determinan a través de métodos no estandarizados, debido a que existen, aún, variaciones significativas de las técnicas de medición y de las desviaciones permitidas de los valores determinados entre diferentes conjuntos de pruebas.

Para la caracterización de los LEDs estudiados en este proyecto se consideraron las técnicas estándar para mediciones de radiación óptica desarrolladas por la Comisión Internacional de la Iluminación (CIE, *International Commission on Illumination*), donde en el estándar CIE Nro.: 127:2007, establece pautas técnicas para medir la intensidad luminosa de los LEDs y, además, incorpora especificaciones para la medición del flujo luminoso e intensidad de color. Las pautas adoptadas se detallan en el ítem dedicado a la descripción del “*set up*” diseñado para la prueba de estos componentes.

En cuanto a los LEDs evaluados en este proyecto, en un principio se analizó la disponibilidad en el mercado local, y luego se seleccionaron para la compra, LEDs de alta luminosidad en encapsulado epoxi de 5mm cubriendo un rango del espectro visible entre los 465 nm y los 625 nm. Cabe destacar que se decidió utilizar LEDs de las calidades disponibles en comercio de venta minorista de electrónica regionales.

A posteriori de su adquisición, los LEDs se identificaron por lote de color del 1 al 10 con el objeto de ser estudiados y evaluados de manera particular. Se trabajó con cinco lotes (ROJO, AMBAR, VERDE, CYAN, AZUL) con 10 LED por cada lote, totalizando un estudio de 50 componentes LED en las regiones espectrales antes mencionadas.

III. Acerca del espectrómetro

Con el objeto de evaluar el desempeño de los LEDs como fuentes de radiación óptica, se adquirió un espectrómetro de alta resolución, Marca: *RGB Lasersystems*, Modelo: *Q-Mini*, lo cual permitió al grupo conocer, analizar y evaluar el espectro de emisión de cada uno de los 50 LEDs que formaron parte del estudio de este proyecto.

A continuación, se describe el espectrómetro adquirido, en tanto que el análisis de los espectros de emisión se presenta en el apartado correspondiente de la sección j) Resultados.

En la FIGURA i.2 se muestran las especificaciones técnicas del instrumento extraídas del Manual de Usuario.

Optical	
Focal length:	50 mm
Numerical Aperture:	0.10
Grating:	600 lines/mm
Entrance slit:	20 μ m
Spectral resolution (FWHM):	0.8 nm
Stray light:	< 0.3 %
Optical interface:	SMA connector
Electronic	
Dynamic range:	500 : 1 (full scale, $t_{exp} = 1$ s)
Detector:	2500 pixel linear CCD detector
A/D converter:	16 bit 15 MHz
Calibration:	Wavelength, sensitivity and multiple dark spectra stored within device
Transfer speed to PC:	70 ms per spectrum
Digital interface:	USB 2.0
Extension port:	4 General purpose I/O channels Configurable as trigger input Digital interface for accessories
Power supply:	5 V DC via USB (no power adapter required)
Power consumption:	typical 180 mA, maximum: 500 mA (with accessory)
PC operating system:	Windows 8, 7, Vista, XP
Mechanical	
Dimensions:	62.0 × 42.0 × 14.8 mm
Weight:	57.5 g
Operating temperature:	-15°C to 60°C (non-condensing)
Storage temperature:	-25°C to 70°C



FIGURA I.2: Imagen y especificaciones técnicas del Q-Mini

El Q-Mini es controlado y operado por un software de espectroscopia, llamado “Waves”, que incluye algoritmos para la adquisición y evaluación de datos y, además, proporciona estas características a través de una interfaz clara y directa. Su diseño compacto permite una integración estrecha en aplicaciones donde el espacio es limitado, como los dispositivos de análisis portátiles.

IV. Descripción del “Set up de prueba” y del prototipo diseñado¹

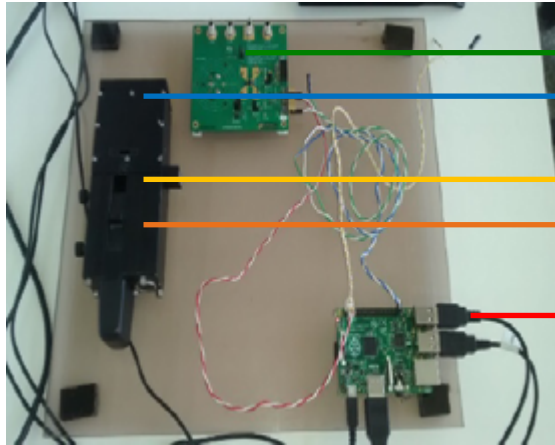
Dado que, además de evaluar el desempeño de los LEDs para mediciones fotométricas, se planteó como objetivo de este proyecto, proponer un prototipo para análisis de bajo costo y el diseño de un “set up de prueba” para los LEDs; se desarrolló un diseño que proponía la utilización de dispositivos ya disponibles en la Asignatura que habían sido estudiados en PID anteriores² pero en esta oportunidad, en una aplicación novedosa para el tipo de dispositivo, diferente a las desarrolladas anteriormente.

1. El desarrollo del set up y del prototipo presentado fue realizado conjuntamente por el equipo de trabajo y la alumna Ayelen Muñoz, becaria del proyecto, obteniendo con él, su tesis de graduación como Bioingeniera.

2. UNER - PID Novel 6115: “Desarrollo y construcción de un potencióstato digital de alta resolución para investigación en el área de biosensores y sensores planos”. (2012)



A. ESQUEMA DE MÓDULOS COMPONENTES DE UN INSTRUMENTO PARA MEDICIONES FOTOMÉTRICAS



- E: ACONDICIONAMIENTO DE LA SEÑAL: AFE LMP 91000 - CONVERSOR ADS1115
- D: DETECTOR FOTOELÉCTRICO: FOTODIODO DE SILICIO: LASER COMPONENTS, PDB C107
- C: CELDA DE MUESTRA: CUBETAS FOTOMÉTRICAS
- A – B: LEDs
- F: PROCESAMIENTO – INTERFACE CON EL USUARIO: RASBERRY PI

“Set up de Prueba” B. PROTOTIPO DESARROLLADO

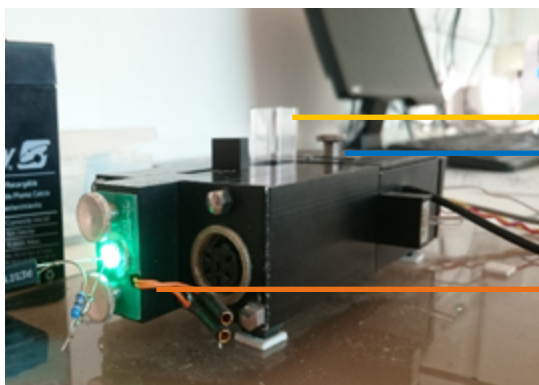
FIGURA I.3. Prototipo diseñado para prueba

A continuación, se describen las características de diseño de cada uno de los módulos. Para su mayor comprensión, el “set up de prueba” es el módulo para montaje de los LEDs, que incluye además el espacio para la celda (indicado en la FIGURA I.3-B); en tanto que, el *prototipo diseñado* incluye además los módulos para acondicionamiento e interfaz con el usuario.

A – B – C – D: LEDs – Celda de muestra – Detector: “Set up de prueba”

- Para este módulo se utilizó un soporte mecánico de lectura de un analizador automático de flujo continuo fuera de uso, ya que disponía de las dimensiones óptimas para las mediciones de prueba que se pretendían realizar.

En la FIGURA I.4 se muestra este módulo y sus consideraciones.



MODULO VISTA LATERAL

- C: CELDA FOTOMÉTRICA
- D: DETECTOR FOTOELÉCTRICO
- A-B: LEDs

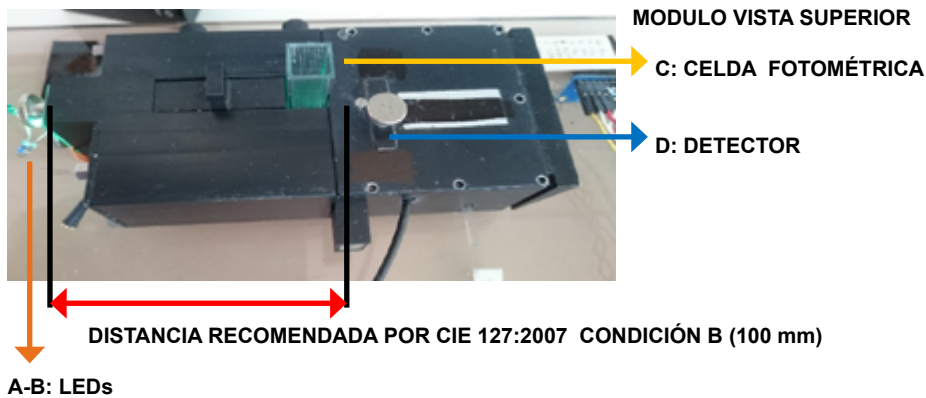


FIGURA I.4: COMPONENTES DEL “set up de prueba”: LEDs – CELDA FOTOMÉTRICA - DETECTOR

- Como se mencionó anteriormente, el sector de montaje de los componentes LEDs, en sus dimensiones geométricas responde a las definiciones técnicas enunciadas por la norma CIE Nro.: 127:2007. Dado que la intensidad luminosa depende de la distancia y de la apertura fotométrica, resulta necesario definir una distancia desde el LED al detector fotoeléctrico para ser considerada como fuente puntual con el objeto de validar las mediciones realizadas. Para este caso particular se asume como condición de trabajo la “Condición B” definida en dicha normativa como distancia entre el LED y el detector de 10 cm, con una superficie de ventana del detector de 1 cm². FIGURA i.5. La intensidad medida es la intensidad luminosa relativa ILED B.

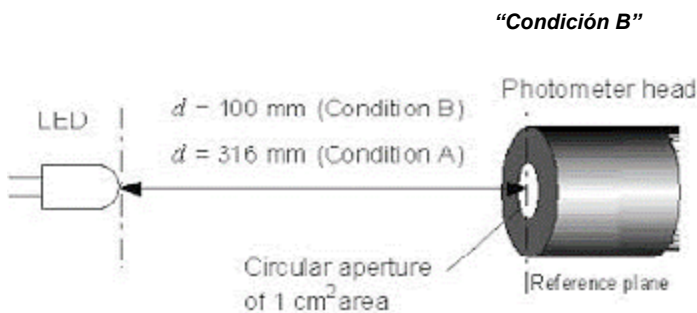


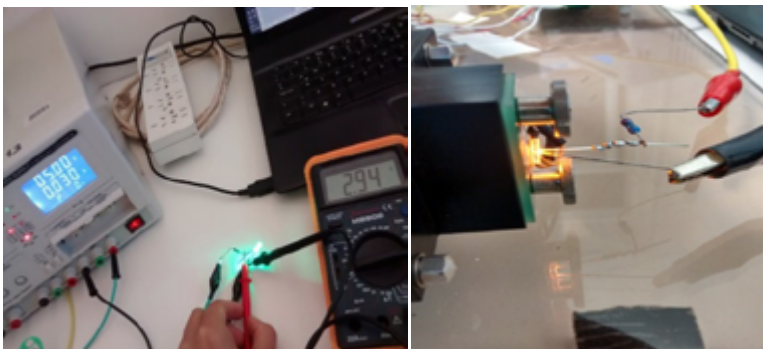
FIGURA I.5: Definiciones De Cie Nro.: 127:2007

Imagen extraída de <http://www.ledsmagazine.com/articles/2004/11/standardization-of-led-measurements.html>

Los componentes LEDs fueron alimentados con una fuente de laboratorio. Se fijó una tensión de 5 V y se adoptó como criterio de evaluación alimentar los LEDs hasta obtener una corriente de 20 mA que es la corriente de trabajo óptima de los diodos, según consta en las especificaciones de las hojas de datos de los fabricantes. FIGURA i.6



A- CONDICIONES DE TRABAJO



B- PARÁMETROS ELÉCTRICOS

FIGURA I.6: Configuración de los LEDS para las pruebas

- En cuanto a la celda de muestra, se utilizaron celdas fotométricas fabricadas en poliestireno óptico, de 10 mm de paso de luz y capacidad 4,5 ml, aptas para un rango espectral de 340 a 800 nm.

- El detector fotoeléctrico seleccionado para incorporar en el “set up” fue un fotodiodo, dadas sus características de versatilidad y respuesta rápida. El componente seleccionado es un fotodiodo de *Laser Components*, el *PDB-C107*, que ya había sido utilizado por la Asignatura en proyectos anteriores y probado en lecturas fotométricas de muestras biológicas para test de Elisa. En la FIGURA i.7 se muestran algunas de sus características.

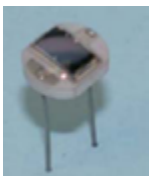


FIGURA I.7. DETECTOR FOTOELÉCTRICO “PDB-C107”. Izquierda: imagen del componente.

Abajo: Algunas características.

Extraído de <http://pdf1.alldatasheet.es/datasheet-pdf/view/193465/ETC2/PDB-C107.html>

FEATURES

- Low noise
- Blue enhanced
- High shunt resistance
- High response

DESCRIPTION

The PDB-C107 is a blue enhanced PIN silicon photodiode in a photoconductive mode, packaged in a ceramic package.

APPLICATIONS

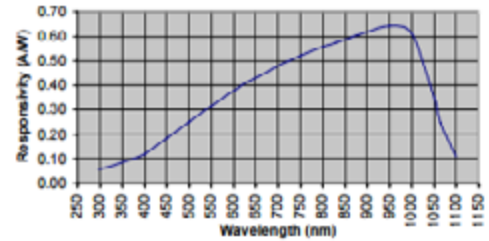
- Instrumentation
- Industrial
- Medical

ABSOLUTE MAXIMUM RATING (TA)= 23°C UNLESS OTHERWISE NOTED

SYMBOL	PARAMETER	MIN	MAX	UNITS
V _{BR}	Reverse Voltage		75	V
T _{STG}	Storage Temperature	-40	+100	°C
T _O	Operating Temperature	-40	+100	°C
T _S	Soldering Temperature*		+240	°C

* 1/16 inch from case for 3 seconds max.

SPECTRAL RESPONSE



E - F: Acondicionamiento y procesamiento de la señal: AFE LMP 91000 - Conversor ADS1115 - RASBERRY PI

Para el acondicionamiento y procesamiento de la señal de salida del detector fotoeléctrico se trabajó juntamente con tres dispositivos: AFE LMP 91000 - CONVERTOR ADS1115 - RASBERRY PI, según se describe a continuación.

- Se incorpora al diseño un AFE "analog front-end", el LMP 91000 de Texas Instruments, configurado en modo amperométrico, el cual convierte y amplifica la corriente de salida del fotodiodo a tensión, a través de la configuración de un amplificador de transimpedancia. El AFE LMP 91000 se utilizó montado sobre una placa de evaluación provista con este integrado denominada Texas Instruments LMP 91000 SDEVAL. FIGURA i.8.

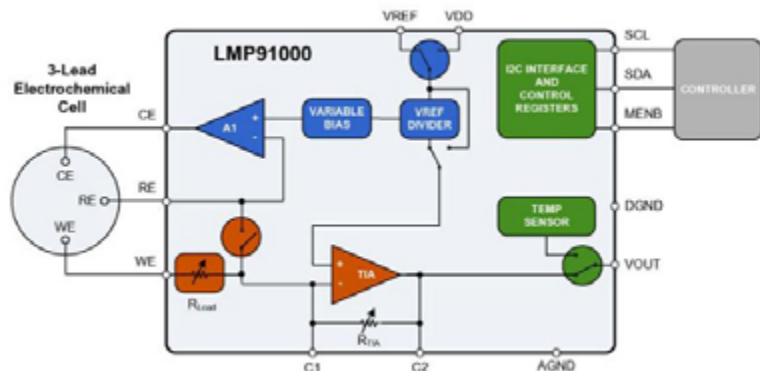


FIGURA i.8. AFE LMP 91000. Izquierda: Placa SDEVAL. Derecha: Esquema de componentes.

Si bien, el AFE LMP91000 es un circuito programable de bajo consumo, aplicado principalmente en el área electroquímica, para este proyecto, el dispositivo se programó en modo celda galvánica de 2 electrodos en configuración potencióstato y se conectó el fotodiodo directamente a los dos electrodos libres del AFE (WE como positivo y RE como negativo) dando como resultado una aplicación innovadora de este dispositivo, ya que no se encontró en la bibliografía consultada, configuraciones del tipo potencióstato que se apliquen a mediciones en fotometría.

Se procedió a realizar la conexión física entre la Raspberry Pi y el AFE LMP 91000 mediante protocolo I²C. A través de este protocolo se puede acceder a los registros del AFE para su configuración, esto es, el modo de uso y la determinación de ganancia.

Los registros de configuración que fueron programados son:

LOCK: 0x00 – MODECN: 0x03 – TIACN: 0x1C – REFCN: 0x00

La placa de evaluación del *LMP 91000*, también se configuró de la siguiente manera:

JUMPER: J_SENSOR_CFG: 4-6 shorted, 1-3 shorted - J_RLOAD_O2: open - J_CE_RE_GND: open

Además, se realizó un script en *Python* y se utilizaron las funciones *I²C SMBus* para *Python* en la configuración del *AFE*.

Teniendo como referencia el código utilizado para el conversor, se decidió realizar un script en *Python* utilizando las funciones *I²C SMBus*. Aun así, se probó la primera opción para comprobar que los registros fueran correctamente configurados.

- La elección del conversor se concretó teniendo en cuenta, las especificaciones tanto del *AFE LMP 91000*, como de la *Raspberry Pi* y las características de la señal analógica que el conversor recibía. Dentro del mercado existe una infinidad de conversores AD que brindan características similares. Para este proyecto se decidió realizar la búsqueda en base a los siguientes parámetros: resolución: conversor de 16 Bits, cantidad de canales: más de 2 e Interfaz comunicación: *I²C*

Se seleccionó el conversor analógico digital *ADS1115*, dadas las ventajas asociadas a su costo y a la eficiencia energética que ofrece.

La conexión entre la *Raspberry Pi* con el conversor *ADS 1115*, utilizando interfaz *I²C* se observa en la FIGURA i.9. y se realiza a través de las *GPIOs* (General Purpose Input/Output).

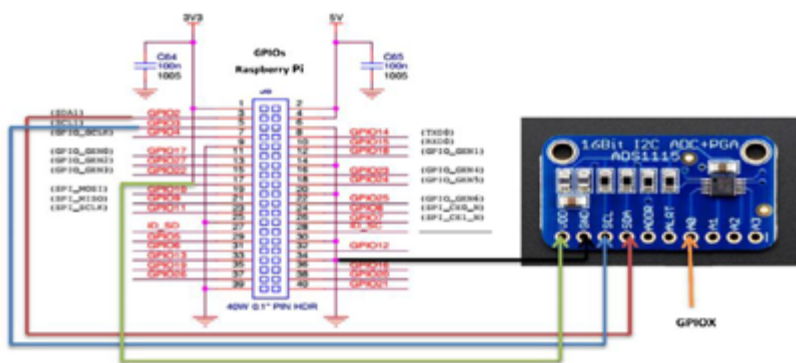


FIGURA i.9. CONFIGURACIÓN *I²C* DEL CONVERTOR Y LA RASBERRY PI

Luego de comprobada la comunicación, se procedió a realizar la adquisición por parte del conversor. Utilizando los códigos que se encuentran en el repositorio de *GitHub*, se corrieron en *Python*, los necesarios para la adquisición de un valor. Tras corregir algunos errores surgidos, y revisar parámetros, se obtuvieron valores aleatorios con lo cual se confirmó que el código estaba listo para ser usado.

En lo referido a la configuración del procesamiento e interface de visualización con el usuario, se instaló en la *Raspberry Pi*, el sistema operativo *Raspian* dado que dispone de todas las herramientas de desarrollo necesarias para esta etapa del proyecto. El mismo se montó como imagen en una tarjeta *SD* incorporada en la *Raspberry Pi*. Posteriormente se instaló la versión *Python 2.7* para desarrollar las aplicaciones de interface con el usuario.

La comunicación entre la *Raspberry Pi* y el conversor *ADS1115*, se realizó a través de la página de *Adafruit*, desde donde se descargaron los procedimientos a seguir para la conexión de los pines y la instalación de los paquetes necesarios para la comunicación.

Interface para usuario

Para poder integrar el sistema diseñado, se procedió a realizar el desarrollo de la interface de usuario. Para lo cual, se adquirió como accesorio de la *Raspberry Pi*, una pantalla "touch" de 2.5 pulgadas, cuya

conexión a la *Raspberry Pi* se presenta en la FIGURA i.10, con el objeto de que otorgase al diseño mayor portabilidad.



FIGURA i.10. Imagen de la pantalla incorporada a la *RASPBERRY PI*

La programación de la interface se realizó en el mismo lenguaje utilizado anteriormente *Python 2.7*, incorporando *Glade*, como diseñador de interfaz de usuario, el cual se complementa con programación en *Python* mediante una herramienta multiplataforma para creación de interfaz gráfica de usuario denominada *GTK*. En la FIGURA i.11 se muestran algunas de pantallas de selección. El diseño de la interface emula el funcionamiento de un fotómetro.

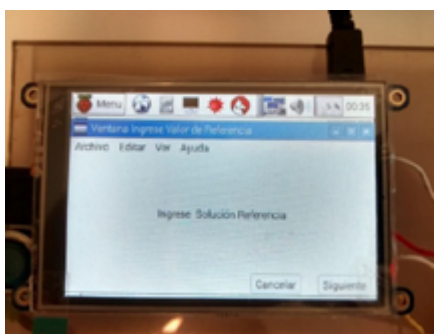
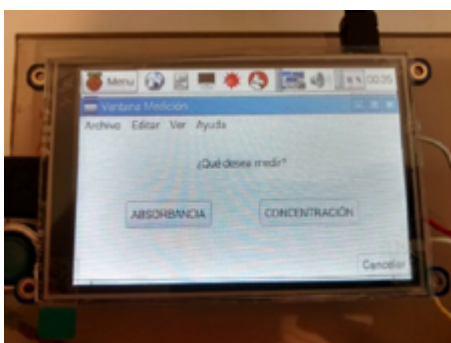


FIGURA i.11. Ejemplos de pantalla de selección para el usuario

V. Método de medición

El resultado de una medición, incluyendo la expresión de su incertidumbre, depende de diversos elementos, entre otros de: un método de medición que incluye equipos e instrumentos para medir y los Materiales de Referencia Certificados (MRC); las condiciones del ambiente donde se realiza la medición; el procedimiento que se utiliza y la competencia del personal que efectúa la medición.

Considerando lo anterior, se elaboró un método de medición que fue implementado cada vez que se realizaron las pruebas definidas en el ítem VI de esta sección, con el objeto de minimizar los errores definiendo un método de trabajo reproducible.

1. Condiciones ambientales

Las mediciones se realizaron en un ambiente libre de polvo y de vapores corrosivos.

La humedad relativa del ambiente se mantuvo entre 45 y 60 %, en tanto que la temperatura se regulaba entre 17 °C y 25 °C. Ambos parámetros se medían y registraban antes de comenzar cada prueba, utilizando medidor de temperatura y humedad marca HANNA calibrado. El sector de medición no se encontraba expuesto a rayos solares y disponía iluminación de tipo artificial con un nivel de 500 lux.

La superficie de trabajo era lo suficientemente amplia como disponer de manera cómoda los elementos necesarios.

La línea eléctrica donde se conectaban los instrumentos disponía de conexión a tierra física y de una instalación acorde a los requerimientos normativos.

2. Material de referencia certificado (MRC)

Para evaluar la escala fotométrica de los componentes LEDs se aplicó el método de comparación directa contra materiales de referencias certificados (MRC). El método de comparación directa consiste en conocer la diferencia existente entre el resultado de una medida realizada por el instrumento para cada una de sus escalas y el valor de referencia de un conjunto de MRC. Para estos casos, el intervalo de medida está definido por los MRC que se emplean.

Los MRC utilizados en este proyecto son un conjunto de soluciones que se emplean como estándares fotométricos en la verificación del desempeño de espectrofotómetros, fotómetros de filtro y autoanalizadores bioquímicos.

Los mismos son elaborados por LARESBIC³, Laboratorio de Referencia y Estandarización en Bioquímica Clínica de la Fundación Bioquímica Argentina.

El material consiste en un conjunto de ampollas y soluciones envasadas de distintos materiales cuyo proceso de elaboración se encuentra certificado con trazabilidad internacional⁴. FIGURA i.12.

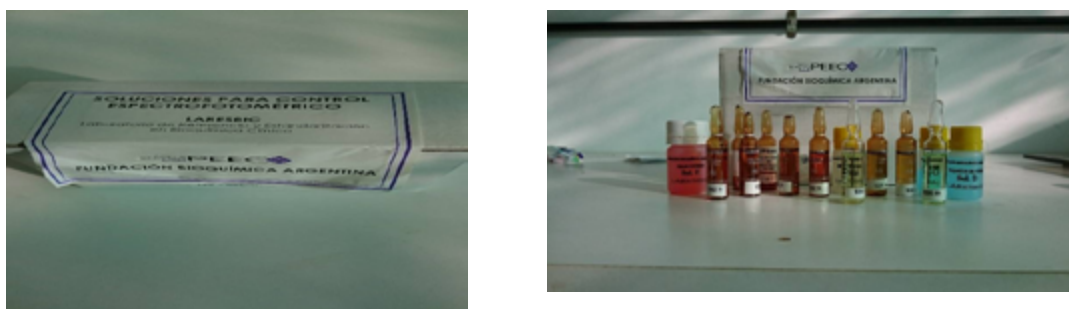


FIGURA i.12. Set de soluciones para control fotométrico - MRC

Las características de las soluciones se describen a continuación:

- (340 nm) Set de dos juegos de 4 ampollas cada uno de Dicromato de Potasio en disoluciones distintas: A1, A2, A3, A4 – CON VALOR DE ABSORBANCIA CERTIFICADO

- (405 nm) Set de un juego de 4 ampollas de p-Nitrofenol en distintas disoluciones: C1, C2, C3, C4 - CON VALOR DE ABSORBANCIA CERTIFICADO

- (510 nm) Set de un juego de 4 ampollas de Sulfato de Cobalto: B1, B2, B3, B4 - CON VALOR DE ABSORBANCIA CERTIFICADO

- (540 nm) Set de un juego de 2 ampollas de cianmetahemoglobina: H1, H2 - CON VALOR DE ABSORBANCIA CERTIFICADO

- (650 nm) Dos envases con solución de Sulfato de Cobre pentahidratado en SO_4H_2 : D

- Un envase con solución de Rojo del Congo: F

- Un envase con solución de Nitrito de Sodio 50g/l: E

Las medidas de absorbancia se realizaron a la longitud de onda correspondiente a la longitud de onda nominal (pico), debido a que el cambio en la absorbancia por unidad de concentración es mayor

3. LARESBIC – Calle 148 Nro. 584, CP 1900, La plata, Buenos Aires Argentina – Tel.: 0221 4231150- Email: laresbic@fba.org.ar

4. Se encuentran a disposición los certificados de las soluciones.

en ese punto, esto implica mayor sensibilidad. Además, la absorbancia es casi constante con la longitud de onda a una absorción máxima, lo cual produce el cumplimiento de la ley de Beer. Para finalizar, las pequeñas incertidumbres que surgen por no reproducir con precisión los parámetros de longitud de onda del instrumento tienen menos influencia a una absorción máxima.

3. Método de medición

- Registrar las condiciones ambientales de temperatura y humedad al momento de realizar las mediciones.
- Disponer de la totalidad de los materiales a utilizar en el sitio de medición y dejarlos estabilizar al menos 30 minutos.
- Encender el “*Set Up*” y el prototipo. Configurar los parámetros necesarios. Dejar estabilizar por 30 minutos, junto a los materiales del ítem anterior.
- Realizar las mediciones del blanco y de los MRC. Las ampollas que se abran para ser utilizadas no se volverán a utilizar en otros días, debido al deterioro del material que contienen una vez abierto.
- Al finalizar la jornada, las celdas fotométricas utilizadas junto con las pipetas se enjuagan con agua destilada tres veces y se ponen a secar para optimizar su estado de conservación, luego se guardan en los lugares previstos.

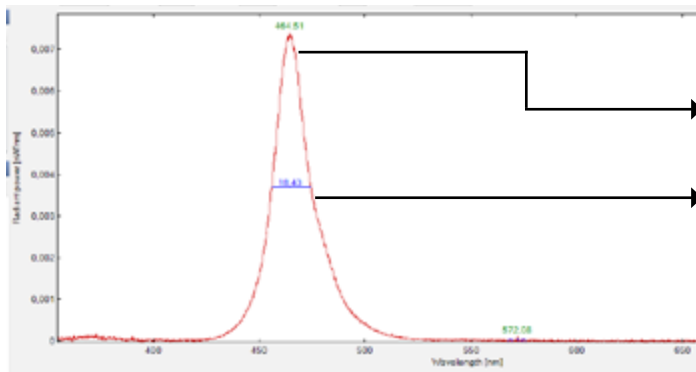
VI. Descripción de las pruebas

A continuación, se describen el conjunto de pruebas realizadas en este proyecto con el objeto de evaluar el desempeño de los componentes LEDs para ser incorporados a dispositivos de aplicación fotométrica.

Para cada una de las mediciones realizadas en todas las pruebas que se describen y para todos los componentes ensayados se utilizó el mismo procedimiento de medición con el objeto de reducir los errores en las mediciones y mejorar la estandarización de las mismas, dicho método es el que se describe en el punto V.

- PRUEBA 1: ANÁLISIS DE LOS LEDs CON EL ESPECTRÓMETRO

En esta prueba se estudiaron los espectros de emisión de los 50 LEDs agrupados por LOTE según se explicó anteriormente, con el objeto de evaluar comparativamente las intensidades de emisión y las características de color. Cabe destacar que, si bien no se dispone de material de referencia certificado para analizar el color, se analizaron estadísticamente en esta prueba la longitud de onda nominal, el ancho de banda efectivo y la potencia radiante. Para lo cual, se realizó el montaje de cada LED en el “*Set Up*” para prueba. Se utilizó una celda fotométrica con agua destilada en el sector celda de muestra y se procedió a retirar el detector e instalar el espectrómetro el cual dispone de una apertura fotométrica de iguales dimensiones a las del detector. A partir de esto, siguiendo el método de medición definido, mediante el software “*Waves*” del espectrómetro, se estudiaron y analizaron para cada LED, los parámetros resaltados en la FIGURA i.13 que sigue. Los resultados obtenidos se discuten en la próxima sección.



A- PANTALLA DEL SOFTWARE “WAVES”.
Se muestra el espectro de emisión (Potencia Radiante [nW/nm] en función de la Longitud de Onda en [nm]) de un LED del LOTE AZUL.

PARAMETROS ESTUDIADOS:
LONGITUD DE ONDA NOMINAL (PICO MÁXIMO)
ANCHURA DE BANDA EFECTIVA o ANCHO DE BANDA ESPECTRAL: Ancho de banda de emisión al 50% del pico máximo.

Properties

General Values Color Peaks Data

Statistics

Minimum: -53,41 fW/nm
Maximum: 7,4 pW/nm
Integral: 181,9 pW
Average: 469,29 fW/nm
Centroid: 466,04 nm
Std.dev.: 1,32 pW/nm

Statistics on selection

Minimum:
Maximum:
Integral:
Average:
Centroid:
Std.dev.:

other

Noise level: 14,66 fW/nm

B- DATOS PRESENTADOS POR PANTALLA:
Izquierda: Valores estadísticos.
Derecha: Arriba: Valores de la longitud de onda nominal. Abajo: intensidad medida para todo el rango de longitud de onda.

Properties

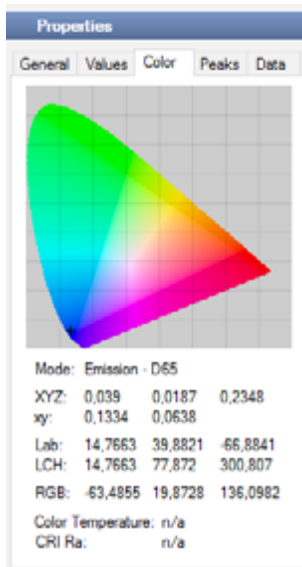
General Values Color Peaks Data

Lambda	Height	Width
464.51 nm	0.01	18.432 nm
572.08 nm	0.00	0.188 nm

Properties

General Values Color Peaks Data

Pixel	Lambda [nm]	Intensity
0	354,861	0,00003
1	355,025	0,00004
2	355,189	0,00007
3	355,353	0,00006
4	355,517	0,00007
5	355,681	0,00006
6	355,845	0,00006
7	356,009	0,00007
8	356,173	0,00004
9	356,337	0,00002
10	356,501	0,00006
11	356,665	7,982E-7



Colorimetric Analysis

Spectrum: test spectrum
y-axis label: Radiant power [W/nm]
Wavelength range: 354,9 to 742,5 nm
Mode: Emission
Reference white: D65
Color matching functions: CIE 2° Standard Observer (1931)

CIE 1931 XYZ color space

X = 0,0390 x = 0,13343
Y = 0,0187 y = 0,06379
Z = 0,2348

Screen color

CRI

Ra = n/a

CIE 1976 L* a* b* color space

L* = 14,7663
a* = -63,4855 b* = 136,0982
C* = 59,0438
h° = 261,5352

CIE 1976 L* u* v* color space

L* = 14,7663
u* = 39,8821 v* = 77,8720
w* = -66,8841 h° = 300,8071

Wavelengths

Dominant wavelength: 469,0 nm
Complementary wavelength: 571,8 nm

ColorChecker

Closest color field: 13: Blue
Distance: 33,6468

Status
The color temperature is not valid

c-ANÁLISIS DE COLOR: El software además permite la visualización del análisis de los espacios de color. Izquierda: Caracterización de Espacio de Color. Derecha: Parámetros CIE.

FIGURA I.13. Análisis espectral de los LEDs

- PRUEBA 2: MEDICIÓN DE ABSORBANCIA DE MRC CON EL ESPECTRÓMETRO

Para el desarrollo de esta prueba se trabajó con la configuración de “Set Up” anterior, con una celda fotométrica para agua destilada, a modo de “blanco” y celdas fotométricas⁵ con las soluciones de MRC para verificación de fotómetros adquiridas en LARES BIC, que se describieron en el ítem anterior.

Para cada LOTE de LEDs se utilizó la solución cuya longitud de onda nominal se encontraba cercana a la del LOTE de LEDs en estudio, esto es:

- EI LOTE de LEDs ROJO (625 nm) se estudió con Solución D de Sulfato de Cobre (650 nm)
- EI LOTE de LEDs AMBAR (605 nm) se estudió con Solución H Cianmetahemoglobina (540 nm)
- EI LOTE de LEDs VERDE (525 nm) se estudió con Solución B de Sulfato de Cobalto (510 nm)
- EI LOTE de LEDs CYAN (505 nm) se estudió con Solución B de Sulfato de Cobalto (505 nm)
- EI LOTE de LEDs AZUL (465 nm) se estudió con Solución C de p-Nitrofenol (405 nm)

De lo anterior se observa que, para las mediciones que se realizaron a longitudes de onda diferentes a las longitudes de onda de los MRC para obtener un valor “verdadero” necesario para aplicar el método comparativo de análisis, se procedió a verificar las propiedades fotométricas de un espectrofotómetro comercial disponible en la Asignatura de Química de la FIUNER, obteniendo los resultados que se detallan en la tabla que prosigue, y luego de esto, se procedieron a medir las absorbancias de las soluciones MRC a la longitud de onda nominal para cada LOTE de LEDs.

ESPECTROFOTOMETRO UV-VIS
MARCA: BIOCHROM
MODELO: Libra S12
Nro. Serie: 110069



- CONTROL DEL ESPECTROFOTOMETRO: SEGÚN PROTOCOLO DE LARES BIC
- CONTROL DE LA PRECISIÓN FOTOMÉTRICA: PRECISIÓN FOTOMÉTRICA: ACEPTABLE: CV% = 0,9 %
- CONTROL DE EXACTITUD FOTOMÉTRICA: EXACTITUD FOTOMETRICA ACEPTABLE: 2,7 %
- CONTROL DE LINEALIDAD FOTOMÉTRICA ACEPTABLE: PENDIENTE DE LA RECTA 1,01

FIGURA I.14. Espectrofotómetro UV-VIS Comercial

A partir de lo cual, con el espectrómetro configurado en modo lectura de absorbancias, se midieron las absorbancias para los 10 LEDs de cada LOTE, 10 veces, y se realizó con ello un análisis estadístico de MEDIA, DESVIÓ ESTANDAR (SD), IMPRECISIÓN FOTOMÉTRICA, INEXACTITUD FOTOMÉTRICA, ANOVA Y LINEALIDAD, cuyos resultados se discuten en la próxima sección.

- PRUEBA 3: MEDICIÓN DE ABSORBANCIA DE MRC CON EL “Set Up” Y PROTOTIPO PARA PRUEBA DISEÑADO

Para el desarrollo de esta prueba se instaló el detector en el espacio asignado del “Set Up para Prueba”, se seleccionó en la *Raspberry Pi* el modo medición de absorbancia, quedando conformado para

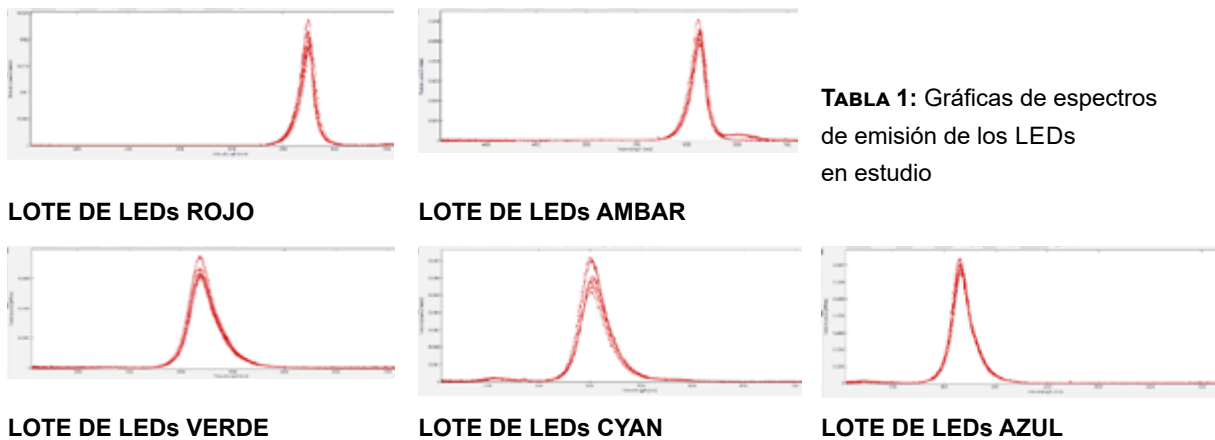
5. Las celdas fotométricas fueron identificadas para ser utilizadas por una y solo una solución de MRC, evitando contaminaciones. Luego de cada uso fueron lavadas y secadas según se explica en método de medición.

esta prueba el diseño completo y se procedió a registrar las mediciones de absorbancia de las distintas soluciones de material de referencia utilizadas con el objeto de evaluar las escalas fotométricas. En todos los casos se realizaron 10 mediciones de cada una y se estudiaron estadísticamente los siguientes parámetros: MEDIA, DESVIÓ ESTANDAR (SD), IMPRESIÓN FOTOMÉTRICA, INEXACTITUD FOTOMÉTRICA, ANOVA Y LINEALIDAD.

Síntesis de resultados y conclusiones

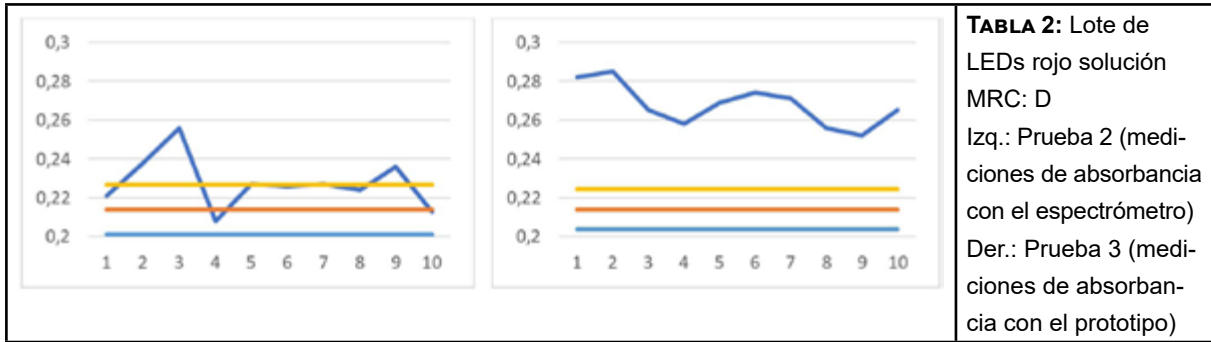
▪ RESPECTO AL ANÁLISIS DEL ESPECTRO DE EMISIÓN DE LOS LEDS ESTUDIADOS

En la TABLA 1, se muestran de forma resumida las gráficas del espectro de emisión de los LEDs que han sido objeto de estudio en el proyecto, obtenidos de la PRUEBA 1.



- La caracterización fue realizada con el espectrómetro.
- Considerando la Longitud de Onda Nominal para los LEDs del LOTE ROJO y del LOTE AZUL, los valores medidos son los que más se acercan a las especificaciones del fabricante, obteniendo una dispersión de aproximadamente ± 1 nm. En tanto que para los restantes lotes analizados la dispersión fue mayor rondando aproximadamente los ± 7 nm.
- En cuanto a la potencia radiante medida en nW/nm, los mayores valores se midieron para los LED del LOTE AMBAR, VERDE, CYAN y AZUL, en las longitudes de onda de 605 nm, 525 nm, 505 nm y 465 nm respectivamente, registrando valores superiores a 0.0045 nW/nm. En tanto que los LEDs del LOTE ROJO reportaron valores inferiores, en el orden del 0.002 nW/nm.
- Para el análisis del ancho de banda efectiva los LEDs del LOTE ROJO y AMBAR emiten con ancho de banda más estrechos, en el orden de 15 nm, que los demás, que mostraron un ancho de bando efectivo superior a los 20 nm, siendo el LOTE de LEDs CYAN y el VERDE en el orden de los 30 nm aproximadamente.

▪ **RESPECTO AL LOTE DE LEDs ROJO**



Para ambas pruebas, el LOTE ROJO se comporta con una imprecisión fotométrica importante, esto es por fuera de los límites de aceptabilidad definidos, lo que implica una dispersión en las mediciones alrededor de la media.

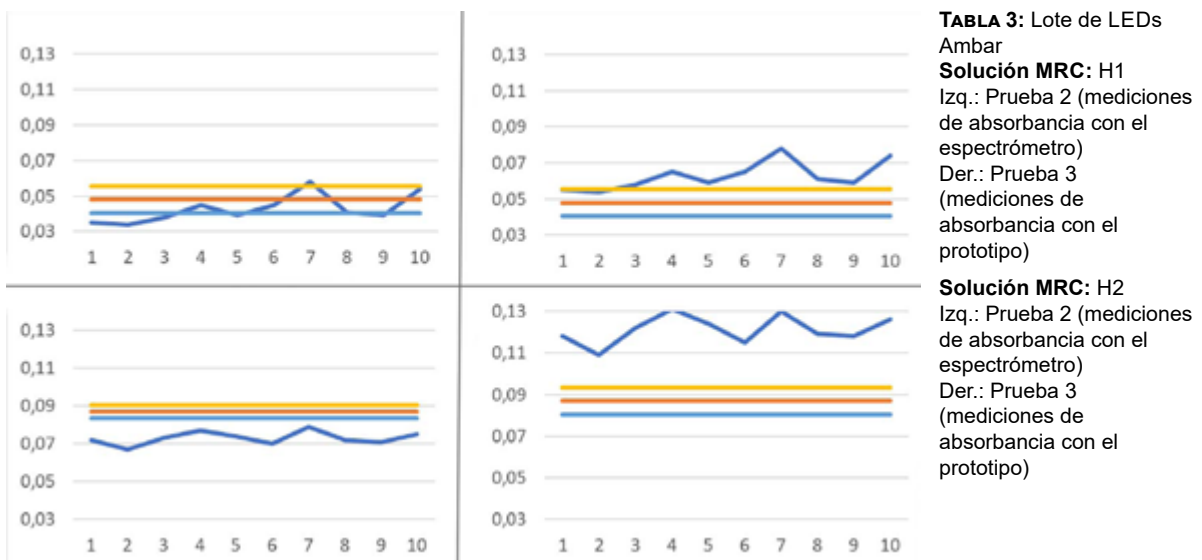
Lo mismo se manifiesta en la inexactitud fotométrica, la cual se encuentra por fuera de los límites de aceptabilidad, deduciendo de ello un alto grado de discordancia entre la absorbancia certificada del MRC y las mediciones de cada LED.

Respecto al análisis de ANOVA realizado para comparar las medias de los LEDs del LOTE ROJO, el valor del factor calculado en comparación con el factor crítico muestra que la diferencia de medias del lote es estadísticamente significativa.

No se realizaron diluciones de la Solución D por no considerarse recomendable al no disponer de materiales certificados trazables para hacerlo.

Los resultados obtenidos de las PRUEBA 2 y PRUEBA 3, TABLA 2, se deduce que, si bien existe un comportamiento similar de cada LED, hay una marcada discrepancia en los resultados de la PRUEBA 3 respecto al valor verdadero, esto muy probablemente sea debido a la ganancia de la etapa de ampli-ficación del prototipo diseñado que a consideración del grupo de trabajo resultó baja.

▪ **RESPECTO AL LOTE DE LEDs AMBAR**



Para ambas pruebas, en las dos concentraciones de la solución MRC H1 y H2 ensayadas, el LOTE AMBAR se comporta con una imprecisión fotométrica mayormente aceptable con algunos valores op-

tima en bajas concentraciones, considerando los límites de aceptabilidad definidos, lo que implica una dispersión mínima en las mediciones alrededor de la media para cada LED.

En tanto que la valoración de la inexactitud fotométrica se observa que la totalidad de los resultados están por fuera de los límites de aceptabilidad, deduciendo de ello un alto grado de discordancia entre la absorbancia certificada del MRC y las mediciones de cada LED, mayormente marcada para la solución más concentrada.

Respecto al análisis de ANOVA realizado para comparar las medias de los LEDs del LOTE AMBAR, el valor del factor calculado en comparación con el factor crítico implica que la diferencia de medias del lote es estadísticamente significativa.

Los resultados obtenidos de las PRUEBA 2 y PRUEBA 3, TABLA 3, se deduce de manera similar al lote anterior un comportamiento similar de los LEDs con ambas configuraciones, pero con una discrepancia respecto al valor verdadero, esto muy probablemente sea debido a la ganancia de la etapa de amplificación del prototipo diseñado que a consideración del grupo de trabajo resultó baja.

▪ RESPECTO AL LOTE DE LEDS VERDE

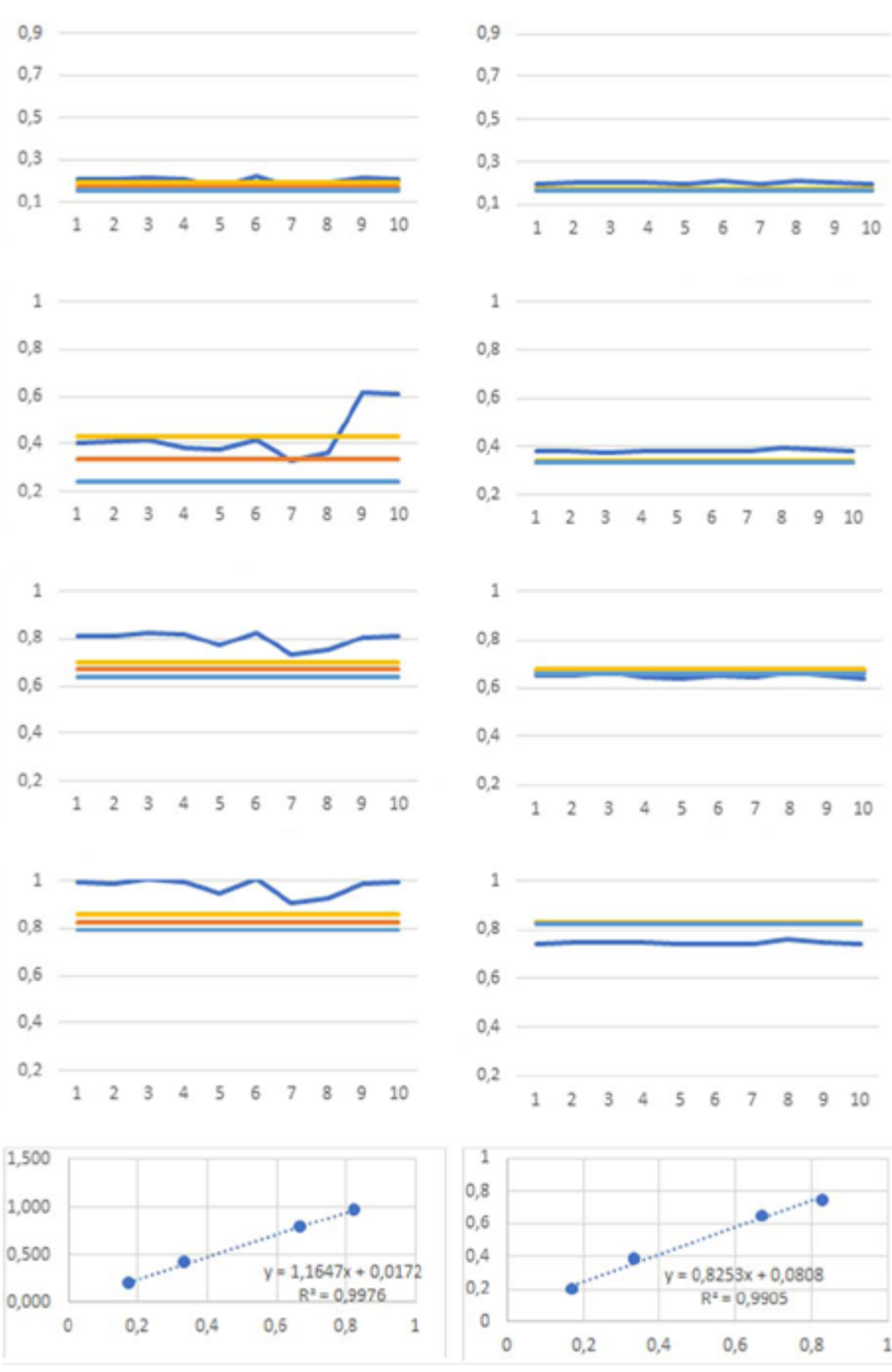


TABLA 4: Lote de LEDs verde

Solución MRC: B1
Izq.: Prueba 2 (mediciones de absorbancia con el espectrómetro)
Der.: Prueba 3 (mediciones de absorbancia con el prototipo)

Solución MRC: B2
Izq.: Prueba 2 (mediciones de absorbancia con el espectrómetro)
Der.: Prueba 3 (mediciones de absorbancia con el prototipo)

Solución MRC: B3
Izq.: Prueba 2 (mediciones de absorbancia con el espectrómetro)
Der.: Prueba 3 (mediciones de absorbancia con el prototipo)

Solución MRC: B4
Izq.: Prueba 2 (mediciones de absorbancia con el espectrómetro)
Der.: Prueba 3 (mediciones de absorbancia con el prototipo)

Regresion Lineal
Izq.: Prueba 2 (mediciones de absorbancia con el espectrómetro)
Der.: Prueba 3 (mediciones de absorbancia con el prototipo)

Para ambas pruebas, en las cuatro concentraciones de la Solución MRC B1, B2, B3 y B4 ensayadas, el LOTE VERDE se comporta con una imprecisión fotométrica aceptable con algunos valores optima, mayormente los valores optima resultan para las soluciones B3 y B4 más concentradas, siempre considerando los límites de aceptabilidad definidos en los insertos del material, lo que implica una dispersión aceptable en las mediciones alrededor de la media para cada LED.

En tanto a la inexactitud fotométrica, se continúa valorando por fuera de los límites de aceptabilidad, deduciendo de ello un alto grado de discordancia entre la absorbancia certificada del MRC y las mediciones de cada LED.

Respecto al análisis de ANOVA realizado para comparar las medias de los LEDs del LOTE VERDE, el valor del factor calculado en comparación con el factor crítico implica que la diferencia de medias del lote es estadísticamente significativa.

De la TABLA 4, se observada que los resultados de ambas pruebas una marcada baja sensibilidad en las lecturas realizadas con el prototipo diseñado como en los casos anteriores.

Para el LOTE VERDE además se evalúa la linealidad a través de la recta de regresión lineal, donde la pendiente y los coeficientes de correlación resultan óptimos para ambas pruebas.

▪ RESPECTO AL LOTE DE LEDs CYAN

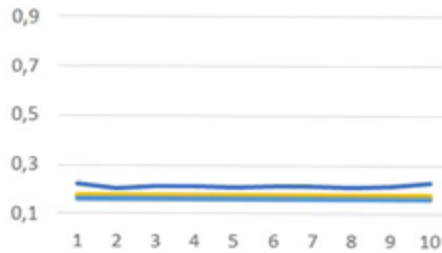
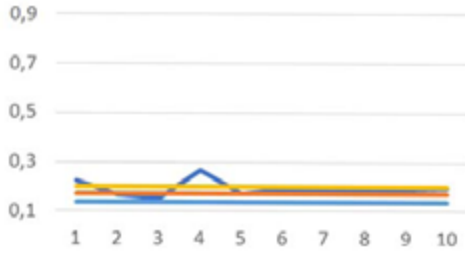
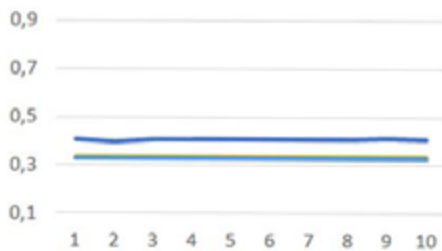
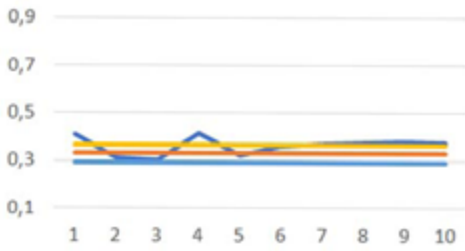
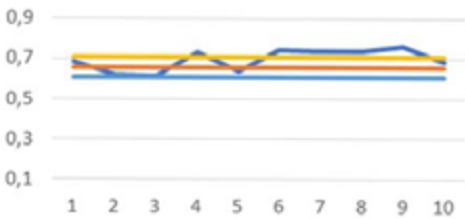


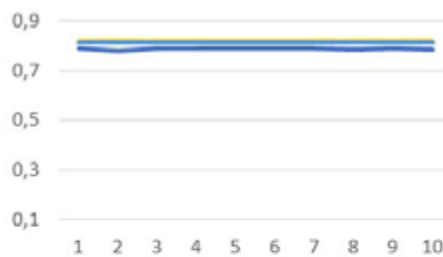
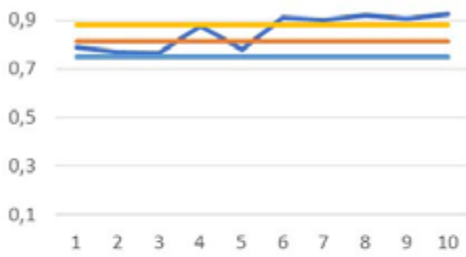
TABLA 5: Lote de LEDs cyan
Solución MRC: B1
 Izq.: Prueba 2 (mediciones de absorbancia con el espectrómetro)
 Der.: Prueba 3 (mediciones de absorbancia con el prototipo)



Solución MRC: B2
 Izq.: Prueba 2 (mediciones de absorbancia con el espectrómetro)
 Der.: Prueba 3 (mediciones de absorbancia con el prototipo)

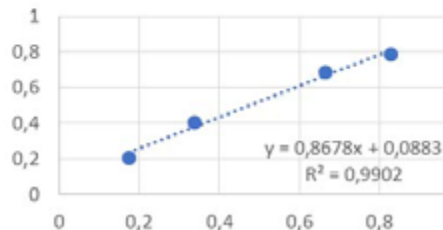
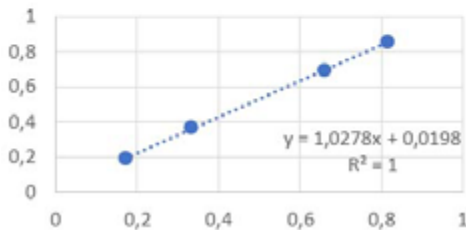


Solución MRC: B3
 Izq.: Prueba 2 (mediciones de absorbancia con el espectrómetro)
 Der.: Prueba 3 (mediciones de absorbancia con el prototipo)



Solución MRC: B4

Izq.: Prueba 2 (mediciones de absorbancia con el espectrómetro)
Der.: Prueba 3 (mediciones de absorbancia con el prototipo)



Regresión Lineal:

Izq.: Prueba 2 (mediciones de absorbancia con el espectrómetro)
Der.: Prueba 3 (mediciones de absorbancia con el prototipo)

Para ambas pruebas, en las cuatro concentraciones de la Solución MRC B1, B2, B3 y B4 ensayadas, el LOTE de LEDs CYAN se comporta con una imprecisión fotométrica marcadamente óptima, siempre considerando los límites de aceptabilidad definidos en los insertos del material de referencia, lo que implica una dispersión aceptable en las mediciones alrededor de la media para cada LED.

En tanto a la inexactitud fotométrica, para el LOTE CYAN mejora notablemente respecto a los demás analizados, encontrando en su mayoría valores dentro del rango aceptable y algunos en valor óptimo de los límites de aceptabilidad.

Respecto al análisis de ANOVA realizado para comparar las medias de los LEDs del LOTE CYAN, el valor del factor calculado en comparación con el factor crítico implica que la diferencia de medias del lote es estadísticamente significativa.

Para el LOTE CYAN además se evalúa la linealidad a través de la recta de regresión lineal, donde la pendiente y los coeficientes de correlación, los cuales resultan óptimos para las mediciones de la PRUEBA 2 realizada con el espectrómetro y aceptables para la PRUEBA 3 cuyas mediciones fueron realizadas con el prototipo diseñado.

▪ RESPECTO AL LOTE DE LEDs AZUL

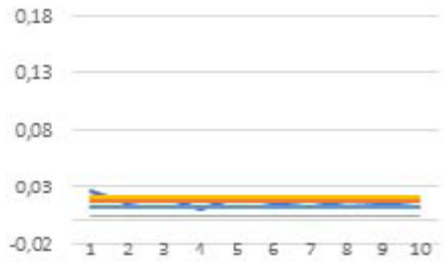
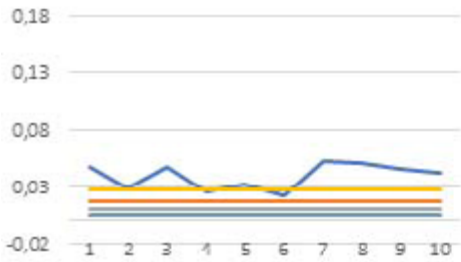
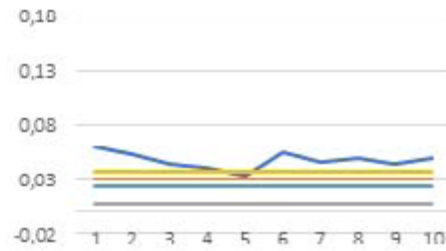
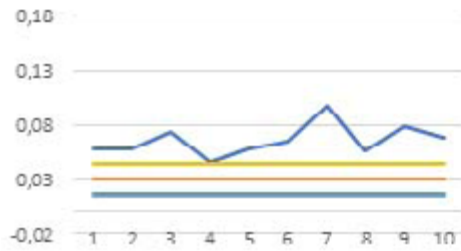
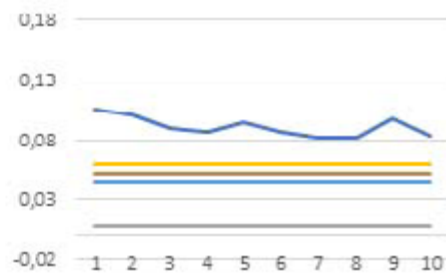
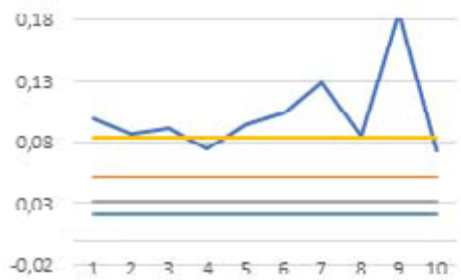


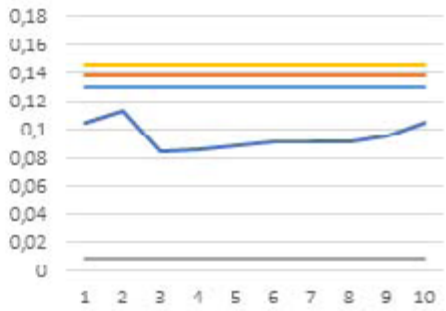
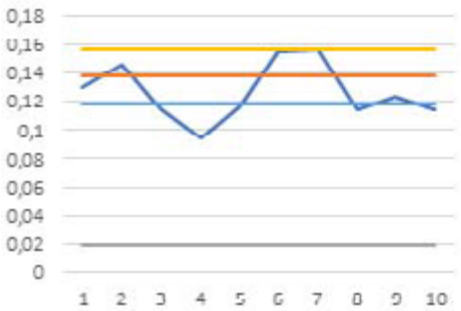
TABLA 6: Lote de LEDs AZUL
Solución MRC: C1
 Izq.: Prueba 2 (mediciones de absorbancia con el espectrómetro)
 Der.: Prueba 3 (mediciones de absorbancia con el prototipo)



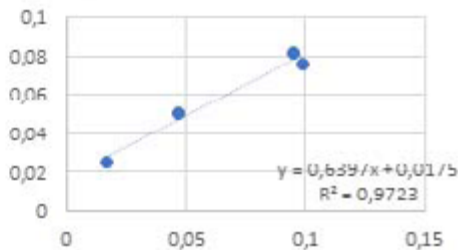
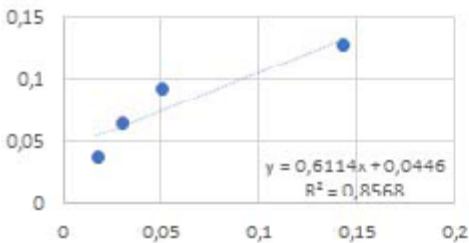
Solución MRC: C2
 Izq.: Prueba 2 (mediciones de absorbancia con el espectrómetro)
 Der.: Prueba 3 (mediciones de absorbancia con el prototipo)



Solución MRC: C3
 Izq.: Prueba 2 (mediciones de absorbancia con el espectrómetro)
 Der.: Prueba 3 (mediciones de absorbancia con el prototipo)



Solución MRC: C4
 Izq.: Prueba 2 (mediciones de absorbancia con el espectrómetro)
 Der.: Prueba 3 (mediciones de absorbancia con el prototipo)



Regresión lineal:
 Izq.: Prueba 2 (mediciones de absorbancia con el espectrómetro)
 Der.: Prueba 3 (mediciones de absorbancia con el diseño)

Para ambas pruebas, en las cuatro concentraciones de la Solución MRC C1, C2, C3 y C4 ensayadas, el LOTE AZUL se comporta con una imprecisión fotométrica no aceptable, con un mínimo de valores aceptables para las cuatro concentraciones analizadas siempre considerando los límites de aceptabilidad definidos en los insertos del material de referencia, lo que implica una dispersión importante en las mediciones alrededor de la media para cada LED.

En tanto a la inexactitud fotométrica, para el LOTE AZUL se continúa valorando por fuera de los límites de aceptabilidad, deduciendo de ello un alto grado de discordancia entre la absorbancia certificada del MRC y las mediciones de cada LED.

Respecto al análisis de ANOVA realizado para comparar las medias de los LEDs del LOTE AZUL, el valor del factor calculado en comparación con el factor crítico, implica que la diferencia de medias del lote es estadísticamente significativa.

Para el LOTE de LEDs AZUL además se evalúa la linealidad a través de la recta de regresión lineal, donde la pendiente y los coeficientes de correlación no resultaron dentro de los valores considerados como aceptables.

▪ RESPECTO AL ANÁLISIS DE LAS MEDICIONES REALIZADAS A COMPONENTES BIOQUÍMICOS

Tal como estaba previsto en las actividades planteadas, se concurrió a un Laboratorio de Análisis Clínicos de la Ciudad de Paraná, con el objeto de realizar mediciones en materiales biológicos.

Se realizaron las PRUEBA 2 y PRUEBA 3 de manera similar que en los casos anteriores pero esta vez reemplazando el MRC por reacciones en suero de paciente preparadas para medir concentración de complemento CH50 a 525 nm.

Se seleccionó complemento CH50 porque el Laboratorio está altamente automatizado y de forma manual se realizan muy pocas determinaciones fotométricas, además la longitud de onda para su medición está comprendida dentro del rango analizado en el proyecto.

Primeramente, se midieron solución MRC, H1 y H2. Posteriormente, se midió la absorbancia para reacciones preparadas en suero de cinco pacientes y se compararon los resultados con los obtenidos de un espectrofotómetro Marca: BECKMAN, Modelo: SERIE D500 que se utiliza habitualmente por el personal del Laboratorio para realizar estas mediciones. El espectrofotómetro es un instrumento controlado periódicamente con verificación metrológica aceptable, conforme al uso previsto. En cuanto al prototipo, las mediciones se realizaron con LED del LOTE VERDE.

Para el caso de mediciones de compuestos bioquímicos los resultados obtenidos demuestran dispersiones similares a las obtenidas en las mediciones de MRC.

Conclusiones

De todo lo trabajado en este proyecto se extraen como conclusión los ítems que abajo se desarrollan:

▪ Respecto al trabajo de investigación propiamente dicho.

- El grupo logró incorporar experiencia en investigación y desarrollo de proyectos, afianzar conocimientos en manejo y trabajo de grupo y en la dirección de becarios. Además, se adquirió experiencia en rendición financiera de fondos y en la adquisición de productos en distintos mercados.

- Se cumplieron los objetivos y las actividades propuestas al inicio, pero se solicitó una extensión del plazo de finalización por seis meses, dado que la compra del espectrómetro en el exterior demoró la realización de las pruebas.

- Se ejecutó el presupuesto de manera adecuada.

▪ **Respecto a los resultados obtenidos.**

- Se trabajó en distintos campos y se incorporaron conocimientos acerca de: características y funcionamiento de componentes LEDs; mediciones de luz y fotometría; programación en distintos lenguajes; estándares de mediciones; análisis estadísticos de datos, desarrollo de hardware; entre otros.

- Se logró incorporar en un prototipo distintas tecnologías a saber: medición óptica, AFE y Raspberry Pi, lo cual requirió de un importante desarrollo en las interfases para compatibilizar el funcionamiento de estos dispositivos.

- Utilizando componentes LEDs adquiridos en comercios minoristas locales, se observó que existen diferencias entre las características de emisión de los LEDs de un mismo tipo y luego se comprobó estadísticamente que estas diferencias son significativas, con lo cual se concluye que probablemente no se pueden intercambiar LEDs sin antes aplicar una corrección para que los resultados obtenidos entre uno y otro sean reproducibles y estadísticamente aceptables.

- Es necesario aportar mejoras al diseño del prototipo propuesto con el objeto de reducir el offset y aumentar la ganancia de la etapa de amplificación, para obtener un dispositivo más sensible a los cambios de concentración y capaz de devolver resultados veraces.

En la continuación del presente proyecto se propone la incorporación de componentes LEDs de calidad superior y además, aportar al diseño del prototipo descripto mejoras en la fuente de corriente multicanal para control de la iluminación y rutinas de corrección de la línea de base, sensibilidad, calibración, etc.

No obstante, podemos afirmar que en condiciones adecuadas es viable la utilización de iluminación LEDs para su aplicación en técnicas fotométricas.

Bibliografía

1. Ho, C.K.; Robinson, A.; Miller, D.R.; Davis, M.J. Overview of sensors and needs for environmental monitoring. *Sensors* 2005, 5, 4-37.
2. Marle, L.; Greenway, G.M. Microfluidic devices for environmental monitoring. *Trends in Analytical Chemistry* 2005, 24, 795-802.
3. Sequeira, M.; Bowden, M.; Minogue, E.; Diamond, D. Towards autonomous environmental monitoring systems. *Talanta* 2002, 56, 355-363.
4. Schwarz, M.A.; Hauser, P.C. Recent developments in detection methods for microfabricated analytical devices. *Lab on a chip* 2001, 1, 1-6.
5. Bowden, M.; Diamond, D. The determination of phosphorus in a microfluidic manifold demonstrating long-term reagent lifetime and chemical stability utilising a colorimetric method. *Sensors and Actuators B: Chemical* 2003, 90, 170-174.
6. Gotz, S.; Karst, U. Recent developments in optical detection methods for microchip separations. *Analytical Bioanalytical Chemistry* 2007, 387, 183-192.
7. Sequeira, M.; Diamond, D.; Daridon, A.; Lichtenberg, J.; Verpoorte, S.; Rooij, N.F.D. Progress in the realisation of an autonomous environmental monitoring device for ammonia. *Trends in Analytical Chemistry* 2002, 21, 816-827.
8. Diamond, D. Internet-Scale Sensing. *Analytical Chemistry* 2004, 76, 279A-286A.
9. Holonyak Jr., N.; Bevaqua, S.F. Coherent (visible) light emission from Ga(As_{1-x}P_x) junctions. *Applied Physics Letters* 1962, 1, 82-83.
10. Trojanowicz, M.; Worsfold, P.J.; Clinch, J.R. Solid-state photometric detectors for flow injection analysis. *Trends in Analytical Chemistry* 1988, 7, 301-305.

11. Liu, H.; Dasgupta, P.K.; Zheng, H.J. High performance optical absorbance detectors based on low noise switched integrators. *Talanta* 1993, *40*, 1331-1338.
12. Dasgupta, P.K.; Bellamy, H.S.; Liu, H.; Lopez, J.L.; Loree, E.L.; Morris, K.; Petersen, K.; Mir, K.A. Light emitting diode based flow-through optical absorption detectors. *Talanta* 1993, *40*, 53- 74.
13. Taib, M.N.; Narayanaswamy, R. Solid-state Instruments for Optical Fibre Chemical Sensors. *The Analyst* 1995, *120*, 1617-1625.
14. Dasgupta, P.K.; Eom, I.-Y.; Morris, K.J.; Li, J. Light emitting diode-based detectors: Absorbance, fluorescence and spectroelectrochemical measurements in a planar flow-through cell. *Analytica Chimica Acta* 2003, *500*, 337-364.
15. Kovac, J.; Peternai, L.; Lengyel, O. Advanced light emitting diodes structures for optoelectronic applications. *Thin Solid Films* 2003, *433*, 22-26.
16. Zukauskas, A.; Shur, M.S.; Gaska, R. *Introduction to Solid-State Lighting*: John Wiley & Sons, Inc., 2002.
17. Taniyasu, Y.; Kasu, M.; Makimoto, T. An aluminium nitride light-emitting diode with a wavelength of 210 nanometres. *Nature* 2006, *441*, 325-328.
18. Kuo, J.S.; Kuyper, C.L.; Allen, P.B.; Fiorini, G.S.; Chiu, D.T. High-power blue/UV lightemitting diodes as excitation sources for sensitive detection. *Electrophoresis* 2004, *25*, 3796-3804.
19. <http://www.roithner-laser.com/>.
20. <http://www.s-et.com/>.
21. Flaschka, H.; McKeithan, C.; Barnes, R. Light emitting diodes and phototransistors in photometric modules. *Analytical Letters* 1973, *6*, 585-594.
22. Anfalt, T.; Graneli, A.; Strandberg, M. Probe photometer based on optoelectronic components for the determination of total alkalinity in seawater. *Analytical Chemistry* 1976, *48*, 357-360.
23. Betteridge, D.; Dagless, E.L.; Fields, B.; Graves, N.F. A highly sensitive flow-through phototransducer for unsegmented continuous-flow analysis demonstrating high-speed spectrophotometry at the parts per 10⁹ level and a new method of refractometric determinations. *The Analyst* 1978, *103*, 897-908.
24. Boring, C.B.; Dasgupta, P.K. An affordable high-performance optical absorbance detector for capillary systems. *Analytica Chimica Acta* 1997, *342*, 123-132.
25. Dasgupta, P.K.; Genfa, Z.; Poruthoor, S.K.; Caldwell, S.; Dong, S.; Liu, S.-Y. High-Sensitivity Gas Sensors Based on Gas-Permeable Liquid Core Waveguides and Long-Path Absorbance Detection. *Analytical Chemistry* 1998, *70*, 4661-4669.
26. Toda, K.; Yoshioka, K.-I.; Ohira, S.-I.; Li, J.; Dasgupta, P.K. Trace Gas Measurement with an Integrated Porous Tube Collector/Long-Path Absorbance Detector. *Analytical Chemistry* 2003, *75*, 4050-4056.
27. Galanis, S.; Dasgupta, P.K. Measurement of parts per million levels of potassium hydroxide in polyether polyol streams. *Analytica Chimica Acta* 2001, *429*, 101-110.
28. Samanta, G.; Boring, C.B.; Dasgupta, P.K. Continuous Automated Measurement of Hexavalent Chromium in Airborne Particulate Matter. *Analytical Chemistry* 2001, *73*, 2034-2040.
29. Greenway, G.M.; Haswell, S.J.; Petsul, P.H. Characterisation of a micro-total analytical system for the determination of nitrite with spectrophotometric detection. *Analytica Chimica Acta* 1999, *387*, 1-10.
30. Collins, G.E.; Lu, Q. Radionuclide and metal ion detection on a capillary electrophoresis microchip using LED absorbance detection. *Sensors and Actuators B: Chemical* 2001, *76*, 244- 249.
31. Petsul, P.H.; Greenway, G.M.; Haswell, S.J. The development of an on-chip micro-flow injection analysis of nitrate with a cadmium reductor. *Analytica Chimica Acta* 2001, *428*, 155-161.
32. White, B.J.; Harmon, H.J. Optical solid-state detection of organophosphates using organophosphorus hydrolase. *Biosensors and Bioelectronics* 2005, *20*, 1977-1983.

33. Ferrer, L.; de Armas, G.; Miro, M.; Estela, J.M.; Cerda, V. A multisyringe flow injection method for the automated determination of sulfide in waters using a miniaturised optical fiber spectrophotometer. *Talanta* 2004, *64*, 1119-1126.
34. Collins, G.E.; Lu, Q. Microfabricated capillary electrophoresis sensor for uranium (VI). *Analytica Chimica Acta* 2001, *436*, 181-189.
35. Lu, Q.; Collins, G.E. Microchip separations of transition metal ions via LED absorbance detection of their PAR complexes. *The Analyst* 2001, *126*, 429-432.
36. Chen, S.-J.; Chen, M.-J.; Chang, H.-T. Light-emitting diode-based indirect fluorescence detection for simultaneous determination of anions and cations in capillary electrophoresis. *Journal of Chromatography A* 2003, *1017*, 215-224.
37. Collins, G.E.; Lu, Q.; Pereira, N.; Wu, P. Long pathlength, three-dimensional absorbance microchip. *Talanta* 2007, *72*, 301-304.
38. Schmidt, W. A high performance micro-dual-wavelength-spectrophotometer (MDWS). *Journal of biochemical and biophysical methods* 2004, *58*, 15-24.
39. Zhang, T.; Fang, Q.; Wang, S.-L.; Qin, L.-F.; Wang, P.; Wu, Z.-Y.; Fang, Z.-L. Enhancement of signal-to-noise level by synchronized dual wavelength modulation for light emitting diode fluorimetry in a liquid-core-waveguide microfluidic capillary electrophoresis system. *Talanta*. 2005, *68*, 19-24.
40. Lu, Q.; Collins, G.E.; Smith, M.; Wang, J. Sensitive capillary electrophoresis microchipdetermination of trinitroaromatic explosives in nonaqueous electrolyte following solid phase extraction. *Analytica Chimica Acta* 2002, *469*, 253-260.
41. Deng, G.; Collins, G.E. Nonaqueous based microchip separation of toxic metal ions using 2-(5-bromo-2-pyridylazo)-5-(N-propyl-N-sulfopropylamino) phenol. *Journal of Chromatography A* 2003, *989*, 311-316.
42. Matias, F.A.A.; Vila, M.M.D.C.; Tubino, M. A simple device for quantitative colorimetric diffuse reflectance measurements. *Sensors and Actuators B: Chemical* 2003, *88*, 60-66.
43. Sombatsompop, N.; Intawong, N.-S.; Intawong, N.-T. Design and construction of photoconductive light pressure sensor for highly viscous fluids. *Sensors and Actuators A: Physical* 2002, *102*, 76-82.
44. Schrodle, S.; Buchner, R.; Kunz, W. Automated apparatus for the rapid determination of liquid and solid-liquid phase transitions. *Fluid Phase Equilibria* 2004, *216*, 175-182.
45. Lau, K.-T.; Shepherd, R.; Diamond, D.; Diamond, D. Solid State pH Sensor Based on Light Emitting Diodes (LED) As Detector Platform.
46. Tubino, M.; de Souza, R.L. Determination of diclofenac in pharmaceutical preparations by diffuse reflectance photometry. *Talanta* 2006, *68*, 776-780.
47. Tubino, M.; Queiroz, C.A.R. Flow injection visible diffuse reflectance quantitative analysis of nickel. *Analytica Chimica Acta* 2006, *In Press*.
48. Johnson, K.S.; Beehler, C.L.; Sakamoto-Arnold, C.M. A submersible flow analysis system. *Analytica Chimica Acta* 1986, *179*, 245-257.
49. Betteridge, D.; Cheng, W.C.; Dagless, E.L.; David, P.; Goad, T.B.; Deans, D.R.; Newton, D.A.; Pierce, T.B. An automated viscometer based on high-precision flow injection analysis. *The Analyst* 1983, *108*, 1-16.
50. Feres, M.A.; Reis, B.F. A downsized flow set up based on multicommutation for the sequential photometric determination of iron (II)/iron(III) and nitrite/nitrate in surface water. *Talanta* 2005, *68*, 422-428.
51. Tan, A.; Huang, J.; Geng, L.; Xu, J.; Zhao, X. A multi-channel photometric detector for multicomponent analysis in flow injection analysis. *Journal of Automatic Chemistry* 1994, *16*, 71-73.
52. Trojanowicz, M.; Augustyniak, W.; Hulanicki, A. Photometric flow-injection measurements with flow-cell employing light emitting diodes. *Microchimica Acta* 1984, *83*, 17-25.

53. Santos, S.R.B.D.; Araujo, M.C.U.D.; Barbosa, R.A. An automated FIA system to determine alcoholic grade in beverages based on Schlieren effect measurements using an LED photocolormeter. *The Analyst* 2002, 127, 324-327.
54. Schmidt, G.J.; W. Scott, R.P. Simple and sensitive ion chromatograph for trace metal determination. *The Analyst* 1984, 109, 997-1002.
55. Clinch, J.R.; Worsfold, P.J.; Casey, H. An automated spectrophotometric field monitor for water quality parameters: Determination of nitrate. *Analytica Chimica Acta* 1987, 200, 523-531.
56. Hauser, P.C.; Tan, S.S.; Cardwell, T.J.; Catrall, R.W.; Hamilton, I.C. Versatile manifold for the simultaneous determination of ions in flow injection analysis. *The Analyst* 1988, 113, 1551-1555.
57. Hauser, P.C.; Chiang, D.W.L. A photometric detector based on a blue light-emitting diode. *Talanta* 1993, 40, 1193-1200.
58. Rainelli, A.; Stratz, R.; Schweizer, K.; Hauser, P.C. Miniature flow-injection analysis manifold created by micromilling. *Talanta* 2003, 61, 659-665.
59. Trojanowicz, M.; Szpunar-Lobinska, J. Simultaneous flow-injection determination of aluminium and zinc using LED photometric detection. *Analytica Chimica Acta* 1990, 230, 125-130.
60. Freeman, P.R.; McKelvie, I.D.; Hart, B.T.; Cardwell, T.J. Flow-injection technique for the determination of low levels of phosphorus in natural waters. *Analytica Chimica Acta* 1990, 234, 409-416.
61. Chediak, J.A.; Luo, Z.; Seo, J.; Cheung, N.; Lee, L.P.; Sands, T.D. Heterogeneous integration of CdS filters with GaN LEDs for fluorescence detection microsystems. *Sensors and Actuators A: Physical* 2004, 111, 1-7.
62. Yamada, A.; Sakuraba, M.; Murota, J. Integration of Si p-i-n diodes for light emitter and detector with optical waveguides. *Materials Science in Semiconductor Processing* 2005, 8, 435-438.
63. Park, J.M.; Shon, O.J.; Hong, H.-G.; Kim, J.S.; Kim, Y.; Lim, H.B. Development of a microchip metal ion sensor using dinitro-azocalix[4]azacrown. *Microchemical Journal* 2005, 80, 139-144.
64. Sonne, K.; Dasgupta, P.K. Simultaneous photometric flow-injection determination of sulfide, polysulfide, sulfite, thiosulfate, and sulfate. *Analytical Chemistry* 1991, 63, 427-432.
65. Dong, S.; Dasgupta, P.K. Automated determination of total phosphorus in aqueous samples. *Talanta* 1991, 38, 133-137.
66. Worsfold, P.J.; Clinch, J.R.; Casey, H. Spectrophotometric field monitor for water quality parameters: The Determination of Phosphate. *Analytica Chimica Acta* 1987, 197, 43-50.
67. Liu, H.; Dasgupta, P.K. Dual-wavelength photometry with light emitting diodes. Compensation of refractive index and turbidity effects in flow-injection analysis. *Analytica Chimica Acta* 1994, 289, 347-353.
68. Huang, J.; Liu, H.; Tan, A.; Xu, J.; Zhao, X. A dual-wavelength light-emitting diode based detector for flow-injection analysis process analysers. *Talanta* 1992, 39, 589-592.
69. Gros, N. Spectrometer with microreaction chamber and tri-colour light emitting diode as a light source. *Talanta* 2004, 62, 143-150.
70. Gros, N. A new type of a spectrometric microtitration set up. *Talanta* 2005, 65, 907-912.
71. Hauser, P.C.; Rupasinghe, T.W.T.; Cates, N.E. A multi-wavelength photometer based on light emitting diodes. *Talanta* 1995, 42, 605-612.
72. Fonseca, A.; Raimundo, J.; Ivo M. A multichannel photometer based on an array of light emitting diodes for use in multivariate calibration. *Analytica Chimica Acta* 2004, 522, 223-229.
73. Suzuki, A.; Kondoh, J.; Matsui, Y.; Shiokawa, S.; Suzuki, K. Development of novel optical waveguide surface plasmon resonance (SPR) sensor with dual light emitting diodes. *Sensors and Actuators B: Chemical* 2005, 106, 383-387.
74. Lau, K.T.; Baldwin, S.; Shepherd, R.L.; Dietz, P.H.; Yezunis, W.S.; Diamond, D. Novel fused-LEDs devices as optical sensors for colorimetric analysis. *Talanta* 2004, 63, 167-173.

75. O'Toole, M.; Lau, K.-T.; Diamond, D. Photometric detection in flow analysis systems using integrated PEDDs. *Talanta* 2005, **66**, 1340-1344.
76. Lau, K.-T.; Baldwin, S.; O'Toole, M.; Shepherd, R.; Yerazunis, W.J.; Izuo, S.; Ueyama, S.; Diamond, D. A low-cost optical sensing device based on paired emitter-detector light emitting diodes. *Analytica Chimica Acta* 2006, **557**, 111-116.
77. O'Toole, M.; Lau, K.-T.; Schazmann, B.; Shepherd, R.; Nesterenko, P.N.; Paull, B.; Diamond, D. Novel Integrated Paired Emitter Detector Diode as a Miniaturized Photometric Detector in HPLC. *The Analyst* 2006, **131**, 938-943.
78. Lau, K.-T.; Yerazunis, W.S.; Shepherd, R.L.; Diamond, D. Quantitative colorimetric analysis of dye mixtures using an optical photometer based on LED array. *Sensors and Actuators B: Chemical* 2006, **114**, 819-825.
79. Lau, K.T.; McHugh, E.; Baldwin, S.; Diamond, D. Paired emitter-detector light emitting diodes for the measurement of lead(II) and cadmium(II). *Analytica Chimica Acta* 2006, **569**, 221-226.
80. Barron, L.; Nesterenko, P.N.; Diamond, D.; O'Toole, M.; Lau, K.-T.; Paull, B. Low pressure ion chromatography with a low cost paired emitter-detector diode based detector for the determination of alkaline earth metals in water samples. *Analytica Chimica Acta* 2006, **577**, 32-37.
81. O'Toole, M.; Lau, K.-T.; Shepherd, R.; Slater, C.; Diamond, D. Determination of Phosphate using a Highly Sensitive Paired Emitter-Detector Diode Photometric Detector. *Analytica Chimica Acta* 2007, **597**, 290-294.
82. Mims III, F.M. Sun photometer with light emitting diode as spectrally selective detectors. *Applied Optics* 1992, **31**, 6965-6967.
83. Acharya, Y.B.; Jayaraman, A.; Ramachandran, S.; Subbaraya, B.H. Compact light-emitting diode sun photometer for atmospheric optical depth measurements. *Applied Optics* 1995, **34**, 1209-1214.
84. Berry, R.J.; Harris, J.E.; Williams, R.R. Light-Emitting Diodes as Sensors for Colorimetric Analyses. *Applied Spectroscopy* 1997, **51**, 1521-1524.
85. Eiichi, M.; Shin, I.; Tsutomu, A. Using a light-emitting diode as a high-speed, wavelength selective photodetector. *Review of Scientific Instruments* 1998, **69**, 3751-3754.
86. Betteridge, D. Flow Injection Analysis. *Analytical Chemistry* 1978, **50**, 832A-846A.
87. Betteridge, D.; Sly, T.J.; Wade, A.P.; Porter, D.G. Versatile automatic development system for flow injection analysis. *Analytical Chemistry* 1986, **58**, 2258-2265.
88. Jambunathan, S.; Dasgupta, P.K.; Wolcott, D.K.; Marshall, G.D.; Olson, D.C. Optical fiber coupled light emitting diode based absorbance detector with a reflective flow cell. *Talanta* 1999, **50**, 481-490.
89. Daykin, R.N.C.; Haswell, S.J. Development of a micro flow injection manifold for the determination of orthophosphate. *Analytica Chimica Acta* 1995, **313**, 155-159.
90. Carroll, M.K.; Conboy, M.; Murfin, A.; Tyson, J.F. Solid-state microprocessor-controlled detector for doublet peak measurements in flow-injection analysis. *Analytica Chimica Acta* 1994, **295**, 143-149.
91. Johns, C.; Macka, M.; Haddad, P.R. Design and performance of a light-emitting diode detector compatible with a commercial capillary electrophoresis instrument. *Electrophoresis* 2004, **25**, 3145-3152.
92. Liu, S.; Dasgupta, P.K. Liquid Droplet. A Renewable Gas Sampling Interface. *Analytical Chemistry* 1995, **67**, 2042-2049.
93. Cardoso, A.A.; Dasgupta, P.K. Analytical Chemistry in a Liquid Film/Droplet. *Analytical Chemistry* 1995, **67**, 2562-2566.
94. Liu, H.; Dasgupta, P.K. A Renewable Liquid Droplet as a Sampler and a Windowless Optical Cell. Automated Sensor for Gaseous Chlorine. *Analytical Chemistry* 1995, **67**, 4221-4228.
95. King, M.; Paull, B.; Haddad, P.R.; Macka, M. Performance of a simple UV LED light source in the capillary electrophoresis of inorganic anions with indirect detection using a chromate background electrolyte. *The Analyst* 2002, **127**, 1564-1567.

96. Kuban, P.; Guchardi, R.; Hauser, P.C. Trace-metal analysis with separation methods. *Trends in Analytical Chemistry* 2005, 24, 192-198.
97. Pacquit, A.; Lau, K.T.; McLaughlin, H.; Frisby, J.; Quilty, B.; Diamond, D. Development of a volatile amine sensor for the monitoring of fish spoilage. *Talanta* 2006, 69, 515-520.
98. Artur, D.; Wojciech, W.; Janusz, M.; Ryszard, S.R.; Zbigniew, B. Fiber optic probe for monitoring of drinking water, presented at Chemical, Biochemical and Environmental Fiber Sensors IX, Munich, 1997.
99. Dybko, A.; Wroblewski, W.; Rozniecka, E.; Pozniakb, K.; Maciejewski, J.; Romaniuk, R.; Brzozka, Z. Assessment of water quality based on multiparameter fiber optic probe. *Sensors and Actuators B: Chemical* 1998, 51, 208-213.
100. Smardzewski, R.R. Multi-element optical waveguide sensor: General concept and design. *Talanta* 1988, 35, 95-101.
101. Li, Q.; Morris, K.J.; Dasgupta, P.K.; Raimundo, I.M.; Temkin, H. Portable flow-injection analyzer with liquid-core waveguide based fluorescence, luminescence, and long path length absorbance detector. *Analytica Chimica Acta* 2003, 479, 151-165.
102. Ramirez-Garcia, S.; Diamond, D. Biomimetic, low power pumps based on soft actuators. *Sensors and Actuators A* 2007, 135, 229-235.
103. Ramirez-Garcia, S.; Diamond, D. Internet-scale Sensing: Are Biomimetic Approaches the Answer? *Journal of Intelligent Material Systems and Structures* 2007, 18, 159-164.
104. Diamond, D.; Lau, K.T.; Brady, S.; Cleary, J. Integration of analytical measurements and wireless communications—Current issues and future strategies. *Talanta* 2007, *In Press, Corrected Proof*.
105. Hooley, D.J.; Dessy, R.E. Continuous flow kinetic techniques in flow injection analysis. *Analytical Chemistry* 1983, 55, 313-320.
106. Zagatto, E.A.G.; Arruda, M.A.Z.; Jacintho, A.O.; Mattos, I.L. Compensation of the schliereneffect in flow-injection analysis by using dual-wavelength spectrophotometry. *Analytica Chimica Acta* 1990, 234, 153-160.
107. Eom, I.-Y.; Dasgupta, P.K. Frequency-selective absorbance detection: Refractive index and turbidity compensation with dual-wavelength measurement. *Talanta* 2006, 69, 906-913.
108. Beach, J.M. A LED light calibration source for dual-wavelength microscopy. *Cell Calcium* 1997, 21, 63-68.
109. Schnable, J.G.; Grochowski, P.J.; Wilhelm, L.; Harding, C.; Kiefer, M.; Orr, R.S. Portable LEDarray VIS-NIR spectrophotometer/nephelometer. *Field Analytical Chemistry and Technology* 1998, 2, 21-28.
110. Suzuki, Y.; Hori, H.; Iwatsuki, M.; Yamane, T. A four-wavelength channel absorbance detector with a light emitting diode-fiber optics assembly for simplifying the flow-injection analysis system. *Analytical Sciences* 2003, 19, 1025-1028.
111. Cantrell, K.M.; Ingle, J.D. The SLIM Spectrometer. *Analytical Chemistry* 2003, 75, 27-35.
112. Zude, M.; Birlouez-Aragon, I.; Paschold, P.-J.; Rutledge, D.N. Non-invasive spectrophotometric sensing of carrot quality from harvest to consumption. *Postharvest Biology and Technology* 2007, *In Press, Corrected Proof*.
113. Fonseca, A.; Raimundo Jr, I.M. A simple method for water discrimination based on an light emitting diode (LED) photometer. *Analytica Chimica Acta* 2007, 596, 66-72.
114. Gros, N.A novel type of tri-colour light-emitting-diode-based spectrometric detector for lowbudget flow-injection analysis. *Sensors* 2007, 7, 166-184.
115. Yang, P.K.; Chen, J.C.; Chuang, Y.H. Improvement on reflective color measurement using a tricolor LED by multi-point calibration. *Optics Communications* 2007, 272, 320-324.
116. Rocha, F.R.P.; Reis, B.F. A flow system exploiting multicommuration for speciation of inorganic nitrogen in waters. *Analytica Chimica Acta* 2000, 409, 227-235.

117. Mims III, F.M. How to monitor ultraviolet radiation from the sun. *Scientific American* 1990, 263, 106-109.
118. Riley, M.R.; Jordan, K.A.; Cox, M.L. Development of a cell-based sensing device to evaluate toxicity of inhaled materials. *Biochemical Engineering Journal* 2004, 19, 95-99.
119. Kawamura, K.; Vestergaard, M.d.; Ishiyama, M.; Nagatani, N.; Hashiba, T.; Tamiya, E. Development of a novel hand-held toluene gas sensor: Possible use in the prevention and control of sick building syndrome. *Measurement* 2006, 39, 490-496.
120. Smiddy, M.; Papkovskaia, N.; Papkovsky, D.B.; Kerry, J.P. Use of oxygen sensors for the non-destructive measurement of the oxygen content in modified atmosphere and vacuum packs of cooked chicken patties; impact of oxygen content on lipid oxidation. *Food Research International* 2002, 35, 577-584.
121. Firstenberg-Eden, R.; Shelef, L.A. A new rapid automated method for the detection of *Listeria* from environmental swabs and sponges. *International Journal of Food Microbiology* 2000, 56, 231-237.
122. Pacquit, A.; Frisby, J.; Diamond, D.; Lau, K.T.; Farrell, A.; Quilty, B.; Diamond, D. Development of a smart packaging for the monitoring of fish spoilage. *Food Chemistry* 2007, 102, 466-470.
123. Ichikawa, T.; Horiuchi, M.; Ichiba, H.; Matsumoto, N. Trial production and application of an optical system for measuring the movements of organs composed of soft tissue. *The Journal of Prosthetic Dentistry* 1990, 64, 227-231.
124. Mitrani, A.A.; Gonzalez, M.L.; O'Connell, M.T.; Guerra, J.; Harwood, R.B.; Gardner, L.B. Detection of clinically suspected deep vein thrombosis using light reflection rheography. *The American Journal of Surgery* 1991, 161, 646-650.
125. Teshima, N.; Li, J.; Toda, K.; Dasgupta, P.K. Determination of acetone in breath. *Analytica Chimica Acta* 2005, 535, 189-199.
126. Singh, S. Sensors-An effective approach for the detection of explosives. *Journal of Hazardous Materials* 2007, *In Press*.
127. Lee, R.S.; Aldis, D.F.; Garrett, D.W.; Lai, F.S. Improved diagnostics for determination of minimum explosive concentration, ignition energy and ignition temperature of dusts. *Powder Technology* 1982, 31, 51-62.
128. Pamula, V.K.; Svinivasan, V.; Chakrapani, H.; Fair, R.B.; Toone, E.J. A droplet-based lab-on-a-chip for colorimetric detection of nitroaromatic explosives, presented at Micro Electro Mechanical Systems, 2005. , 2005.
129. Koch, S.; Wolf, H.; Danapel, C.; Feller, K.A. Optical flow-cell multichannel immunosensor for the detection of biological warfare agents. *Biosensors and Bioelectronics* 2000, 14, 779-784.
130. Higgins, J.A.; Nasarabadi, S.; Karns, J.S.; Shelton, D.R.; Cooper, M.; Gbakima, A.; Koopman, R.P. A handheld real time thermal cyler for bacterial pathogen detection. *Biosensors and Bioelectronics* 2003, 18, 115-1123.
131. Lyddy-Meaney, A.J.; Ellis, P.S.; Worsfold, P.J.; Butler, E.C.V.; McKelvie, I.D. A compact flow injection analysis system for surface mapping of phosphate in marine waters. *Talanta* 2002, 58, 1043-1053.
132. Ellis, P.S.; Lyddy-Meaney, A.J.; Worsfold, P.J.; McKelvie, I.D. Multi-reflection photometric flow cell for use in flow injection analysis of estuarine waters. *Analytica Chimica Acta* 2003, 499, 81-89.
133. Blundell, N.J.; Worsfold, P.J.; Casey, H.; Smith, S. The design and performance of a portable, automated flow injection monitor for the in-situ analysis of nutrients in natural waters. *Environmental International* 1995, 21, 205-209.
134. Gardolinski, P.C.F.C.; David, A.R.J.; Worsfold, P.J. Miniature flow injection analyser for laboratory, shipboard and in situ monitoring of nitrate in estuarine and coastal waters. *Talanta* 2002, 58, 1015-1027.

135. David, A.R.J.; McCormack, T.; Morris, A.W.; Worsfold, P.J. A submersible flow injectionbased sensor for the determination of total oxidised nitrogen in coastal waters. *Analytica Chimica Acta* 1998, 361, 63-72.
136. Andrew, K.N.; Worsfold, P.J.; Comber, M. On-line flow injection monitoring of ammonia in industrial liquid effluents. *Analytica Chimica Acta* 1995, 314, 33-43.
137. Benson, R.L.; McKelvie, I.D.; Hart, B.T.; Truong, Y.B.; Hamilton, I.C. Determination of total phosphorus in waters and wastewaters by on-line UV/thermal induced digestion and flow injection analysis. *Analytica Chimica Acta* 1996, 326, 29-39.
138. Dasgupta, P.K.; Huang, H.; Zhang, G.; Cobb, G.P. Photometric measurement of trace As(III) and As(V) in drinking water. *Talanta* 2002, 58, 153-164.
139. Vachirapatama, N.; Macka, M.; Haddad, P.R. Separation and determination of vanadium in fertilizer by capillary electrophoresis with light-emitting diode detector. *Analytical Bioanalytical Chemistry* 2002, 374, 1082-1085.
140. Hauser, P.C.; Rupasinghe, T.W.T.; Lucas, C.C.; McClure, A. Process monitor for an ammoniacal nickel solution employing an infrared light-emitting diode and a log-ratio amplifier. *The Analyst* 1995, 120, 2635-2638.
141. Chapin, T.P.; Jannasch, H.W.; Johnson, K.S. In situ osmotic analyzer for the year-long continuous determination of Fe in hydrothermal systems. *Analytica Chimica Acta* 2002, 463, 265-274.
142. Young, R; Muray, K; Jones, C. Quantifying photometric spectral mismatch uncertainties in LED measurements. *Cie 2nd Expert Symposium on LEDs*.

PID 6143 Denominación del Proyecto

Análisis de Técnicas de Iluminación LED para aplicación en fotometría

Director del proyecto

KNUTTZEN, Rosana Guadalupe

Codirector

BALDUCCI, Fernando Diego

Unidad Ejecutora

Facultad de Ingeniería (UNER)

Dependencia

Universidad Nacional de Entre Ríos

Cátedras Área o disciplina científica

Instrumental de Laboratorio Clínico

Contacto

rknuttzen@ingenieria.uner.edu.ar

Integrantes del Proyecto

HIRIGOYEN, German Martín; RAMIREZ, Carlos Rodolfo

Becarios

MUÑOZ, Ayelen Soledad. FIUNER

Fechas de iniciación y de finalización efectivas

1 de febrero de 2015 y 1 de agosto de 2017.

Aprobación del Informe Final por Resolución CS N°317/17 (03/10/2017)

«« [VOLVER AL INICIO](#)