

REDISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D PARA AUTOMATIZAR EL PROCESO DE DEGRADACIÓN POR RADIACIÓN ULTRA VIOLETA

Informe Proyecto Final de Carrera



Ingeniería Electrónica

Alumno: Armanasco Bermúdez, Matías Nicolás
Directores: Santos, Rodrigo & Pistonesi, Marcelo

Abril 2022

Resumen

En este informe se refleja el trabajo realizado para rediseñar una impresora 3D obsoleta y automatizar la exposición a radiación UV de múltiples muestras, en el contexto del Proyecto Final de Carrera para obtener el título de grado de Ingeniería Electrónica.



Agradecimientos

A mis padres, Gabriela y Roberto, por el apoyo incondicional durante todos estos años de universidad. Por acompañarme y ayudarme en todo lo que pudieron, por todas esas mañanas que me preparaban el desayuno para que salga más rápido y no pierda la 319, y por esperarme en la parada las noches de invierno cuando volvía tarde. Gracias, este título también es suyo.

A los amigos y compañeros que me dio esta hermosa carrera, estoy convencido que la experiencia universitaria no debe transitarse solo, rodearse de la gente correcta te ayuda de muchas maneras, no sólo en lo académico. En particular quiero agradecerles a Micha, Sol y Rami por todos estos años de amistad llenos de mañanas, tardes y noches de mates y estudio. Sin ustedes no hubiera llegado hasta acá.

Al Departamento de Ingeniería Eléctrica y de Computadoras por abrirme las puertas, por todo lo que me enseñó, por su comunidad, y por haberme cruzado con docentes sobresalientes pero además buenas personas. El DIEC ha llegado a ser mi segunda casa durante estos años.

A quienes me ayudaron durante este proyecto, Mica, Marian, Eli y los chicos del Laboratorio de Química, en este trabajo hay un granito de arena de varias personas a quienes acudí en busca de ayuda cuando un problema me sobre pasaba.

Índice

1. Introducción	4
1.1. Motivación	4
1.2. Objetivos	4
2. Marco teórico	5
2.1. Espectro Electromagnético	5
2.1.1. Radiación Ultravioleta	6
2.2. Absorbancia	6
3. Diseño y armado del prototipo	8
3.1. Puesta a punto Impresora 3D	8
3.2. Driver leds	9
3.3. Controlador	11
3.4. Script	12
3.4.1. SBC Python	13
3.4.2. Impresora G-Code	13
3.5. Distribución muestras	15
3.6. Soportes	15
3.7. Conexionado	17
4. Experimentación	18
4.1. Setup	18
4.2. Blanco	19
4.3. Procedimiento	21
5. Resultados	22
5.1. Próximos Pasos	24
6. Conclusiones	25
7. Bibliografía	26
Appendices	27
A. G-CODE	27
B. Material	27
C. Script	27
C.1. Python	27
C.2. G-code	28

1. Introducción

1.1. Motivación

Los procesos de automatización en la industria y la investigación están permitiendo disminuir cada vez más los costos y los tiempos de los procedimientos reduciendo la intervención humana. Particularmente en este caso, además, las actividades científicas se ven beneficiadas al asegurar precisión en los movimientos, repetitividad en los ensayos y confiabilidad en los resultados debido a que disminuyen las probabilidades de error humano en las pruebas que se realizan. La automatización implica el uso conjunto de sensores, actuadores y procesadores para llevar a cabo una tarea específica.

El avance de las tecnologías de producción electrónica permitió que disminuyan los costos de sensores y actuadores generando un gran impacto en la robótica, ya que ahora son componentes de más fácil acceso. Esta masificación logró que, por ejemplo, todos conozcamos al menos a alguien que tiene una impresora 3D en su hogar.

1.2. Objetivos

El objetivo de este Proyecto Final de Carrera es poder combinar estos dos conceptos mencionados anteriormente, es decir, tomar ventaja de la accesibilidad que actualmente existe de la tecnología necesaria para realizar una automatización y generar un producto que agregue valor al Laboratorio de Química Analítica permitiéndole realizar nuevas y mejores mediciones.

Se propone realizar un prototipo funcional de una máquina de degradación por radiación ultravioleta. Para ello se requiere reparar una impresora 3D en desuso y aprender a manejarla para poder realizar movimientos a elección, reemplazar el sistema de extrusión de plástico y adaptarle un soporte con LEDs que irradién en el espectro UV y un microscopio para poder capturar el proceso de degradación, coordinar los movimientos de la impresora con el encendido de los LEDs y la captura de fotografías, y realizar un relevamiento del funcionamiento de los LEDs ya que no hay documentación al respecto de cómo funcionan ni la dosis radiada (datos que sí se encuentran de las lámparas UV, ampliamente utilizadas en el área Química).

Este proceso permitirá integrar los conocimientos adquiridos por el alumno a lo largo de la carrera pudiendo aplicar conceptos de Electrónica Digital, Electrónica Analógica y Programación. A su vez presenta otros desafíos como aprender a utilizar nuevas herramientas y, el más importante, combinar todo lo anterior mencionado con una disciplina ajena como lo es la Química; esto implica enfrentarse a conceptos y prácticas distintas a las conocidas a lo largo de la carrera.

2. Marco teórico

2.1. Espectro Electromagnético

El espectro electromagnético es el conjunto de ondas electromagnéticas de distintos niveles de energía producidas por la aceleración de partículas cargadas distribuidas a lo largo de un rango, o espectro, de frecuencias. Las ondas electromagnéticas se caracterizan mediante tres parámetros principales: frecuencia, longitud de onda y velocidad de propagación. La frecuencia es la medida del número de ciclos o repeticiones de la onda por unidad de tiempo (f), la longitud de onda es la distancia física entre dos puntos a partir de los cuales la onda se repite (λ), y la velocidad de propagación es la relación que existe entre un espacio recorrido igual a una longitud de onda y el tiempo empleado en recorrerlo (v) en el vacío es igual a la velocidad de la luz c . A mayor frecuencia menor es la longitud de onda, se relacionan con la siguiente fórmula

$$v = f\lambda \quad (1)$$

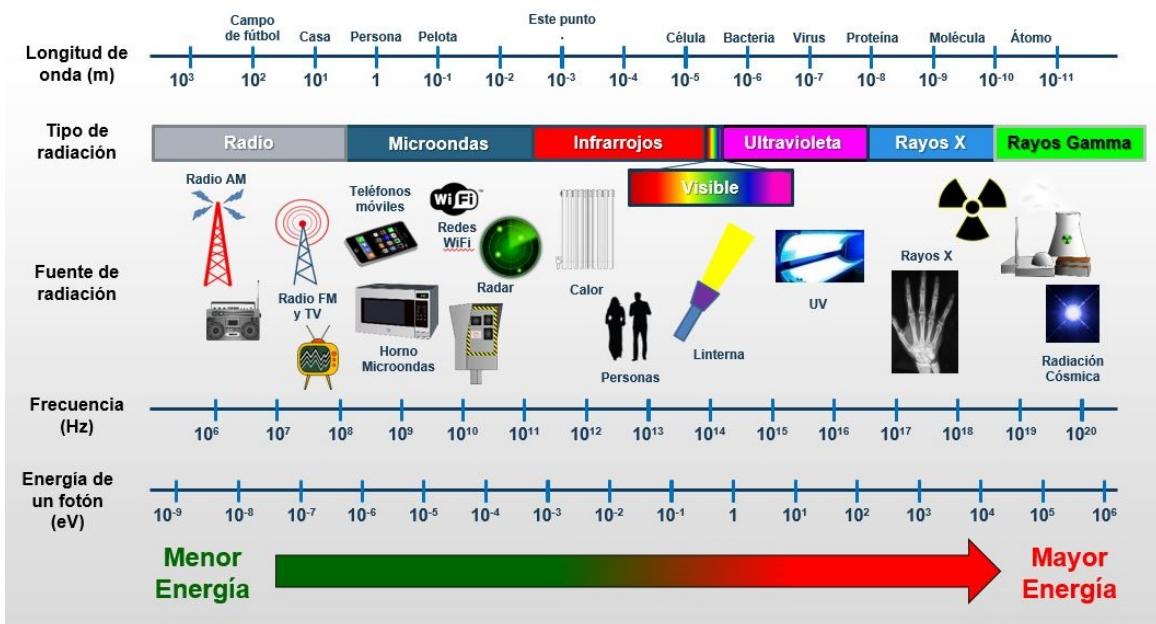


Figura 1: Espectro EM

Este rango de frecuencias se representa con el gráfico que podemos ver en la Figura 1, a la izquierda se encuentran las frecuencias menores y a la derecha las mayores.

A nivel atómico las partículas cargadas energéticamente presentan un comportamiento denominado dual, es decir que pueden comportarse tanto como ondas o como partículas dependiendo el contexto en el que se encuentren. Mientras están en el vacío viajan a la velocidad de la luz como una onda, pero cuando se encuentran con átomos o moléculas cambian su comportamiento al de una partícula con una energía asociada. Esta energía es conocida ya que guarda una relación con las características de su forma de onda, lo que se denomina comportamiento cuántico y se describe mediante la ecuación de Einstein-Plank:

$$E = hf \quad (2)$$

Donde:
 E = energía
 h = constante de Plank
 f = frecuencia

El orden ascendente de frecuencias del gráfico anterior coincide con la energía asociada ya que guardan una relación directamente proporcional, es decir, a medida que la frecuencia aumenta, también lo hace la energía de las partículas volviéndolas peligrosas para algunas formas de vida dependiendo de la dosis y el tiempo de exposición a las mismas. En el caso de estudio de este trabajo nos concentraremos en la zona denominada Ultravioleta.

2.1.1. Radiación Ultravioleta

El rango de los 400nm a 100nm se denomina región ultravioleta, la cual en su mayoría es dañina para los humanos afectando principalmente a la piel, pero no solo para los humanos sino para otros seres vivos también. Este tipo de radiación es utilizada para esterilizar objetos, por ejemplo de medicina, ya que las bacterias y otras formas de vida de un tamaño similar no soportan la radiación ultravioleta y son exterminadas por su alta energía. Recientemente con la pandemia este tipo de esterilización ha ganado protagonismo ya que se han diseñado dispositivos para sanitizar desde objetos personales como celulares o llaves hasta lugares públicos como los interiores de los colectivos de pasajeros o vagones de subte.

Dentro del espectro de frecuencias comprendidas para el ultravioleta existen subdivisiones de las cuales las tres principales son las denominadas UVA (de 400-315nm), UVB (de 315 a 280nm) y UVC (de 280 a 100nm). El UVA es el menos peligroso, es utilizado en aplicaciones de cosmética o las típicas "luces negras" que hacen brillar objetos blancos en la oscuridad. Los otros dos van aumentando en energía y son, por conseciente, más peligrosos; estos son utilizados para sanitización de agua u otros fines similares pero nunca estando en contacto con la piel ya que pueden producir daño a nivel celular. El efecto de la radiación en estas frecuencias es el mismo que el del Sol en verano, motivo por el cual se recomienda utilizar bloqueador solar.

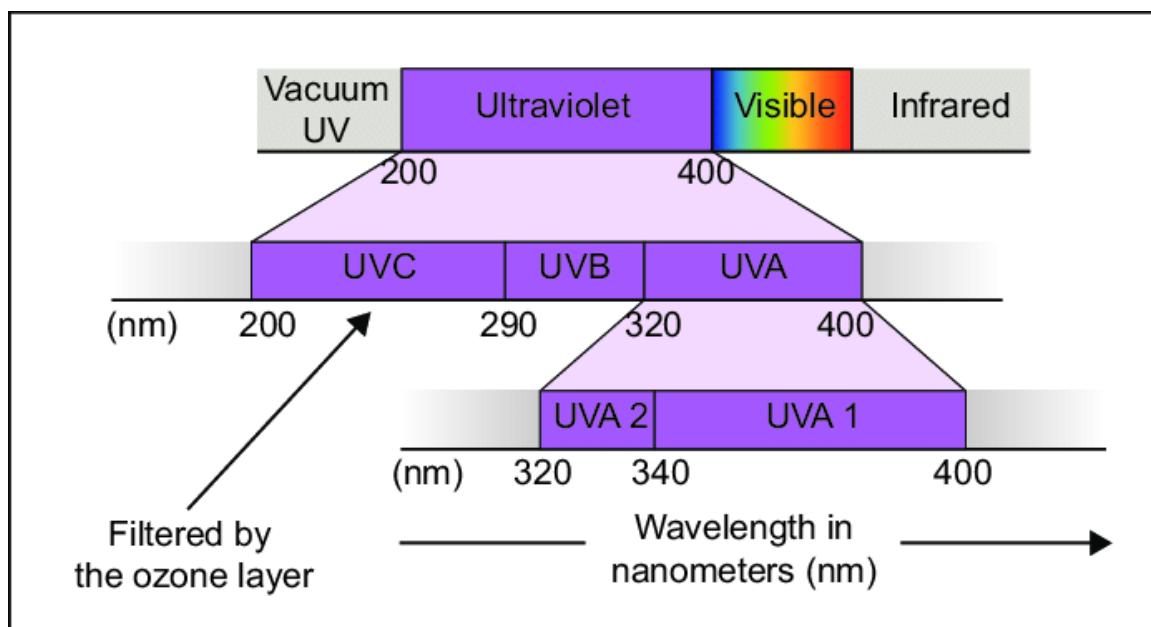


Figura 2: Región UV

2.2. Absorbancia

Una manera de poder cuantizar cómo influye la energía de una onda electromagnética en una sustancia es medir la diferencia que se genera luego de que ésta atraviese una muestra del material. Cuando la diferencia de energía del último orbital de un átomo es similar a energía de la partícula que lo atraviesa, parte de esta energía será absorbida por la muestra y parte continuará su camino pero podrá observarse claramente que su intensidad disminuyó por este intercambio. Mediante una relación entre estos dos valores (señal incidente y transmitida) se define la absorbancia como:

$$A = -\log \frac{I_T}{I_0} \quad (3)$$

Donde:

A = absorbancia

I_0 = intensidad incidente

I_T = intensidad transmitida

O también mediante la ley de Beer-Lambert como:

$$A = \epsilon bc \quad (4)$$

Donde:

A = absorbancia

ϵ = coeficiente de absorbancia

b = longitud de la cubeta

c = concentración de la solución

El coeficiente de absorbancia ϵ es característico de cada solución y es un valor fijo. Ambas ecuaciones están definidas para una longitud de onda fija.

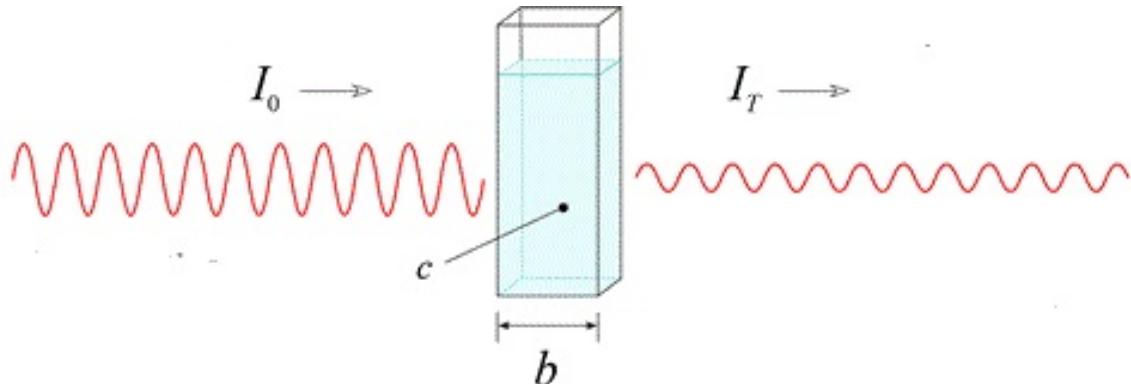


Figura 3: Absorbancia

Un ejemplo muy característico de este fenómeno es el que sucede con la flora. Generalmente las plantas tienen follaje verde, esto se debe a que la clorofila en sus células absorben la luz en las longitudes de onda del color rojo y azul, resultando que la señal transmitida luego de realizarse la interacción de la luz visible con las hojas sea la longitud de onda correspondiente al color verde.

3. Diseño y armado del prototipo

Luego de realizar varias reuniones con los directores del proyecto y algunos becarios del Laboratorio de (buscar el nombre completo de Analítica) se acordó comenzar a trabajar en un prototipo de una máquina que, de manera autónoma, degrade muestras de alguna sustancia de interés y luego le tome fotografías. En principio se utilizará con muestras de puré de tomate comerciales para determinar la presencia de colorantes cancerígenos prohibidos para uso en la industria alimenticia.

El prototipo se basará en la estructura de una impresora 3D de las primeras generaciones la cual quedó en desuso por los avances en los modelos posteriores, quedando obsoleta tanto por su precisión como por el material que utilizaba. Sobre esta base se montará una plataforma modular multipropósito que podrá ser utilizada para diferentes casos de análisis. Siempre el diseño estará pensado en que la máquina pueda cambiar su objetivo y la técnica que implementa para ello, es decir, para futuras aplicaciones podría reemplazarse la degradación UV por otro método o utilizar en simultáneo la cama caliente (que esta ocasión no fue necesario implementar) para mantener a una determinada temperatura las muestras.

En esta sección se describe el proceso llevado a cabo para la creación del prototipo.

3.1. Puesta a punto Impresora 3D

El primer paso en este desarrollo fue la puesta a punto de la impresora 3D, este proceso consistió en calibrar los sensores llamados comúnmente Finales de Carrera los cuales consisten en un interruptor analógico tipo switch el cual brinda una señal binaria, mientras no este funcionando tiene un valor de 0V y cuando es presionado porque el extrusor en ese eje llegó al final de la varilla tiene un valor de 5V; la señal a la placa controladora que en este caso era una RAMPS 1.4 con un Arduino MEGA. Estos sensores se encontraban desconectados, fuera de su lugar de funcionamiento e incluso faltaba uno.

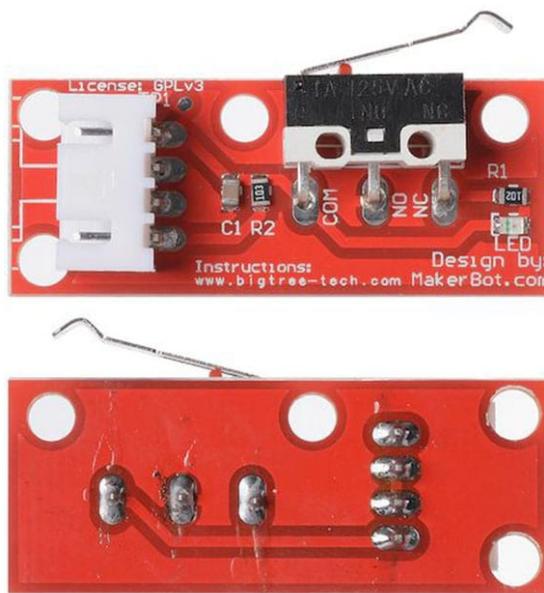


Figura 4: Sensor Final de Carrera

Lo que se hizo fue buscar en librerías gratuitas de internet unos soportes resistentes que sean mejores que los que traía originalmente la impresora para que no se desarmen cuando son presionados repetidas veces, y se completó el que faltaba con una pieza de repuesto que había en el inventario del laboratorio. Los soportes fueron impresos en 3D también en el laboratorio.

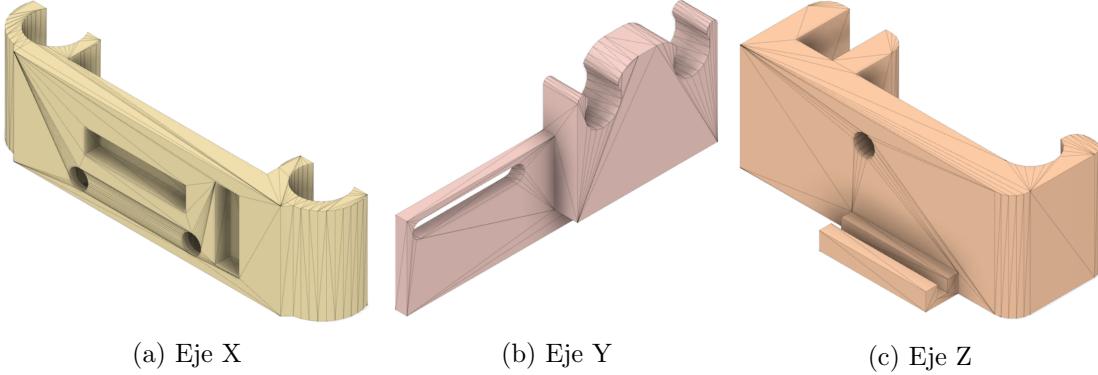


Figura 5: Soportes para Finales de Carrera

Más allá de del trabajo de los sensores y acomodar el lugar por donde pasaban algunos cables no se encontraron mayores inconvenientes mecánicos para hacer funcionar la impresora, por lo que se prosiguió a estudiar el lenguaje de programación llamado G-Code que es con el cual se controlan los movimientos de los ejes mecánicos. Generalmente este lenguaje es transparente al usuario de impresoras 3D ya que luego de diseñar la pieza en el software de preferencia existen conversores que traducen el objeto que se desea imprimir, por ejemplo del formato .stl, a .g (G-Code) el cual es interpretado por la impresora 3D creando así el objeto físicamente con plástico. El lenguaje fue diseñado con este objetivo de poder ser generado automáticamente y por eso es que también es poco amigable con el usuario ya que cada comando consiste en una letra y un número, puede ser la G o la M seguidas siempre de un número y luego los parámetros correspondientes a la función en cuestión.

Se relevaron los principales comandos del lenguaje (como los movimientos en cada eje, las pausas por tiempo determinado, etc) y aquellos que podrían llegar a servir para las funcionalidades que se buscaban en este prototipo. Esto puede verse resumido en el apéndice A donde se deja una tabla para facilitar el acceso a la información en caso de ser necesario realizar alguna modificación en el código de la impresora para versiones futuras del prototipo.

Con esta base adquirida se comenzaron a realizar pruebas con algoritmos muy cortos para aprender a controlar arbitrariamente los movimientos en los tres ejes los cuales luego fueron creciendo en complejidad sumándole tiempos de pausa que servirían luego para coordinar con el encendido de los leds.

3.2. Driver leds

Se realizó una breve investigación de los leds ofrecidos en el mercado que emitían en el espectro UV y se decidió optar por dos tipos, uno de ellos en 280nm. (de ahora en adelante led C) y otro en 300nm. (de ahora en adelante led A). El led C es de menor longitud de onda lo cual significa que es mayor energéticamente hablando que el led A, pero se eligió esta combinación porque en términos de potencia eléctrica sucede lo inverso, el led A tiene mayor potencia. Con esta configuración se quería probar si de esa manera se compensaban los efectos sobre la muestra y se podía atacarla en dos longitudes de onda al mismo tiempo.

	LED A	LED C
Alimentación	3.3 a 3.6V	5 a 8V
Corriente	700mA	120mA
Potencia	3W	1W
Long. Onda	400nm	280nm

Tabla 1: Especificaciones LEDs UV



Figura 6: LEDs UV

Una vez seleccionados los leds que serían utilizados en el prototipo, se buscó un par de leds en color blanco que sean equivalentes eléctricamente para poder probar el circuito de alimentación de los mismos sin presentar un riesgo para la salud. El circuito que se implementó se muestra en la siguiente figura, el criterio de diseño se basó en una topología de transistores BJT con los cuales se puede controlar la corriente que circula por cada led asegurando así que no se dañe el mismo. En el caso del led A se colocó un regulador de voltaje de 9V para evitar que la caída de tensión en el TIP31D se grande y esto lleve a que levante mucha temperatura al trabajar, a este regulador se le colocó un disipador de aluminio para evitar este mismo efecto.

Como medida de seguridad se agregó un LED de alto brillo color azul que se enciende con la misma señal que los UV, la finalidad es tener algún tipo de alerta visual que indique el peligro de la radiación. Esta medida podría reemplazarse por un buzzer para tener una alerta auditiva, o colocarse en paralelo y tener ambas.

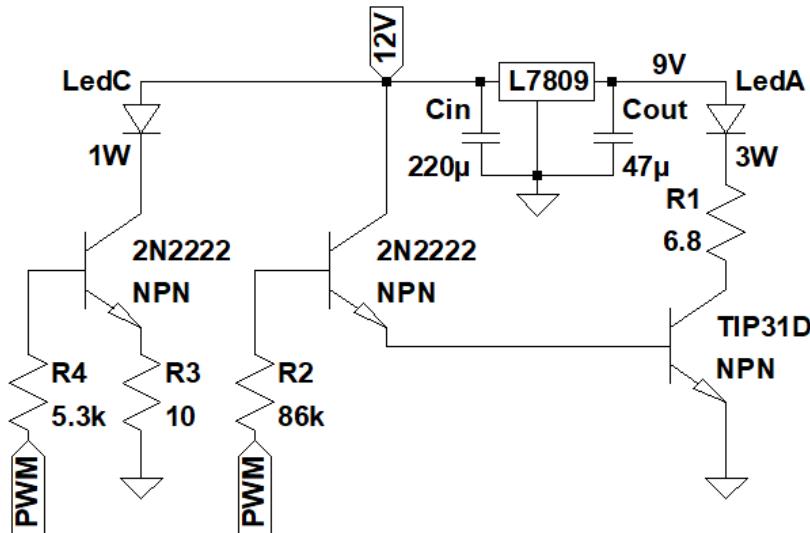


Figura 7: Circuito esquemático

En principio el circuito se implementó en una protoboard para corroborar el funcionamiento con los leds blancos, allí se encontró un primer error de diseño porque se utilizó como guía la hoja de datos del transistor 2N2222P y los transistores utilizados eran 2N2222. Ambos eran transistores tipos NPN pero la diferencia radicaba en que tenían intercambiados de lugar el colector y emisor. Luego de corregir la posición de los transistores para que funcionen correctamente se solucionó el problema de temperatura que se mencionó antes utilizando un regulador de tensión LM09 para evitar el calentamiento del TIP31D. Este mismo circuito fue utilizado para realizar las pruebas en el laboratorio, ver sección 4.1.

Una vez asegurado el funcionamiento se prosiguió a diseñar el circuito impreso para fabricar la

placa que finalmente estará en el prototipo. Se utilizó el software libre llamado Fritzing, el cual había sido utilizado previamente en el curso Diseño de Circuitos Lógicos donde se aprendieron las reglas de diseño básicas para realizar un circuito impreso.

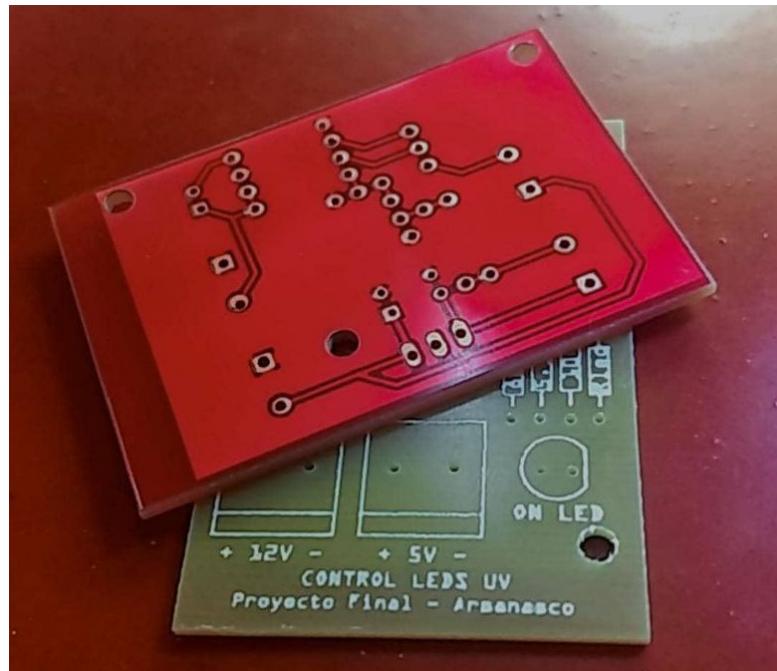


Figura 8: PCB

Cuando la placa estuvo finalizada como se la puede ver en la Figura 9 se hallaron dos errores, uno de diseño y uno de fabricación los cuales se solucionaron fácilmente colocando puentes por la cara superior.

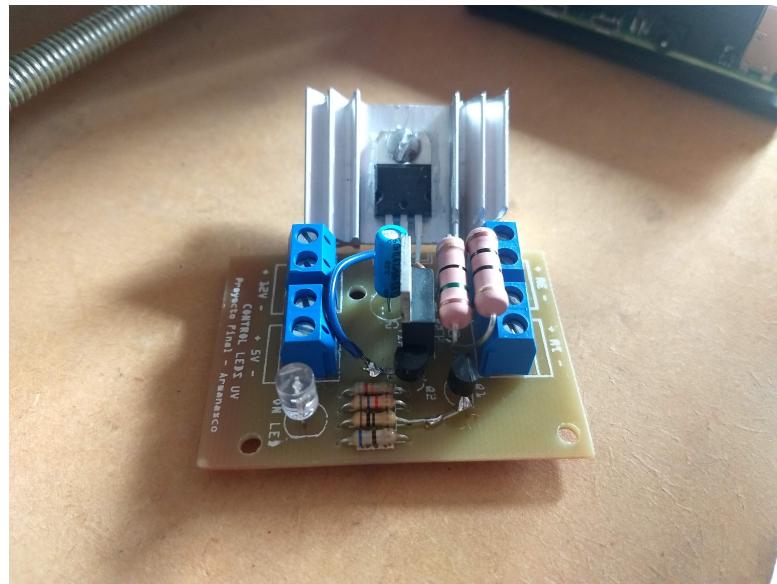


Figura 9: Placa con los componentes soldados

3.3. Controlador

Para el control del encendido de los leds y la toma de fotografías con el microscopio se decidió utilizar la SBC (Single Board Computer) Raspberry Pi 4 model B. Esta mini computadora es muy poderosa y tiene la particularidad de tener multiples entradas y salidas analógicas y digitales las cuales permiten utilizarla para automatización o control de procesos. Si bien la capacidad de procesamiento

de este modelo cubre ampliamente las tareas para las cuales se programará, fue escogido entre las otras opciones porque en futuras versiones de la máquina se implementará procesamiento de imágenes directamente en la Raspberry Pi con las fotografías tomadas por el microscopio sobre las muestras para entregar un análisis pre-procesado al operario.

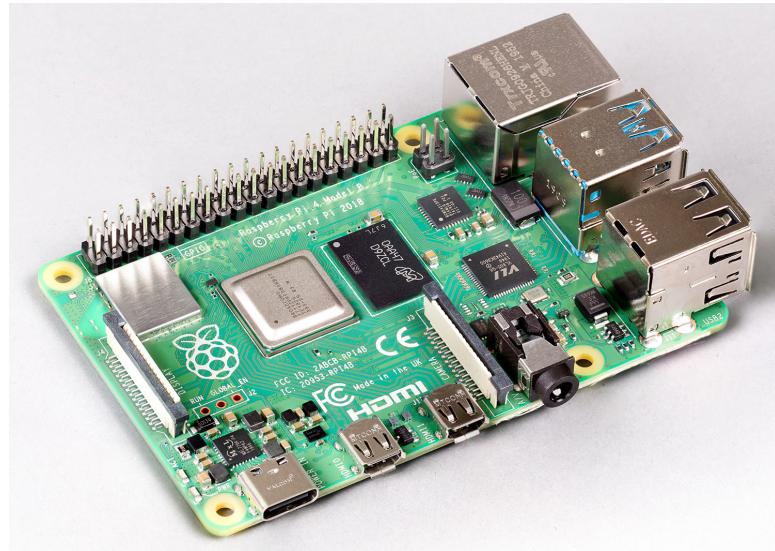


Figura 10: Rapberry Pi 4B

Datos técnicos:

Alimentación	5V
Consumo	3A
Procesador	Broadcom BCM2711
SDRAM	8GB
USB 2.0	2
USB 3.0	2
PoE	Si

La primer tarea realizada sobre la placa fue configurarla para poder programarla, se instaló el sistema operativo Raspbian. Luego se comenzaron a realizar pruebas por separado del código encargado de la captura de imágenes y del PWM para encender los leds*[anexo: breve explicación de pwm], esto se explica en detalle en la siguiente subsección.

3.4. Script

El código de programación fue realizado en pequeños bloques para probar la funcionalidad de manera individual y luego poder agrupar las funciones de acuerdo al siguiente diagrama de flujo

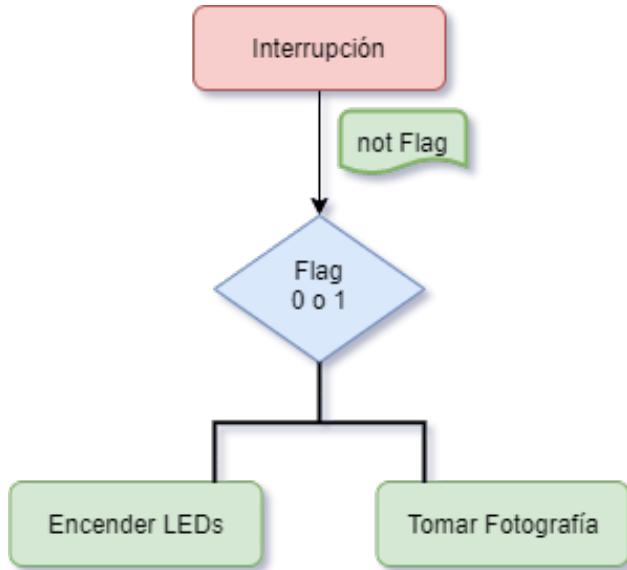


Figura 11: Diagrama de Flujo

3.4.1. SBC | Python

El bloque de PWM primero fue implementado en una placa de desarrollo Arduino UNO para adelantar pruebas mientras llegaba la compra de la Raspberry Pi. Con esta configuración se realizaron las pruebas de laboratorio descritas en 4.1.

Luego el bloque de capturas de imágenes fue testeado en la plataforma Spyder de Anaconda ya que al utilizar el lenguaje Python una vez depurado el código se podría reutilizar directamente en la Raspberry Pi sin realizar cambios. En la etapa inicial se utilizó la cámara integrada de la notebook donde se realizaron las primeras pruebas, luego desde el microscopio conectado mediante un puerto USB a la notebook, y finalmente se migró a la SBC.

Para coordinar los movimientos de la impresora con el encendido de los leds y la captura de imágenes se decidió utilizar interrupciones enviadas desde la impresora hacia la SBC cada vez que los movimientos se detuviesen. La otra opción era activar las funciones de comunicación de la RAMPSv4.1 que tenía la impresora pero la idea fue descartada porque conllevaba una complejidad importante cuando lo único que se necesitaba era algún tipo de señal que indique que finalizó el movimiento, establecer un protocolo de comunicación parecía exagerado para esta aplicación particular.

La configuración de las interrupciones se realizó por ambos flancos, ascendente y descendente, el que detecte primero; y luego entra en un modo bounce en el que no lee ninguna interrupción por un tiempo determinado (elegido en 500ns) para evitar detectar falsos flancos por rebotes. Esto sirve para evitar algún rebote de la señal, generalmente se utiliza si la señal viene dada por un pulsador que suele tener mucho ruido luego del pulso y esto puede confundir al microprocesador, aquí se dejó por seguridad extra.

El código final puede verse en el apéndice C.1

3.4.2. Impresora | G-Code

Por el lado del código de la impresora 3D se partió como base de un archivo de impresión de una pieza realizada en esa misma impresora, de allí pudieron obtenerse datos claves para el funcionamiento de la misma como el tipo de impresora, dimensiones de la cama y ejes mecánicos, configuraciones de temperatura, etc. Con esta base y el resumen de comandos principales (A) se comenzaron a realizar pruebas de movimiento de mecanismos hasta lograr dominar los tres ejes de movimiento, agregando luego pausas que servirían para coordinar con el encendido de los leds y la captura de imágenes.

Una complicación en esta instancia fue generar la señal que serviría de interrupción para la SBC, la idea original era utilizar el comando M240, Trigger Camera. Este comando sirve para sincronizar el disparo de una cámara que esté enfocando de manera fija la pieza que se está imprimiendo y luego

realizar un timelapse con todos los fotogramas obtenidos, el problema fue que había que activar esta función actualizando el firmware que corre en el Arduino Mega que controla la impresora. Para no perder el firmware que ya estaba corriendo correctamente en la impresora se utilizó otra placa Arduino provista por el Laboratorio de Química Analítica y se realizaron varias pruebas pero ninguna concluyó con resultados positivos ya que hay múltiples parámetros para configurar al momento de controlar una impresora y a su vez faltaban conocer algunos datos de los componentes ya que al ser un producto Open Source algunas piezas no son las originales y esos detalles son muy difíciles de trazar hasta llegar al modelo de componente que corresponde para utilizar el driver específico.

Luego de pensar cómo se podía reemplazar esta señal se encontró un comando que sirve para encender y apagar el ventilador encargado de enfriar el extrusor de la impresora, en esta remodelación todo el cabezal del extrusor ya no estaba montado así que esos pines habían quedado libres. Desde allí se pudo tomar la señal para sincronizar los movimientos con la SBC ya que el comando también permitía determinar el tiempo de encendido del ventilador así que se restringió al orden de las decenas de milisegundos para que la Raspberry alcance a detectarlo.

Esto trajo otra complicación la cual fue que la salida del pin era de 12V y la interrupción debía ser de 5V, esto se resolvió implementando un divisor resistivo ya que parecía la mejor opción. Si se utilizaba un regulador de tensión iba a resultar modificada la dinámica del tiempo de trepada de la señal y no se podía asegurar la detección.

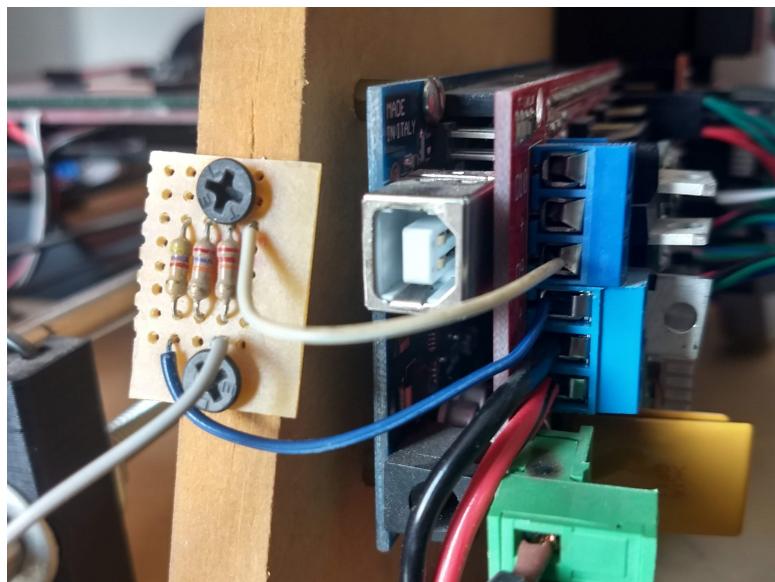


Figura 12: Divisor resistivo para señal de interrupción

A continuación se muestra un pseudo-código del funcionamiento del .g elaborado, y en C.2 el código completo.

```

Reconocimiento posición de los ejes
Subo eje Z
Espero para colocar muestras

Muevo al primer cuadrante
Bajo eje Z
Enciendo ventilador (interrupción hacia Raspberry)
Espero tiempo leds encendidos
Pequeño desplazamiento a la derecha para tomar foto
Enciendo ventilador (interrupción hacia Raspberry)
Espero tiempo tomar imagen
Subo eje Z

```

Los pasos se repiten para todos los cuadrantes.

3.5. Distribución muestras

Inicialmente se consideró dividir la cama para poder colocar nueve muestras sobre la cama de la impresora pero cuando se terminó de diseñar el soporte para los leds y se montaron los leds sobre el mismo, las dimensiones no permitían realizar esta división. El soporte que se puede ver en la Figura 14 mide 7x7,3cm y 3cm de alto, lo cual permite separar las muestras en cuatro cuadrantes ya que la cama mide 21x21cm. En un segundo rediseño de la pieza podrían reubicarse los componentes para disminuir el tamaño del soporte y permitir ampliar la capacidad de muestras.

En la figura 13 se puede ver la numeración de los cuadrantes elegidos y el centro donde se depositará la muestra. Sobre este punto central el cabezal realizará un pequeño piboteo para primero irradiar luz UV y luego para tomar la imagen.

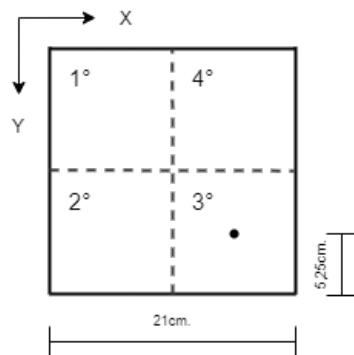


Figura 13: División cama

3.6. Soportes

Se realizaron dos soportes para poder adaptar las nuevas piezas de la máquina, para ello se utilizó el software *Fusion360* con una licencia gratuita de estudiante por tiempo limitado.

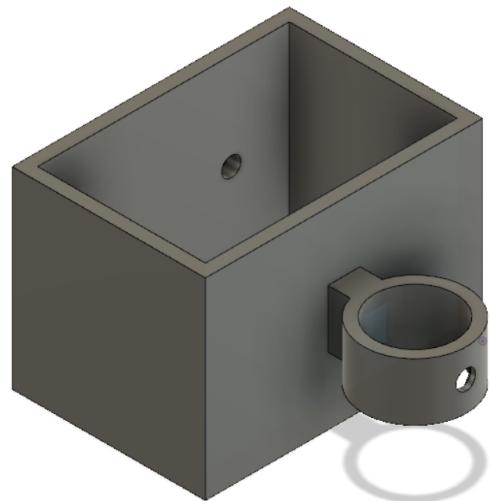
La primer pieza realizada fue el soporte para colorar los leds UV y el microscopio. Esta pieza debía encajar en el lugar donde antes se encontraba el extrusor de plástico. Básicamente se diseñó un prisma de las mismas dimensiones para que coincidan los agujeros de los tornillos y poder sujetarlo de la misma manera que lo estaba el extrusor, además este sistema permite cambiar fácilmente la pieza en caso de que se realice otro.

Una vez colocada en el lugar el extrusor quedan dos caras libres, sobre una de ellas van atornillados los dos leds mediante sus disipadores, y en la otra cara se diseñó un pasador para poder sujetar el microscopio.

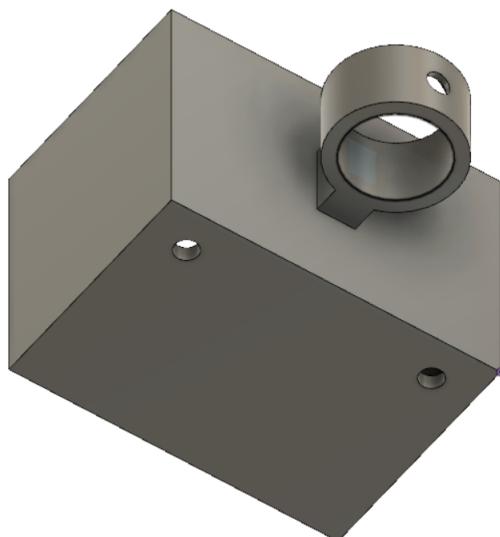
La otra pieza realizada fue el soporte para sujetar la RaspberryPi a la base de la impresora 3D. En este caso se tomaron las medidas de la SBC y se procedió a diseñar la pieza con el mismo software, ya habiendo adquirido algunas técnicas nuevas como redondear los bordes y dejar lugar para que los tornillos de sujeción no sobresalgan, realizando una pieza con un mejor acabado estético.



(a) Vista isométrica A



(b) Vista isométrica B

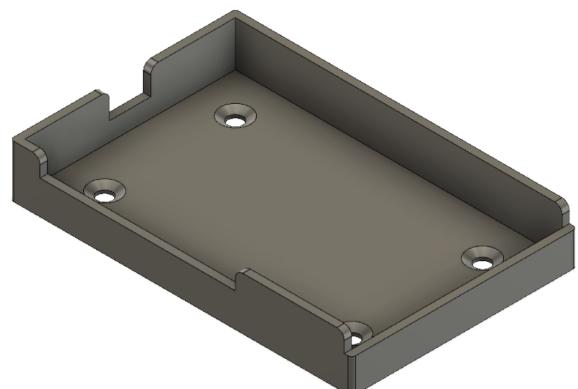


(c) Vista isométrica C

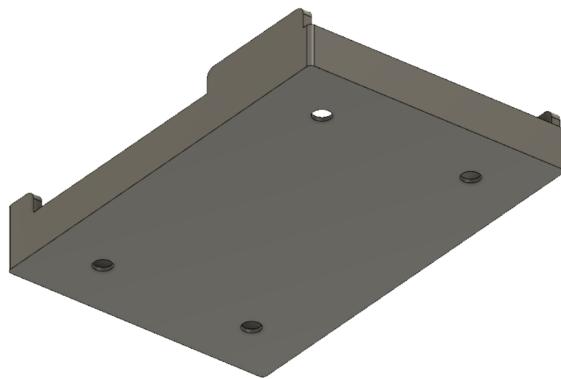
Figura 14: Soporte LEDs Microscopio



(a) Vista isométrica A



(b) Vista isométrica B



(c) Vista isométrica C

Figura 15: Soporte Raspberry Pi

3.7. Conexionado

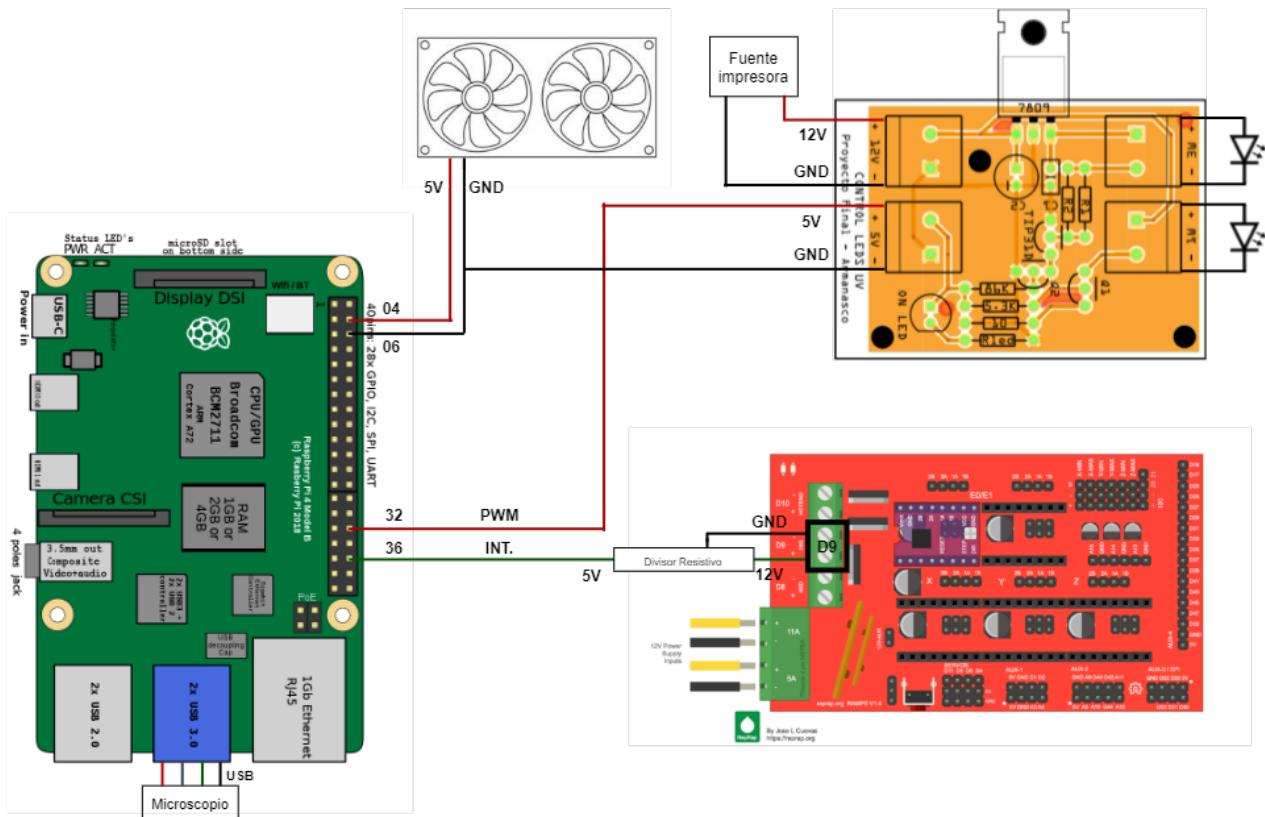


Figura 16: Conexionado de los componentes

4. Experimentación

En esta sección se describirá la experiencia realizada en el laboratorio. Si bien por un lado se iba realizando el rediseño de la impresora adaptándole las nuevas funcionalidades, en paralelo se realizaba un trabajo experimental para determinar si los leds UV tenían potencia suficiente para realizar el proceso de degradación.

Con este objetivo se desarrollaron una serie de pruebas llevadas a cabo en el laboratorio de Química Analítica las cuales se describirán a continuación. Básicamente se expuso una muestra de un blanco determinado durante un tiempo específico a radiación ultravioleta y luego se cuantificaron los cambios en ésta mediante un espectrofotómetro.

4.1. Setup

En esta etapa del proyecto se utilizaron ambos leds UV junto con el circuito de alimentación montado en una protoboard. Para protección del operario y para asegurar que el efecto se debía solo al espectro UV sin contaminación de otras fuentes de luz se colocaron la muestra junto con los diodos dentro de una caja negra impresa en 3D. Por último, el instrumento necesario para realizar las mediciones fue un Espectrofotómetro Shimadzu UV-1603 donde podía compararse el estado de la muestra a lo largo del tiempo con las sucesivas sesiones de exposición.

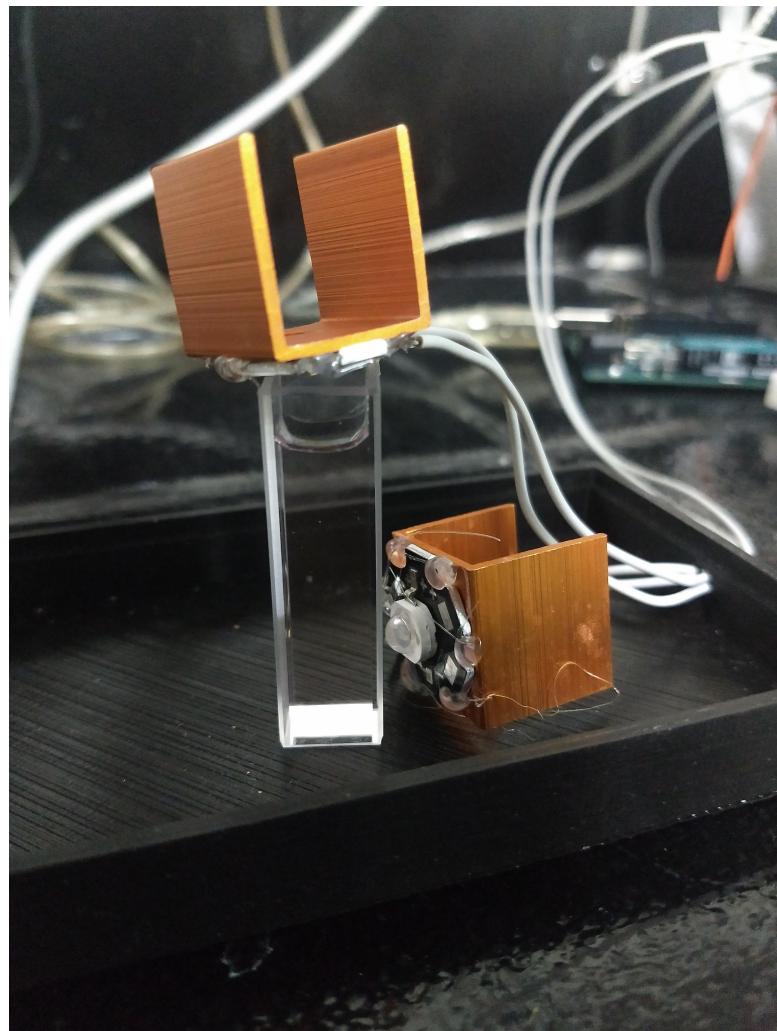


Figura 17: Disposición de los LEDs sobre la cubeta dentro de la caja negra

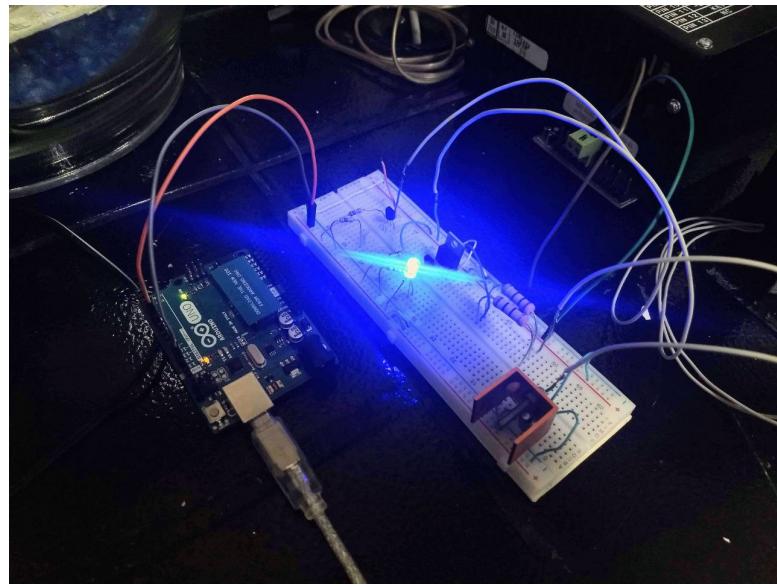


Figura 18: Circuito para controlar los LEDs utilizado en el laboratorio

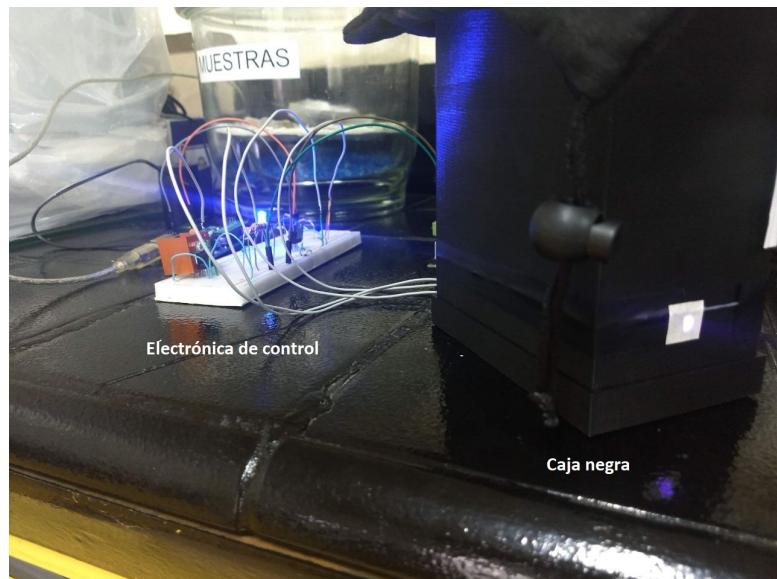


Figura 19: Setup completo irradiando una muestra dentro de la caja negra

4.2. Blanco

El blanco utilizado fue el colorante catiónico llamado Rodamina B, este producto químico es utilizado para teñir textiles y productos alimenticios de colores entre el fucsia y el rosado dependiendo su concentración.

A lo largo de la experimentación se fueron utilizando concentraciones de solución cada vez mas bajas hasta lograr dar con un blanco que sea posible degradar con la potencia de los leds. Las primeras muestras no se veían modificadas por la exposición a los leds, esta fue la razon por la cual se fue diluyendo más la solución; pero a la vez se fue comparando la degradación generada al exponer la muestra a una lámpara UV del laboratorio. Cuando se llegó a una concentración donde la lámpara tenía efecto sobre la muestra, se pudo observar que también lo tenían los leds, esta concentración fue de 0,02ppm.

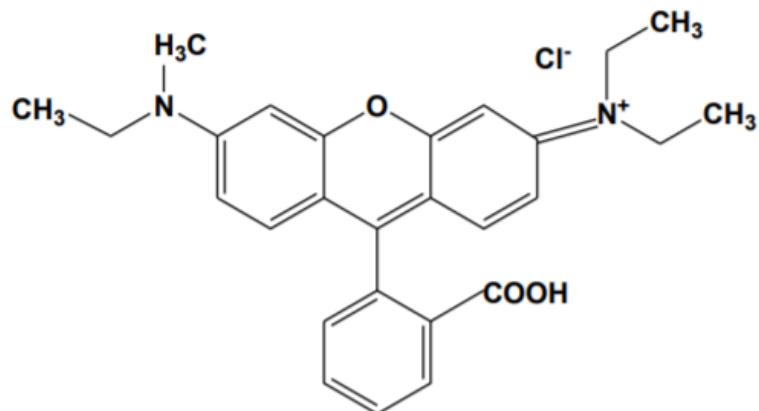


Figura 20: Estructura química RhB



Figura 21: Cambios en la coloración de RhB según concentración

Una vez hallada la concentración adecuada se comenzó a refinar el procedimiento para realizar las mediciones. Inicialmente cuando se realizaban las curvas superpuestas daban todas iguales una arriba de la otra, no se podían distinguir. Esto llevó a que primero se aumente el duty del PWM de los leds de 50 % a 75 %, y luego se aumentó el tiempo de exposición de 1min. a 3min. y finalmente se llevó a 10min. Luego de calibrar la potencia y tiempo de exposición las curvas comenzaron a separarse, pero aparecían en orden aleatorio sin mostrar el patrón esperado (que la muestra al degradarse absorba cada vez menos radiación). Algunas curvas se veían con más offset y otras con menos. Con el pasar de los días se concluyó que la temperatura afectaba a las mediciones, la misma sustancia a diferentes temperaturas no tiene la misma absorbancia. Desde allí se tomaron registros de temperatura de la muestra antes y después de la exposición ya que los leds transmitían calor a la cubeta, luego se observó que en un tiempo de 3/4 minutos la muestra volvía a temperatura ambiente.

Todas estas observaciones realizadas a lo largo del proceso de experimentación decantaron en un procedimiento a seguir en las últimas mediciones, y el cual llevó a los mejores resultados obtenidos.

4.3. Procedimiento

A continuación se lista el procedimiento realziado en el laboratorio durante las mediciones de degradación

1. Calibrar el espectofotómetro con ambas cubetas llenas de agua destilada con la opción *CorrBase*
2. Partiendo de una solución base de Rodamina B 10ppm se lleva a una concentración de 0.02ppm para llenar la cubeta que se utilizará como blanco
3. Configurar el equipo para poder realizar mediciones entre 400 y 300nm, rango de visualización de absorbancia de 0.0 a 0.1A, velocidad media, y barridos superpuestos
4. Realizar la primera medición con la solución idadilu realizada esi n degradar para obtener la curva de partida
5. Ubicar la cubeta blanco dentro de la caja negra con los leds ubicados como lo más cerca posible (ver imagen 17)
6. Irradiar la muestra por 10 minutos con el duty del PWM al 70 %
7. Dejar descansar la muestra entre 3 a 4 minutos para que tome temperatura ambiente nuevamente
8. Insertar la cubeta en el espectofotómetro para medir la nueva curva de absorvancia
9. Repetir el proceso de degradación cuantas veces sea necesario

5. Resultados

Se puede dividir los resultados en dos, la parte electrónica y la parte química.

En cuanto al lado electrónico se ensambló con éxito el prototipo. Se lograron movimientos sincronizados entre la electrónica de la impresora 3D y la SBC controlando el movimiento en cada eje de manera individual. El módulo que iba en el lugar del extrusor entró bien, el driver de los leds y la Raspberry Pi fueron montados a la derecha de la cama sobre la base de madera de la impresora, y todo el cableado quedó instalado en el prototipo.

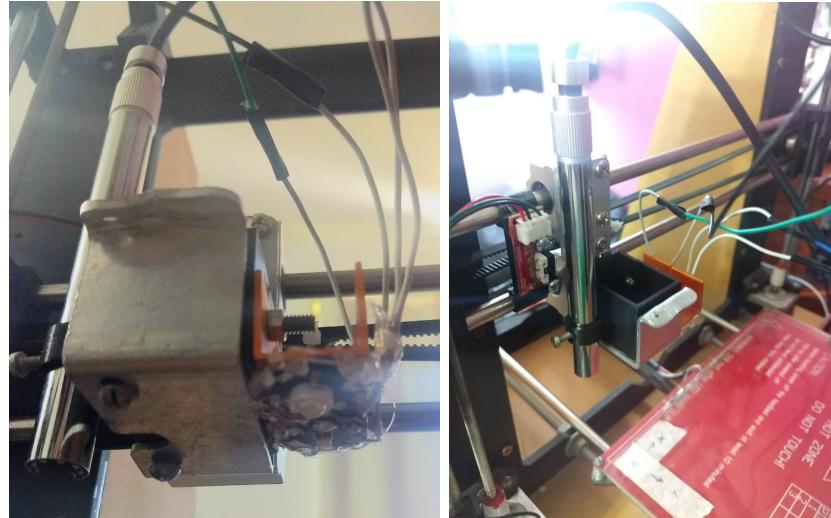


Figura 22: Reemplazo del extrusor

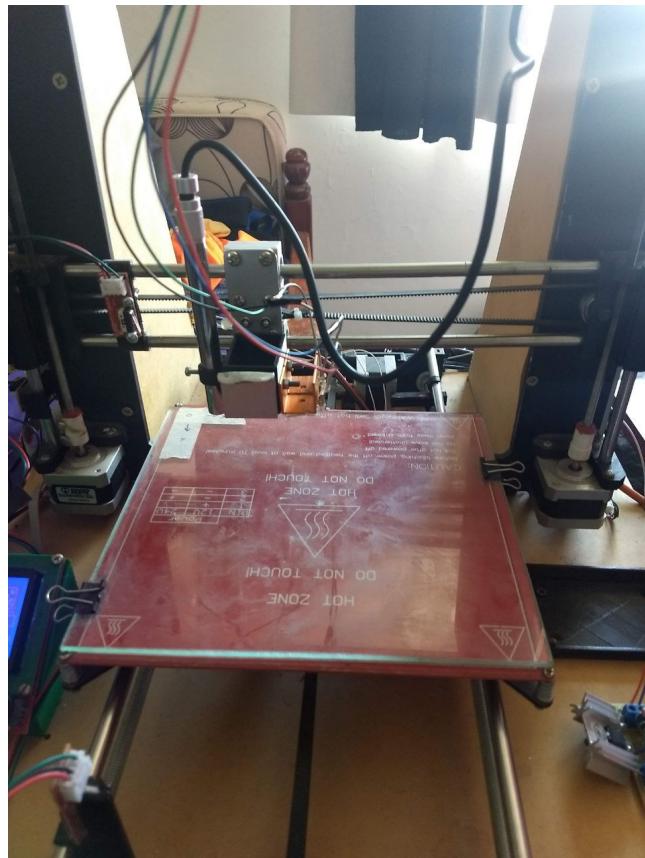


Figura 23: Prototipo versión 1

Por otro lado, la experimentación en el laboratorio de química arrojó resultados variados, algunos días se obtuvieron resultados muy buenos pero en la mayoría de las ocasiones hubo complicaciones. Como se mencionó en 4.2 el proceso de pruebas fue extenso y dinámico hasta lograr obtener los resultados esperados, aunque no se logró una constancia en los mismos. Lo que se muestra a continuación es una de las mejores mediciones obtenidas.

Las curvas superpuestas en el espectofotómetro se ven como se muestra en la figura 24, a medida que se acumulan sucesivas mediciones cada curva va desplazándose hacia abajo lo que nos lleva a concluir que la muestra al irse degradando cada vez absorbe menos luz.



Figura 24: Caption

En la siguiente figura podemos observar un procesamiento de los datos obtenidos en el espectofotómetro, cuando el instrumento realiza cada medición arroja los picos máximos y mínimos de absorbancia. Con estos valores se armó la siguiente evolución temporal del estado de la muestra, se puede ver para distintas longitudes de onda cómo el nivel de absorbancia disminuye con el pasar del tiempo, es decir, con las sucesivas exposiciones UV. La mayor caída en el nivel de absorbancia puede observarse en 258nm., esta longitud de onda es muy cercana a la del LedC (280nm.) por lo cual se cree que de los dos éste es el que más daño hace sobre las muestras.

Valores de pico - serie temporal 16/11/21

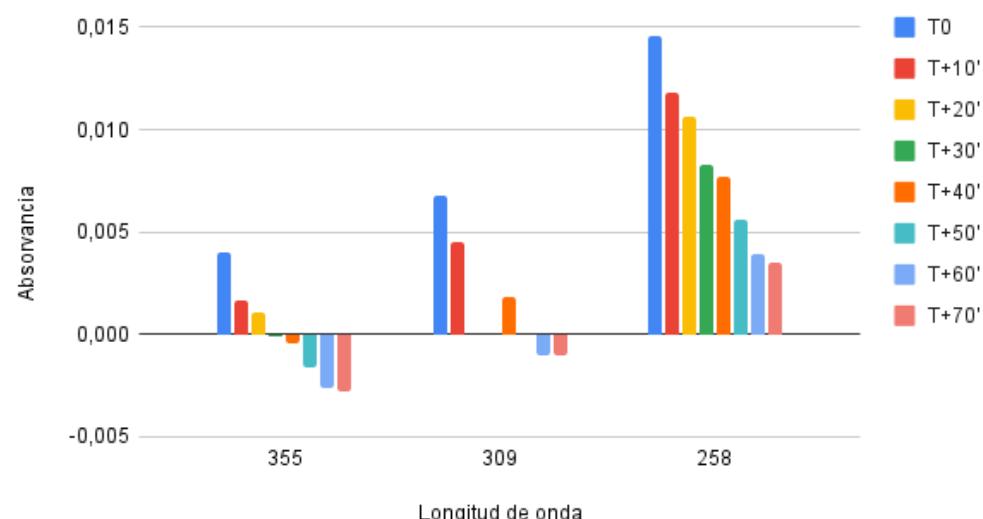


Figura 25: Evolución temporal absorbancia

5.1. Próximos Pasos

Se debería continuar con las mediciones de muestras para comprobar si la hipótesis planteada es correcta.

Otro avance respecto a las mediciones que debería hacerse es observar la degradación sobre muestras del tamaño final que se utilizarán en la máquina. Las cubetas que utilizamos son contienen más sustancia que la cantidad final que se depositará en la cama de la impresora, por lo cual el daño que ejerzan los leds sobre estas nuevas muestras será mayor. A esto debería calcularse también cuál es el tiempo óptimo de exposición, es muy probable que sea menor a los 10 minutos que se utilizaron durante esta etapa.

Se podría analizar la posibilidad de disminuir el tamaño del soporte de los leds para poder subdividir la cama en más cuadrantes y poder colocar 9 muestras en vez de 4, pero siempre teniendo en cuenta la modularidad, es decir, que sea relativamente sencillo de desmontar para cambiar de ensayo.

Por último, una mejora que facilitaría mucho la interfaz con el usuario es lograr combinar el funcionamiento de la electrónica de la impresora con la Raspberry Pi con algún tipo de comunicación. En la configuración actual por un lado se cargan los pasos a seguir por la impresora y ésta envía las interrupciones a la Raspberry Pi para que encienda los leds o tome las imágenes. Dado la facilidad que tiene el lenguaje G-CODE para ser generado automáticamente se podría generar desde la SBC pasándole algunos parámetros como la posición de las muestras, el tiempo de exposición y la cantidad de fotos a sacar, la Raspberry generaría el código y lo guardaría en la memoria SD que luego lee la impresora. Quizás se pueda implementar un bus donde ambas electrónicas compartan el acceso a la memoria SD turnándose con algún switching para no acceder a la vez y generar conflicto.

Estas actualizaciones serían mejoras sobre las funcionalidades actuales, planteando nuevas capacidades para la máquina se debería realizar un procesamiento de las imágenes que tome el microscopio *in situ*, con esta finalidad se eligió la capacidad de procesamiento de la SBC. Es decir que la Raspberry Pi pueda generar un análisis básico de la evolución temporal que hubo en las muestras o identificar alguna característica que se deseé analizar dependiendo del tipo de muestras o del ensayo que se realice.

6. Conclusiones

Se realizó un prototipo funcional de una máquina para automatizar el proceso de degradación por radiación ultravioleta partiendo de la reutilización de una impresora 3D. Este prototipo es una demostración tecnológica del valor que se le puede agregar a los procedimientos manuales que se realizan en el área de química, además es una herramienta novedosa que queda a disposición del laboratorio y le permitirá realizar nuevos experimentos.

El objetivo de diseñar las piezas de manera modular fue que se pueda modificar la funcionalidad de la máquina con pocos cambios, así de esta manera se pueden automatizar otros procesos a medida que surja una necesidad o se presente una idea.

Como todo prototipo, no es la versión final o definitiva. Está pensado para recibir mejoras de parte de futuros estudiantes de electrónica (ya sea ingeniería o tecnicatura) que quieran sumarse al proyecto ya que en esta primera etapa se demostró la funcionalidad de la máquina y la efectividad de los leds UV para degradar.

Por otro lado este proyecto le permitió al alumno desarrollar un prototipo concentrar conocimiento adquirido en diferentes materias a lo largo de la carrera y lograr combinarlas para realizar una funcionalidad macro. Esto acompañado de enfrentarse a aprender nuevas herramientas durante el proceso y a problemas que aparecen al momento de tomar contacto con el armado del hardware lo cual ocurre con muy poca frecuencia a durante el recorrido académico, y a menor escala porque suele estar contenido en el período de finalización de los cursos.

También fue un desafío entrar en contacto con una disciplina distinta a la formación propia. Siendo diferentes áreas de conocimiento se tuvo que buscar una manera distinta de explicar el trabajo que se estaba realizando o para ponerse de acuerdo con los trabajos. Cabe destacar en esta instancia la buena predisposición del director y los becarios que forman parte del Laboratorio de Química Analítica durante todo el proyecto.

En este sentido, los resultados obtenidos durante la etapa de experimentación en el laboratorio con las muestras de Rodamina B es muy probable que hayan presentado la poca repetitividad mencionada en los resultados debido a malas prácticas del alumno por desconocer las metodologías de un procedimiento químico. Si bien siempre se contó con el apoyo de algún miembro del laboratorio presente para evacuar dudas no serán los mismos los resultados de alguien que tiene años de entrenamiento comparado con quien aprendió en un mes las cosas básicas.

De todas maneras, a modo de vista personal, tiene mucha más valoración el intercambio realizado con otra disciplina científica, cambiar las formas de expresarse para que alguien ajeno a la jerga entienda los conceptos, adaptarse a otras normas y prácticas dentro de un laboratorio, cuando se compara con el diseño y armado del prototipo por el lado electrónico propiamente dicho. Es por esto que, además de haber contribuido con una máquina que será beneficiosa para la Universidad y de haber demostrado poder aplicar los conceptos aprendidos en la carrera, podría concluirse que lo más valioso que el alumno se lleva de este proyecto es haber Enriquecido las habilidades blandas que le otorgan una herramienta útil para los desafíos que presenta el ámbito laboral que se alejan del papel y lápiz.

7. Bibliografía

1. <https://www.uco.es/dptos/bioquimica-biol-mol/pdfs/08ESPECTROFOTOMETRIA.pdf>
2. <https://ipicyt.repositoryinstitucional.mx/jspui/bitstream/1010/874/3/TMIPICYTJ5E72013.pdf>
3. <http://guweb2.gonzaga.edu/faculty/cronk/CHEM245pub/spectrophotometry.html>
4. <https://www.tomshardware.com/reviews/raspberry-pi-headless-setup-how-to,6028.html>
5. <https://reprap.org/wiki/G-code#Introduction>
6. https://roboticsbackend.com/raspberry-pi-gpio-interrupts-tutorial/#Polling_example_with_RPiGPIO
7. <https://3dwork.io/marlin/>
8. <https://registry.platformio.org/libraries/marlinfirmware/U8glib-HAL>

Apéndices

A. G-CODE

Comando	Función
G0	Rapid Move
G1	Linear Move
G28	Go Home all
G90	Absolute Position
G91	Relative Position
G92	Reset One Variable
M104	Start heating extruder
M109	Heating extruder up to T
M108	Cancel heating
M140	Start heating bed
M190	Heating bed up to T
M106	Fan Speed
G4	Dwell (hold)
M0	Stop
M42	On/Off I/O pin
M114	Get current position
M92	Step axis per unit
M117	Display Message
M119	Endstops Status
M120	Enable Enstop detection
M121	Disable Endstop detection
M206	Add Endstop Offset
M240	Trigger Camera
M406	Filament Sensor Off

Tabla 2: Comandos principales de G-Code

B. Material

En la siguiente carpeta de GitHub se encuentras los códigos de programación, videos del funcionamiento de la máquina y otros archivos complementarios.

<https://github.com/Tutee95/FinalProjectARMANASCO>

C. Script

C.1. Python

```
#!/usr/bin/env python3

import signal
import sys
import RPi.GPIO as GPIO
import time #incorporo libreria tiempo
import cv2
from datetime import datetime
```

```

GPIO.setmode(GPIO,BOARD) #nombramos por los pines de placa
GPIO.setwarnings(False)
modeflag = False
BUTTON_GPIO = 36 #GPIO16
led=32 #GPIO12 PWM
#seteamos el PWM
GPIO.setup(led,GPIO.OUT)
pwm = GPIO.PWM(Led,100) #le pasamos el pin y el porcentaje
pwm.start(0)

def signal_handler(sig, frame):
    GPIO.cleanup()
    sys.exit(0)

def button_callback(channel):
    print("interrupt")
    global modeflag
    global pwm
    if not modeflag:
        pwm.ChangeDutyCycle(50) #comienza en el 50%
        print("Led encendido")
        time.sleep(10) #espera 10seg
        pwm.ChangeDutyCycle(0) #espacio
        print("led apagado")
    else:
        date = datetime.now().strftime("%Y-%m-%d-%H:%M:")
        cam = cv2.VideoCapture(0)
        ret, image = cam.read()
        if ret:
            cv2.imwrite('/home/pi/'+date+'.jpg', image)
        cam.release()
        print("Imagen capturada")
    modeflag = not modeflag

if __name__ == '__main__':
    GPIO.setup(BUTTON_GPIO, GPIO.IN, pull_up_down=GPIO.PUD_UP)

    GPIO.add_event_detect(BUTTON_GPIO, GPIO.BOTH,
                          callback=button_callback, bouncetime=500)

    signal.signal(signal.SIGINT, signal_handler)
    signal.pause()

```

C.2. G-code

```

M140 S0.000000
M104 T0 S0.000000
T0
;Sliced at: Thu 10-10-2019 12:31:35
;Basic settings: Layer height: 0.1 Walls: 0.8 Fill: 30

```

```

;Print time: #P_TIME#
;Filament used: #F_AMNT#m #F_WGHT#g
;Filament cost: #F_COST#

G21      ;metric values
G90      ;absolute positioning
M82      ;set extruder to absolute mode
M107     ;start with the fan off
G28 X0 Y0 ;move X/Y to min endstops
G28 Z0     ;move Z to min endstops
G1 Z15.0 F9000 ;move the platform down 15mm
G92 E0          ;zero the extruded length

;VARIABLES DE CONFIGURACION
#101=52.5 ;distancia centro celda
#102=5 ;tiempo para colocar muestras y separador en segundos
#103=5 ;tiempo exposicion leds UV en segundos

M117 Setup Completo

M107

;-----
;PRIMERA CELDA
M117 Inicio movimientos

G0 F1200 X0.0 Y0.0 Z50
M117 COLOCAR SEPARADOR
G4 S120 ;espero 2 min para COLOCAR SEPARADORES y MUESTRAS

G1 F1200 X50 Y52.5 ;2cm a la izq para iluminar la muestra
G1 X50 Y52.5 Z25
M106 S255 ;raspi signal
G4 P10 ;en msec
M107
M117 Encendido LEDs
G4 S210 ;espero 3.5min
M117 Apagado LEDs

G1 X62.5 Y52.5 Z35 ;1cm a la der para sacar foto
M106 S255 ;raspi signal
G4 P10 ;en msec
M107
M117 Captura imagen
G4 S15 ;espero 15seg

G1 X52.5 Y52.5 Z50 ;subo Z por precaución

;-----
;SEGUNDA CELDA
M117 Segunda

```

```

G1 F1200 X50 Y147.5 ;2cm a la izq para iluminar la muestra
G1 X50 Y147.5 Z25
M106 S255 ;raspi signal
G4 P10 ;en mseg
M107
M117 Encendido LEDs
G4 S210
M117 Apagado LEDs

G1 X62.5 Y147.5 Z35 ;1cm a la der para sacar foto
M106 S255 ;raspi signal
G4 P10 ;en mseg
M107
M117 Captura imagen
G4 S15 ;espero 15seg

G1 X52.5 Y147.5 Z50 ;subo Z por precaución

;-----
;TERCERA CELDA
M117 Tercera

G1 F1200 X127.5 Y147.5 ;2cm a la izq para iluminar la muestra
G1 X127.5 Y147.5 Z25
M106 S255 ;raspi signal
G4 P10 ;en mseg
M107
M117 Encendido LEDs
G4 S210 ;espero 3.5min
M117 Apagado LEDs

G1 X157.5 Y147.5 Z35 ;1cm a la der para sacar foto
M106 S255 ;raspi signal
G4 P10 ;en mseg
M107
M117 Captura imagen
G4 S15 ;espero 15seg

G1 X147.5 Y147.5 Z50 ;subo Z por precaución

;-----
;CUARTA CELDA
M117 Cuarta

G1 F1200 X127.5 Y52.5 ;2cm a la izq para iluminar la muestra
G1 X127.5 Y52.5 Z25
M106 S255 ;raspi signal
G4 P10 ;en mseg
M107
M117 Encendido LEDs
G4 S210 ;espero 3.5min
M117 Apagado LEDs

```

```
G1 X157.5 Y52.5 Z35 ;1cm a la der para sacar foto
M106 S255 ;raspi signal
G4 P10 ;en msec
M107
M117 Captura imagen
G4 S15 ;espero 15seg

G1 X147.5 Y52.5 Z50 ;subo Z por precuación

;-----

G0 F9000 X100 Y100 Z60.00

;End GCode

M104 S0           ;extruder heater off
M140 S0           ;heated bed heater off (if you have it)
G91              ;relative positioning
G28 X0 Y0         ;move X/Y to min endstops
M84              ;steppers off
G90              ;absolute positioning
```