



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

TEMA: "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE
ESPECTRORADIOMETRO PARA DETERMINAR EL ESTRÉS VEGETAL DE CULTIVOS
DE PAPAS Y MAÍZ APLICADO A LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN

AUTORES:

CORREA BAUTISTA, EDISON ROBERTO
GUANOLUISA BETÚN, JHONY FERNANDO

DIRECTOR:

ING. CÓRDOVA CRUZATTI, ANDREA CONCEPCIÓN



RESUMEN

- La agricultura de precisión en las últimas décadas ha visto notables avances técnicos que han permitido un mejor manejo de las explotaciones agrícolas, optimizando recursos e insumos aplicados. En el ámbito de la agricultura, los sensores ópticos terrestres han permitido profundizar y ampliar el conocimiento del comportamiento espectral de los cultivos en estudio, con beneficios cada vez mayores en aplicación de tratamientos y prevención de enfermedades y/o plagas.



PROBLEMA

- Actualmente los mercados internacionales son cada vez más competitivos ya que requieren alimentos con altos estándares de calidad, razón por la cual los agricultores han optado por la agricultura de precisión ya que este procedimiento permite ahorrar un 30% el costo de la producción a más de obtener información detallada del estado de los cultivos.



Justificación e importancia

- El presente proyecto está enfocado a la creación de un prototipo de espectroradiómetro que ayudará al agricultor en el cuidado de sus cultivos contribuyendo así con el avance tecnológico de la agricultura de precisión en el país. Por otra parte debido a la falta de recursos o información para realizar un correcto diagnóstico vegetal se presentará esta alternativa, a fin de medir el índice de Reflectancia Fotoquímica (PRI) el cual determinará el estrés vegetal y condescenderá mejorar la mejora de calidad y productividad de los productos agrícolas.



Objetivo general

- Desarrollar un prototipo de espectroradiómetro para determinar el estrés vegetal en cultivos de papas y maíz.



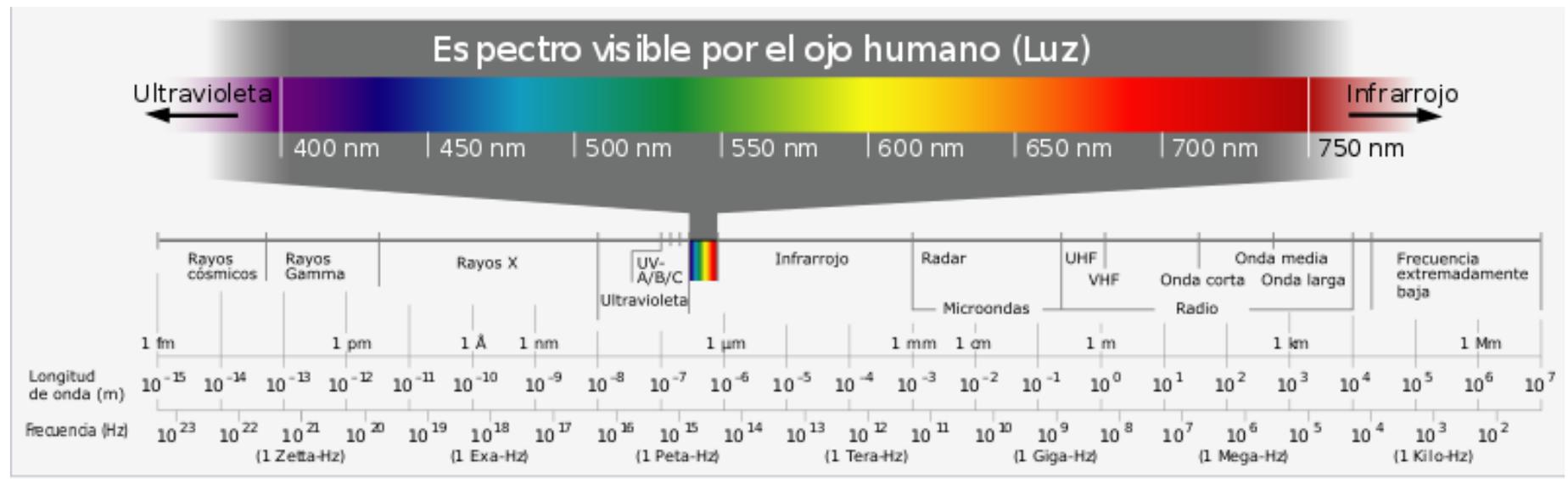
Hipótesis

¿El diseño de un prototipo espectroradiómetro permitirá la determinación del estrés vegetal en cultivos locales?



El espectro electromagnético

- Es el conjunto de ondas electromagnéticas que existen en el universo ordenadas en función de sus frecuencias o longitudes de onda, o de la energía que transporta.





COMPORTAMIENTO ESPECTRAL DE LA VEGETACIÓN

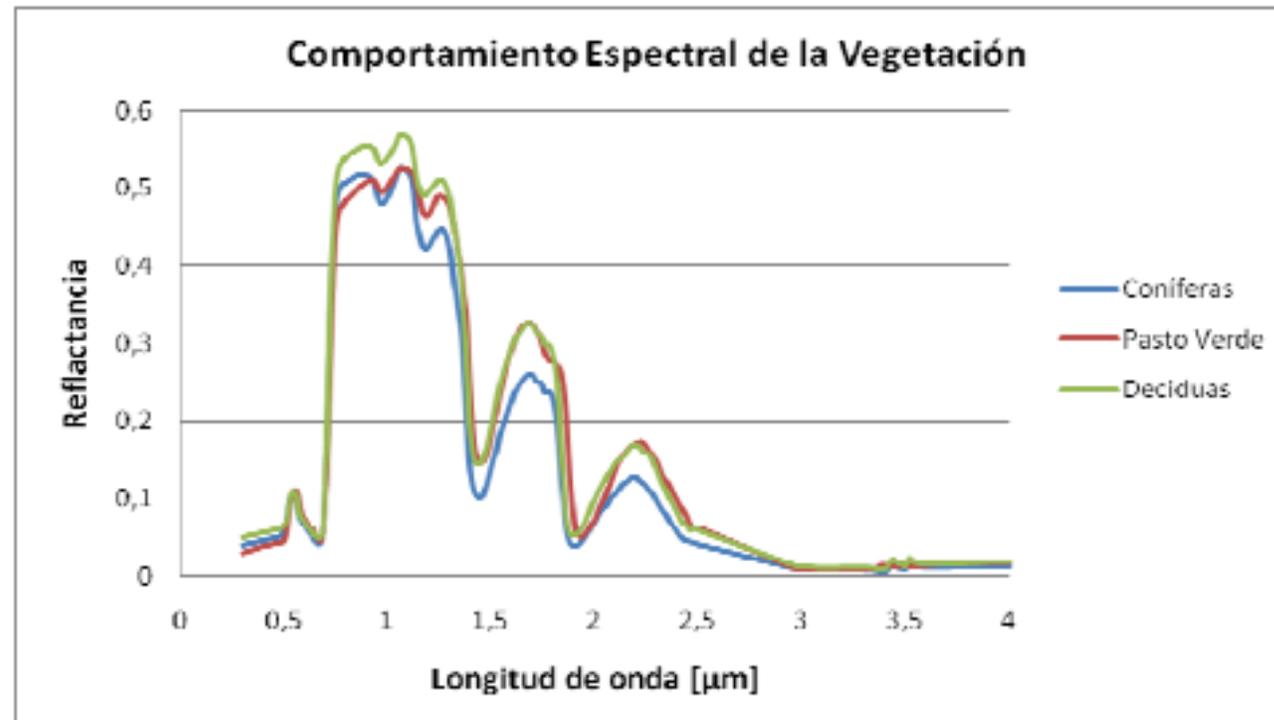
- Esta compuesto de hojas, tallos, troncos, suelos, agua elementos todos ellos que presentan sus respuestas espectrales respectivas. Además, hay que tener en consideración que las plantas son seres vivos sujetos a cambios estacionales, climáticos e incluso a enfermedades y que estos cambios afectan a su reflectividad.





Vegetación sana

- La **vegetación sana** tiene una reflectividad baja en el rango visible (400-700) nm, aunque con un pico en el color verde debido a la clorofila.

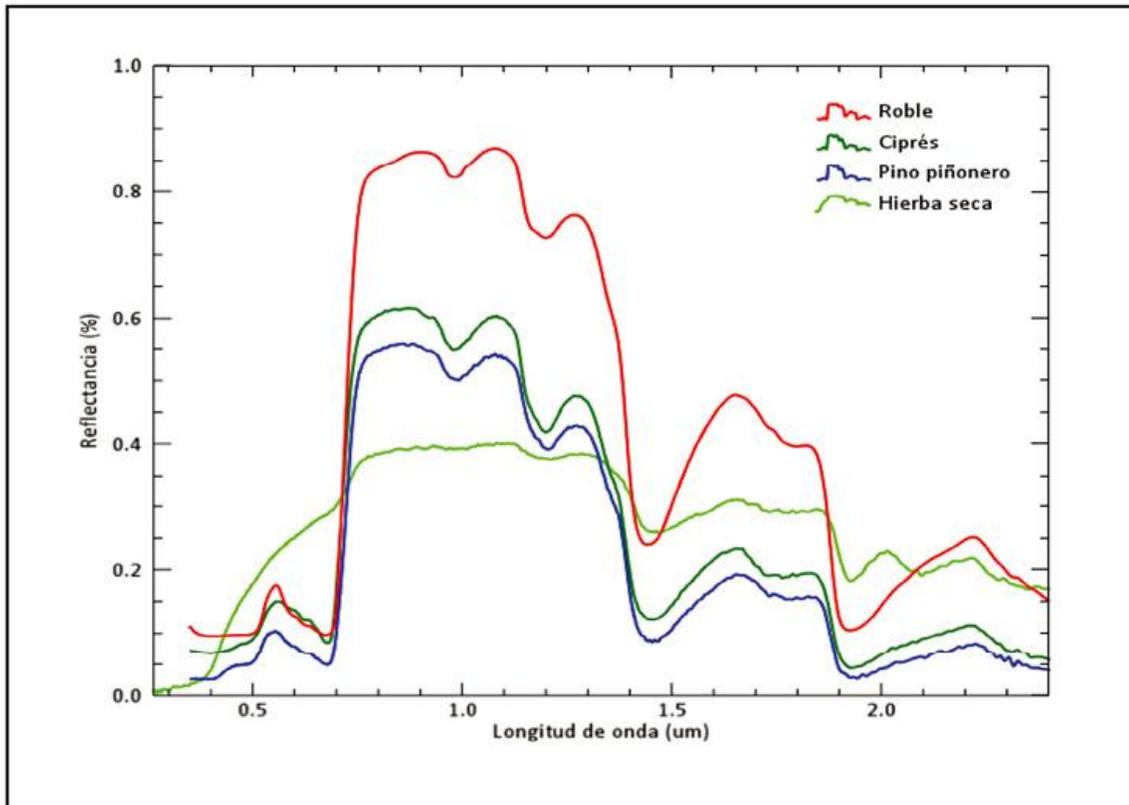




Vegetación enferma

- La **vegetación enferma** presenta una disminución de la reflectividad en las bandas infrarrojas y un incremento en el rojo y azul.

Niveles de estrés	Valor del índice
Nieve/Nubes/Agua	0
Estrés máximo	0 - 0,1
Extremadamente alto	0,1 - 0,2
Muy alto	0,2 - 0,3
Alto	0,3 - 0,4
Moderado	0,4 - 0,5
Moderadamente bajo	0,5 - 0,6
Bajo	0,6 - 0,8
Muy Bajo	> 0,8





Radiómetro

- Los radiómetros son usados para medir la energía electromagnética presente con una longitud de onda específica. Los radiómetros son usados generalmente para detectar y medir la cantidad de energía afuera del espectro de luz visible y para medir la luz ultravioleta (UV) o infrarroja (IR).





Espectrómetro

- Un espectrómetro óptico o espectroscopio, es un instrumento que sirve para medir las propiedades de la luz en una determinada porción del espectro electromagnético





ESPECTRORADIÓMETRO

- Un espectroradiómetro es un instrumento muy potente y de muy alta precisión diseñado para el análisis de la radiación de ondas electromagnéticas producida por cualquier dispositivo que emita luz, ya sea una fuente de luz como tal (como una bombilla convencional o un LED) o la pantalla de un teléfono u ordenador.
- El espectro radiómetro es nacido de la unión entre un radiómetro y un espectrómetro para formar un equipo con mejores características de medición.





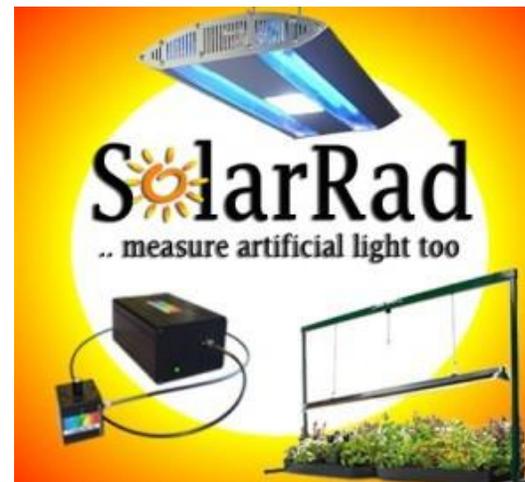
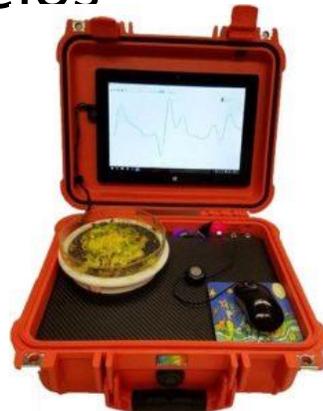
Diferencia entre espectrómetros, radiómetros y espectroradiómetros

- Los radiómetros son económicos, portables y brindan mediciones rápidas, mientras que los espectrómetros son más precisos, fijos y pueden ser usados en diferentes aplicaciones y entornos. Por último, los espectroradiómetros ofrecen lo mejor de ambos mundos donde se puede obtener la precisión y portabilidad requerida para cualquier aplicación



Aplicaciones del Espectroradiómetro

- Espectrómetros para la Medición LED
- Sistemas de análisis espectral solar
- Predicción de la madurez de los aguacates con un sistema de infrarrojo cercano.
- Análisis de la ternura de la carne
- Investigación de suelos





Agricultura de Precisión

- La agricultura de precisión es sustentada en datos de sensores remotos para estudios dirigidos al incremento de la productividad de los diferentes cultivos.





Índices de vegetación

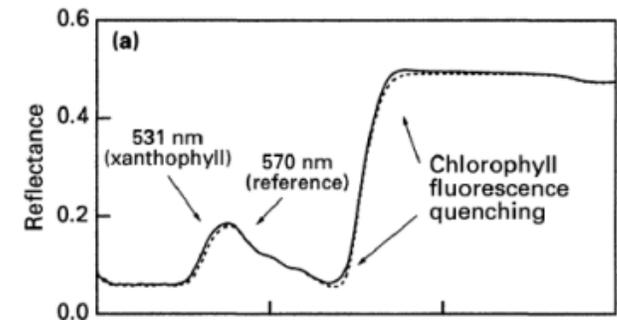
- Los índices de vegetación son una herramienta importante en estudios de vegetación en el campo, las mediciones de esta reflectancia y absorción.



El Índice de Reflectancia Fotoquímica (PRI)

Este índice ayuda al agricultor identificar diferentes efectos en sus plantaciones como:

- Dinámicas estacionales.
- Situaciones de estrés hídrico.
- Cambios en contenidos en pigmentos.
- Parámetros de calidad del fruto (contenido de azúcar de la planta).
- Dicho índice se encuentra en un rango de 531 a 570 nm como se muestra en la siguiente figura.

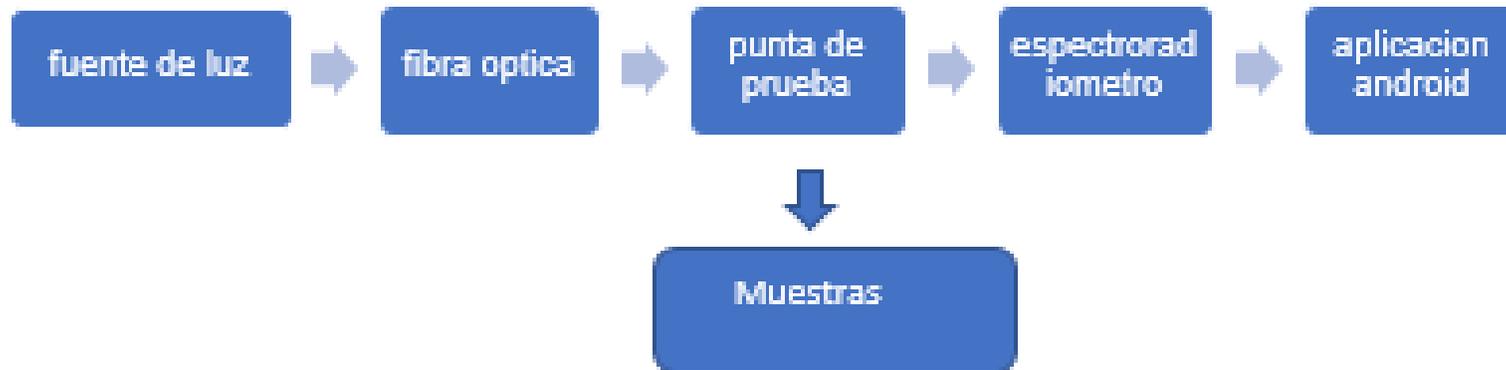


$$PRI: \frac{P_{531} - P_{570}}{P_{531} + P_{570}}$$



DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES

- La selección de componentes se toma en cuenta las características de cumplimiento del prototipo como la toma de muestras en el rango de 531-570 nm para el cálculo del índice de vegetación PRI.





SELECCIÓN DEL SENSOR

Para la selección del sensor del prototipo se debe tener en cuenta principalmente el rango de detección del espectrómetro se acople correctamente con el rango de trabajo

- **Espectrómetro onda Negra**
- **Espectrómetro onda Azul**
- **Espectrómetro onda Verde**





Selección del cable de fibra óptica

- Teniendo en cuenta el rango de utilidad del prototipo y espectrómetro se tomando en cuenta la utilidad en su calibración y forma de trabajo para el prototipo.



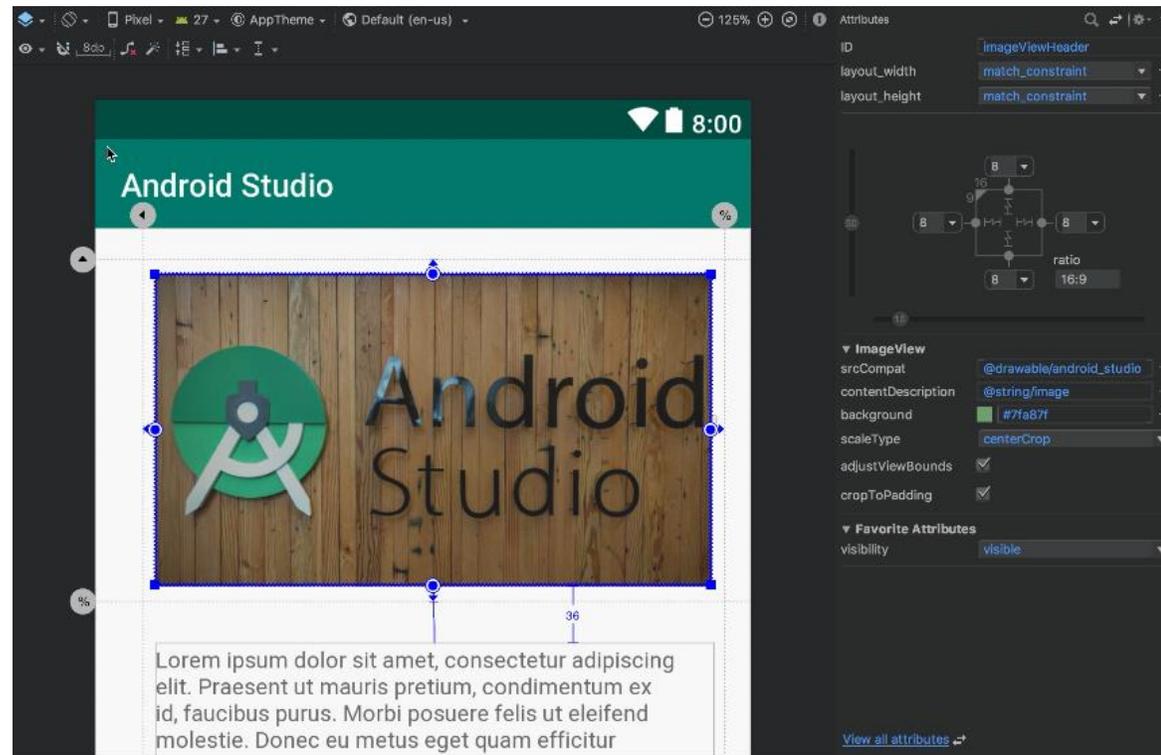


Selección del procesador

Características	PIC	Arduino	Raspberry PI
Transmisión de datos	4	3	5
Procesamiento de datos	2	3	4
Periféricos	3	4	5
Disponibilidad en el mercado	5	5	5
Resultados	14	15	19



Selección del Software para el desarrollo de la interfaz.





Selección del material de diseño para la punta de muestreo

- Para la selección del material de la punta de muestreo se toma en cuenta el peso y la accesibilidad de diseño del material, por lo que se ha tomado en cuenta tres materiales accesibles en el mercado.
- Aluminio.
- PLA (poliácido láctico).
- Acero estructural.

Criterios de selección	Aluminio	PLA	Acero estructural
Alta resistencia	4	3	5
Bajo peso	3	5	1
Bajo costo	3	4	4
Disponibilidad en el mercado	3	4	5
Facilidad de diseño	3	5	3
Resultados	16	21	18



DISTANCIA DE LA FIBRA DE VIDRIO RESPECTO A LA MUESTRA

- Se debe tomar en cuenta la distancia que debe permanecer el cable de fibra óptica respecto de la muestra, para lo cual se calcula la altura como se muestra en la siguiente figura.

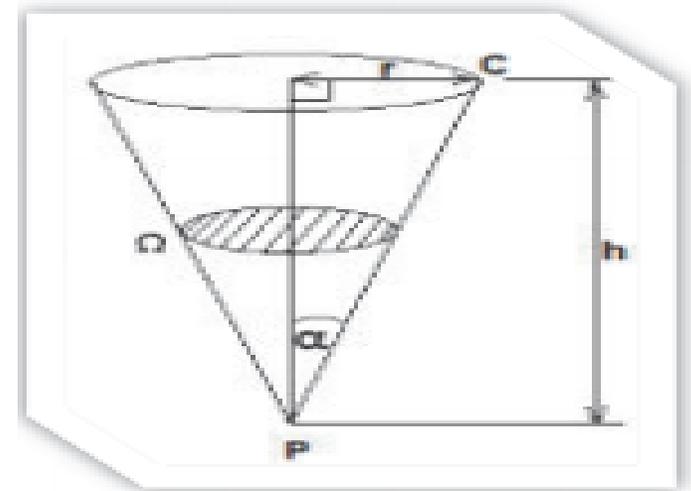
Donde:

C: diámetro de la fibra óptica

Ω : ángulo solido

h : altura

α : semiángulo del cono definido por P





- Para lo cual dichos datos nos entrega el fabricante del cable de fibra óptica, teniendo un ángulo de apertura de 25.4° , con un diámetro de la fibra óptica de 0.625 cm, se procede a calcular la distancia del triángulo rectángulo formado por los punto P,C,r aplicando geometría plana

$$\tan \alpha = \frac{r}{h}$$

$$h = \frac{r}{\tan \alpha}$$

$$h = \frac{0.313}{\tan 25.4}$$

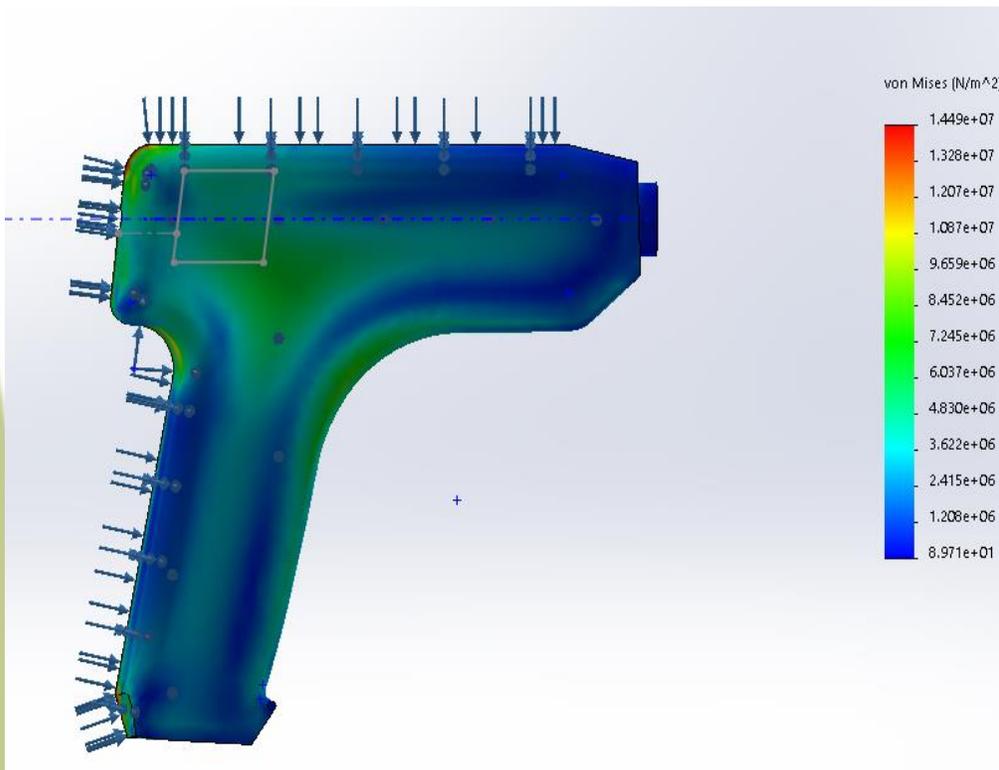
$$h = 0.66 \text{ cm}$$



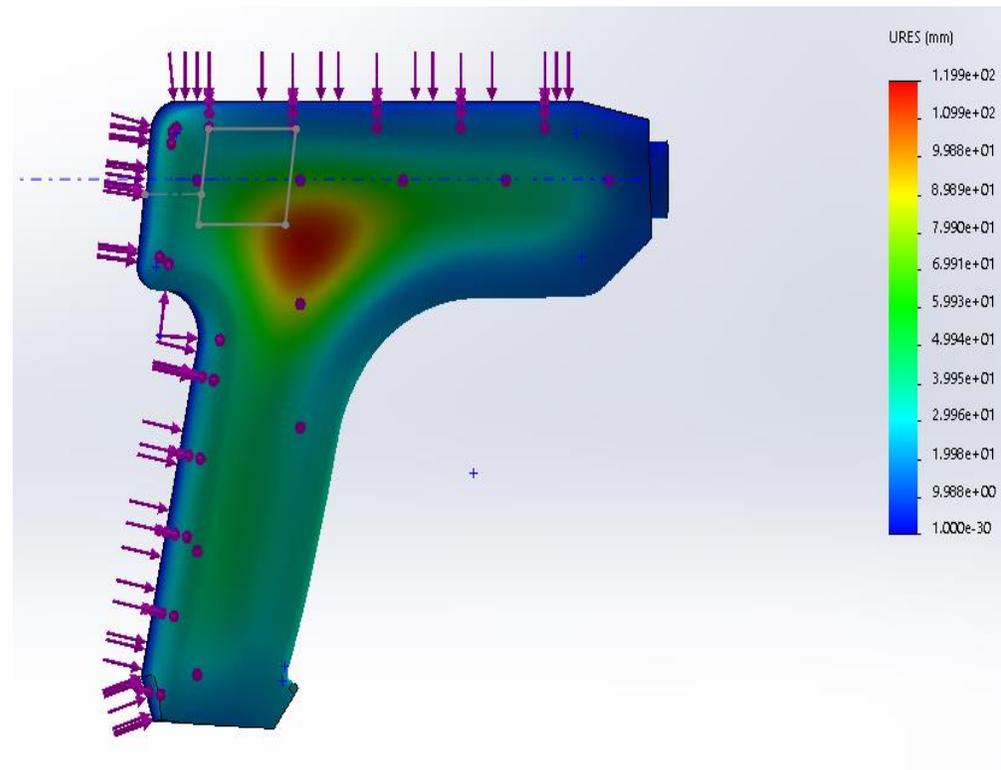
Diseño de la punta de muestra

Limite elástico de la impresión 30 Mpa

Análisis de esfuerzo

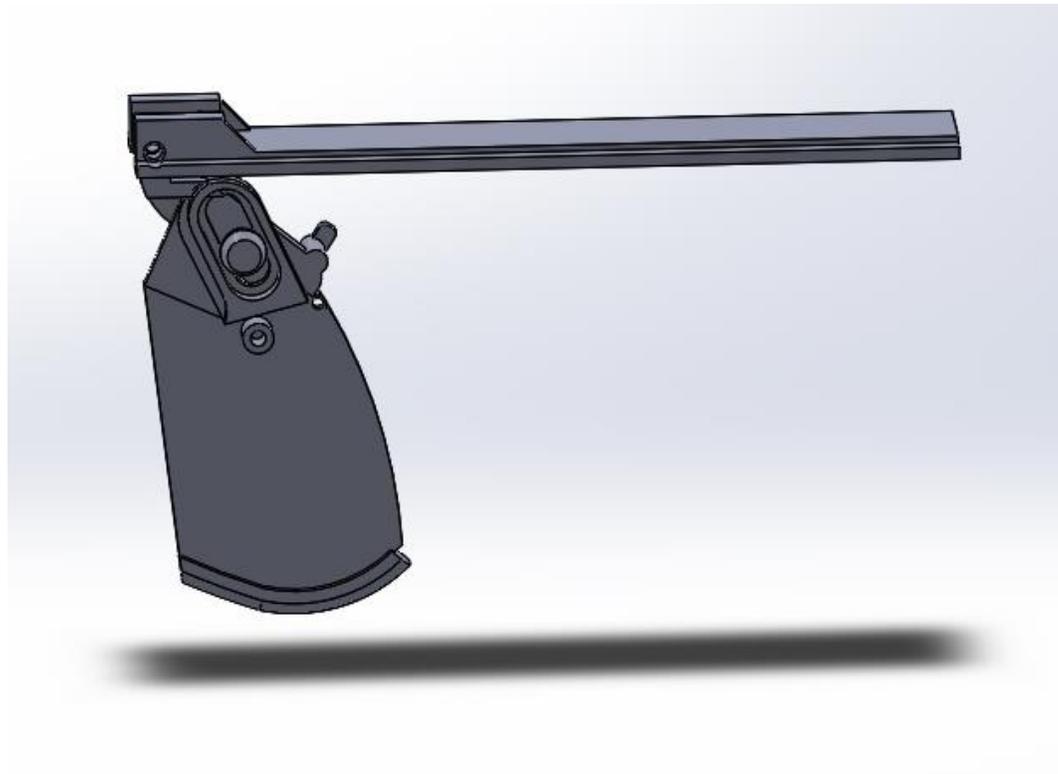


Factor de seguridad $n > 1$





Mecanismo de la punta de muestra

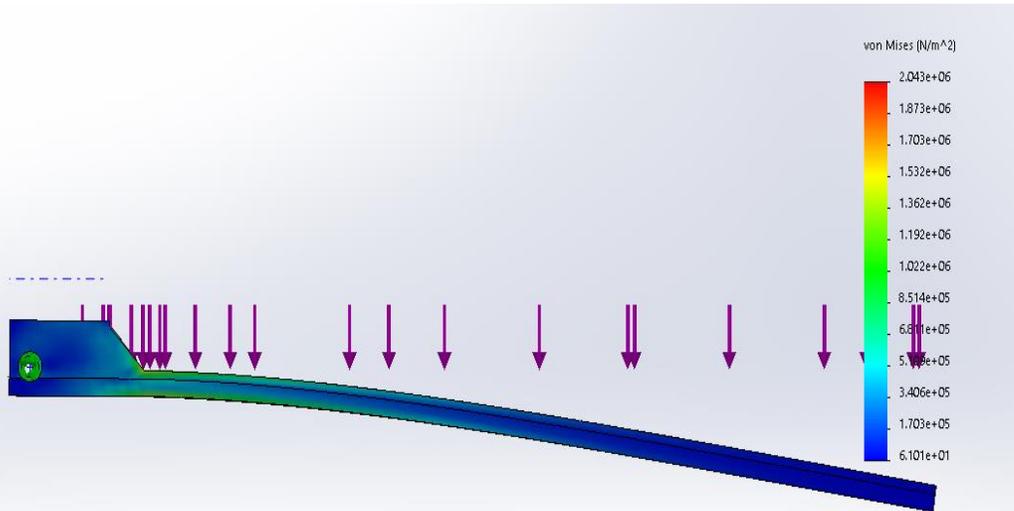




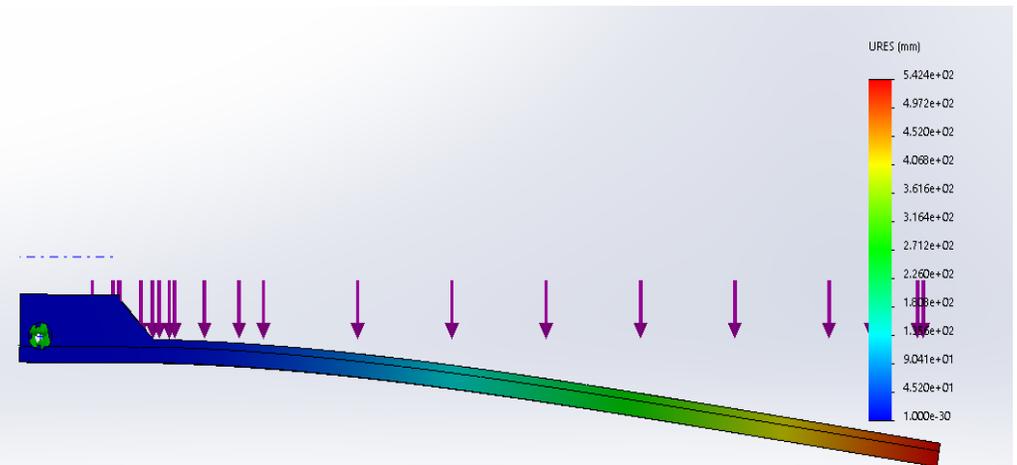
Riel del mecanismo

- Su funcionamiento es abrir al mecanismo donde se sujeta los acoples, el cual se abre para colocar la muestra.

Análisis de esfuerzo



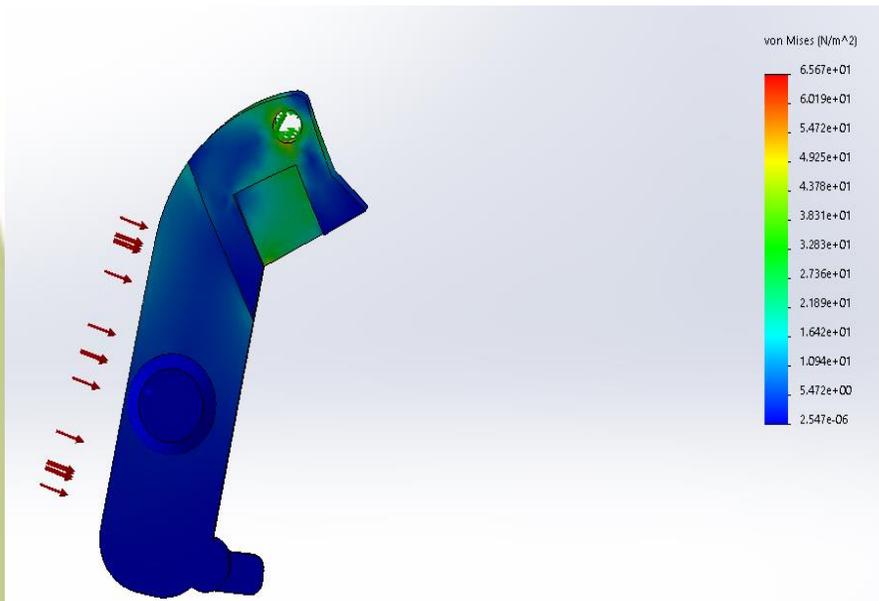
Factor de seguridad



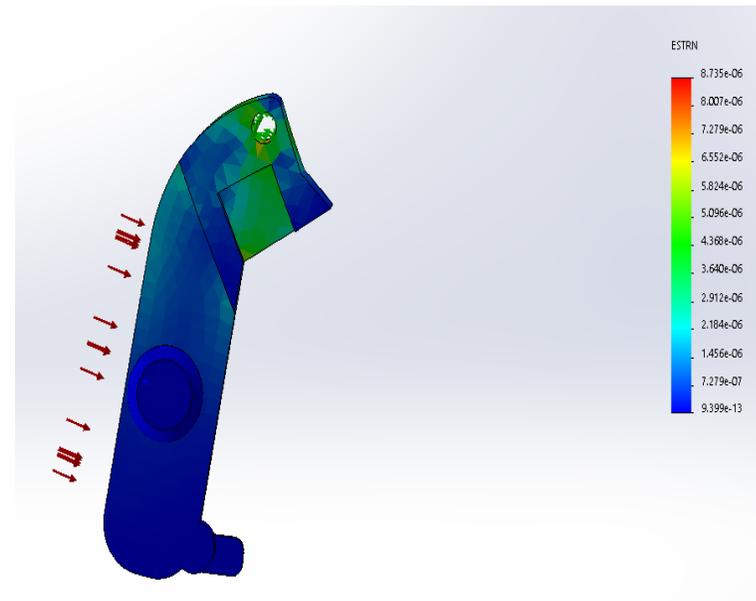
Tornillo de sujeción del mecanismo

- Su funcionamiento es acoplarse con el riel del mecanismo y el gatillo el cual integra el desplazamiento del mismo

Análisis de esfuerzo



Factor de seguridad

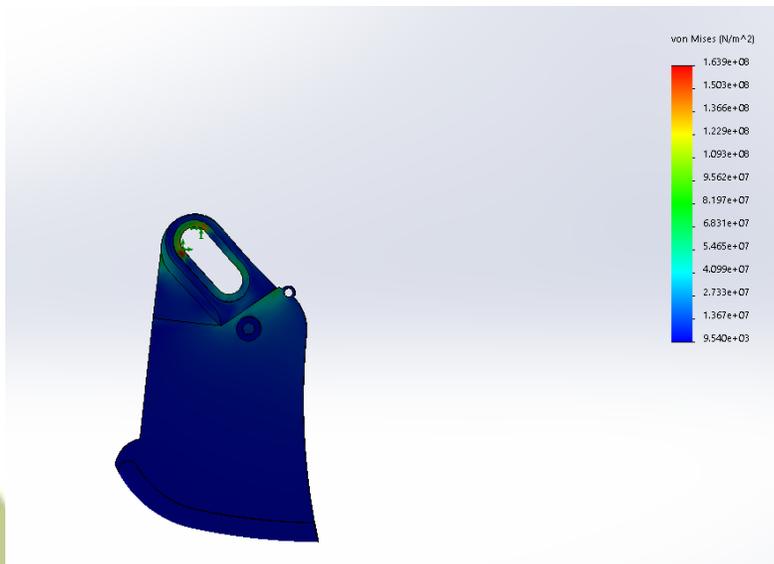




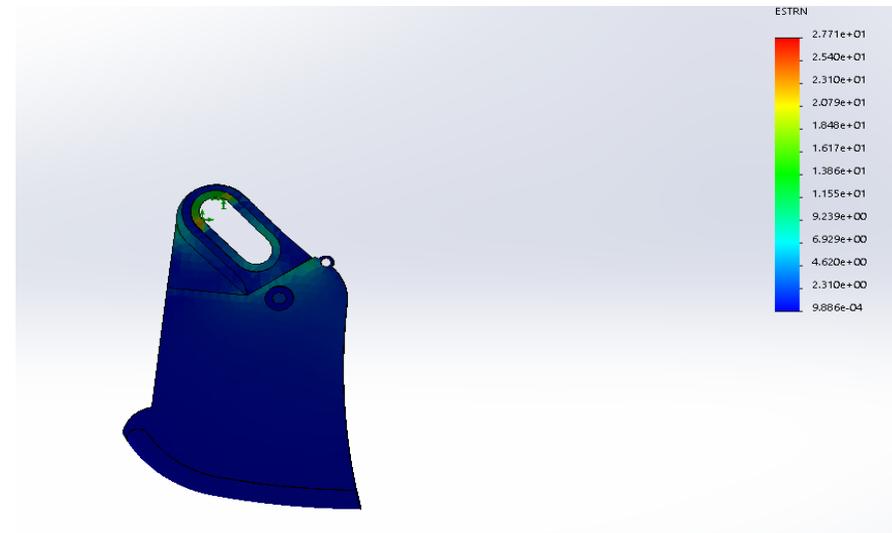
Gatillo

- El funcionamiento del gatillo es el encargado de activar el mecanismo para lo cual se toma como referencia la máxima fuerza que aplica un dedo que es 98 N.

Análisis de esfuerzo



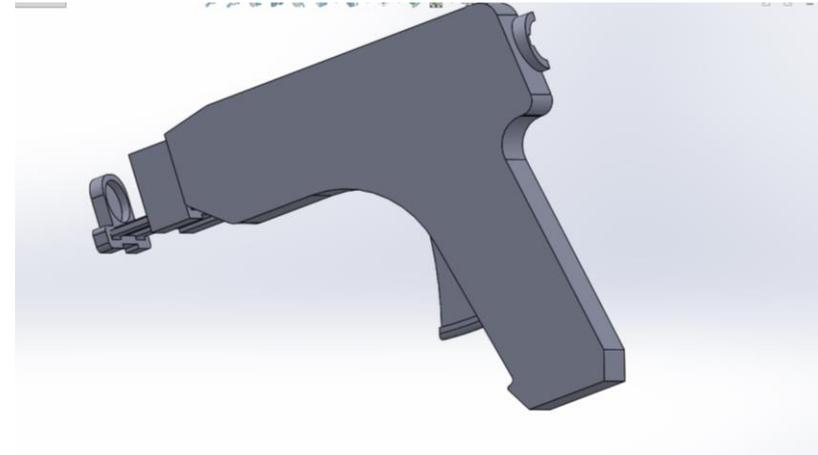
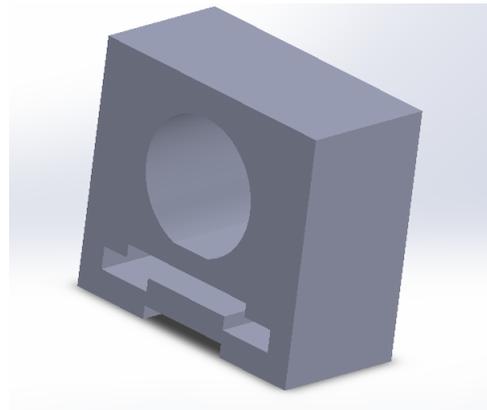
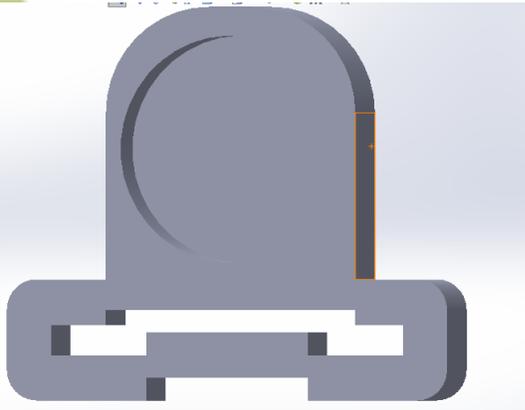
Factor de seguridad





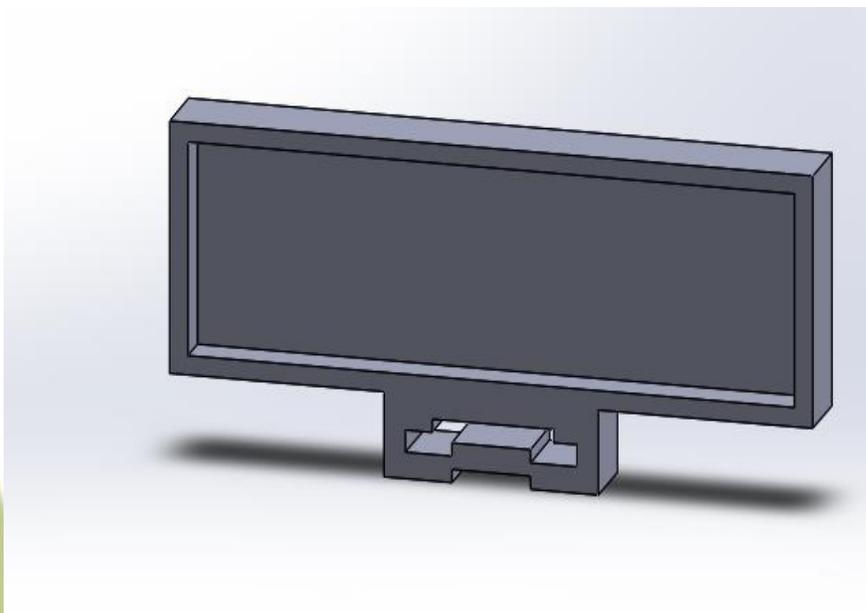
Acoples para la punta de muestra

- Sistema de luz artificial



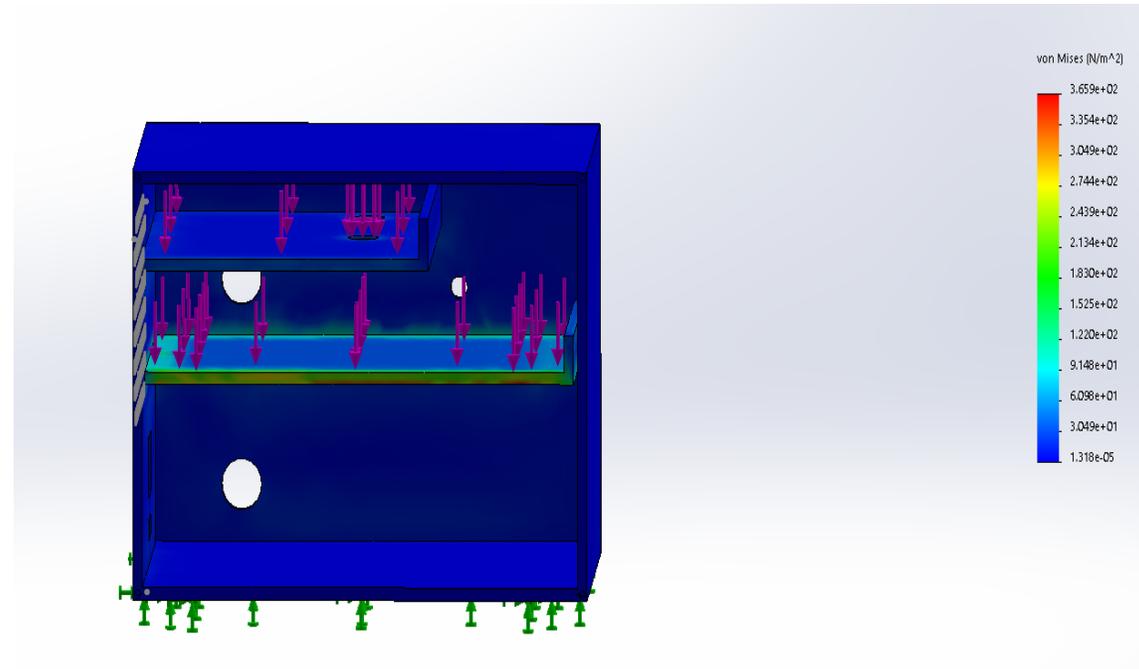
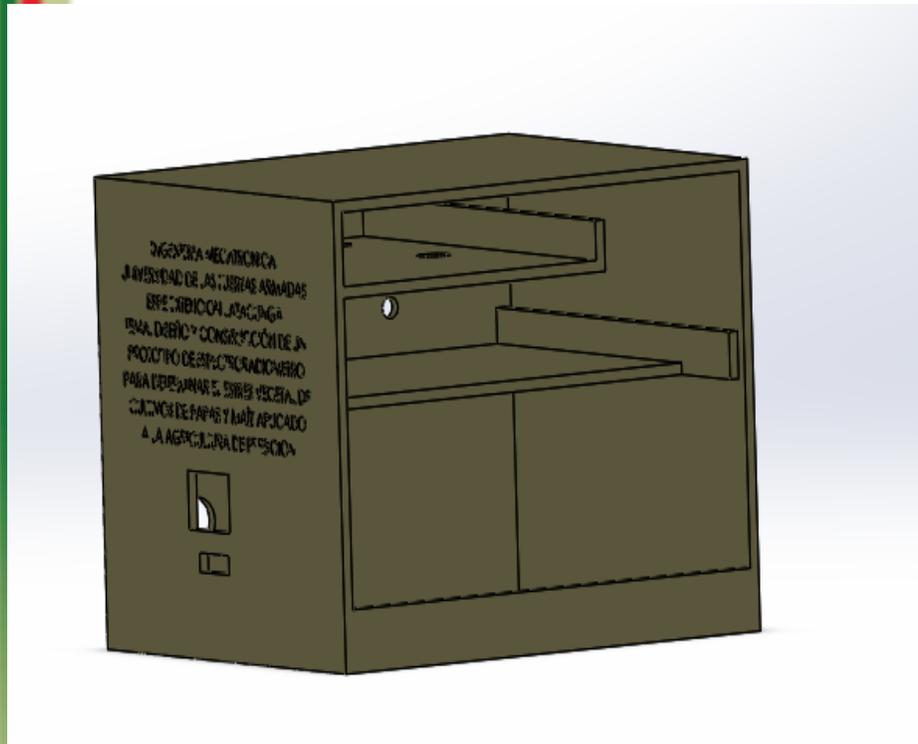


Luz natural



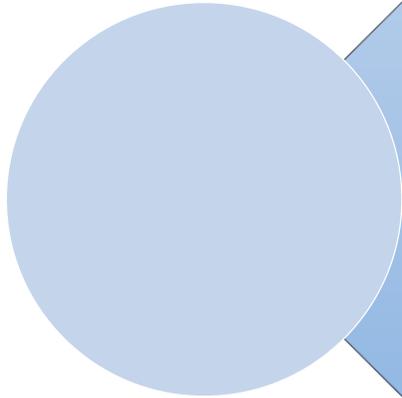


Diseño de la estructura del prototipo

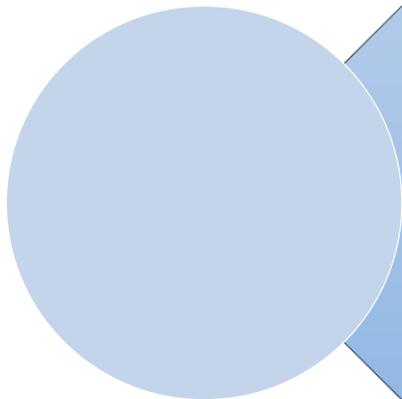




Fuente de luz artificial



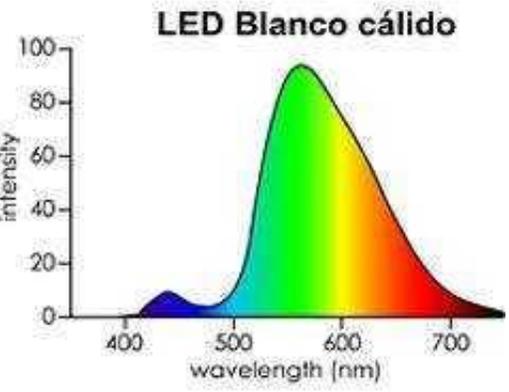
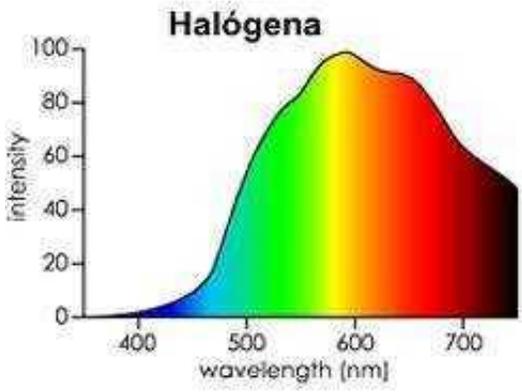
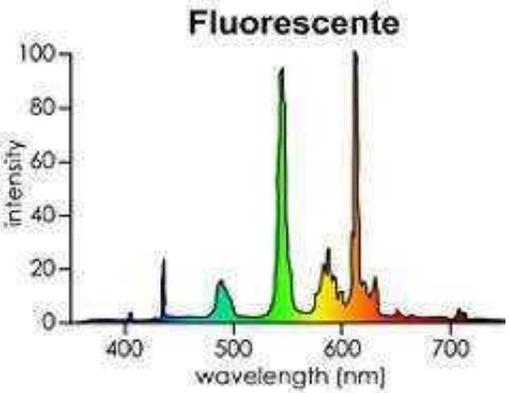
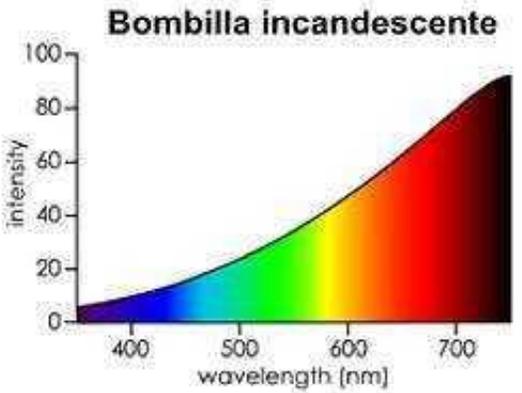
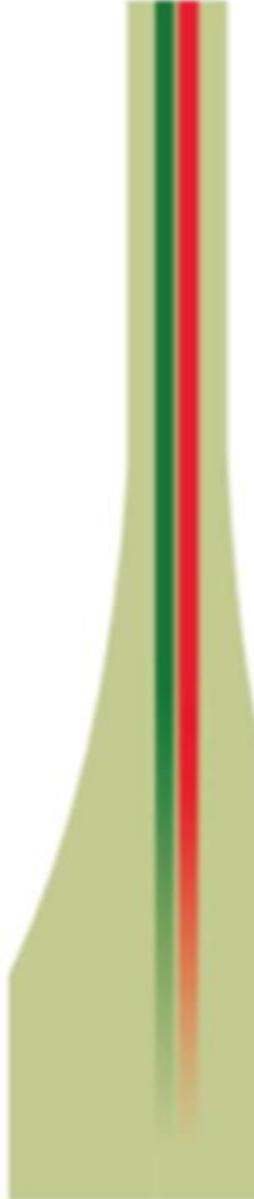
Consumo
Energético



Rango de Trabajo



Longitud de Onda





Consumo Energético

<u>Flujo luminoso</u> (lumen)	"mínimo"	Potencia eléctrica (vatio)		
		Halógena	CFL	LED
450		35	9-13	4-9
800		40	13-15	10-15
1,100		50	18-25	10-15



Selección de la fuente de energía

Datos

Luz led

$V = 5 \text{ V DC}$

$P = 3 \text{ W}$

Cálculos para la primera batería.

Calculo de la corriente

$$I = \frac{P}{V} = \frac{3W}{5V}$$

$$I = 0.6 \text{ A}$$



- Teniendo en cuenta la corriente de la luz led se procede a calcular la capacidad de una batería teniendo en cuenta el tiempo de consumo en este caso 1 hora.

$$C = I * t$$

$$C = 0.6 A * 1 h$$

$$C = 0.6 Ah$$

Factor de seguridad de la batería=1.1

Factores caídas de tensión en la batería= 1.2

$$C_{final} = 1.1 * 1.2 * C$$

$$C_{final} = 1.1 * 1.2 * 0.6A$$

$$C_{final} = 0.79 A$$



- Raspberry Pi 3
 $I = 700 \text{ mA}$
 $V = 5 \text{ V}$
Espectrómetro
 $V = 5 \text{ V}$
 $I = 1 \text{ A}$

Cálculos para la segunda batería

En este caso vamos a conectar el raspberry Pi 3 en común con el espectrómetro.

$$I_{total} = I_1 + I_2$$

$$I_{total} = 700\text{mA} + 1\text{A}$$

$$I_{total} = 1.700\text{mA}$$



- El tiempo de consumo es 1 hora

$$C = I * t$$

$$C = 1.700 A * 0.792 h$$

$$C = 1.34 Ah$$

- Factor de seguridad de la batería=1.1
- Factores caídas de tensión en la batería = 1.2

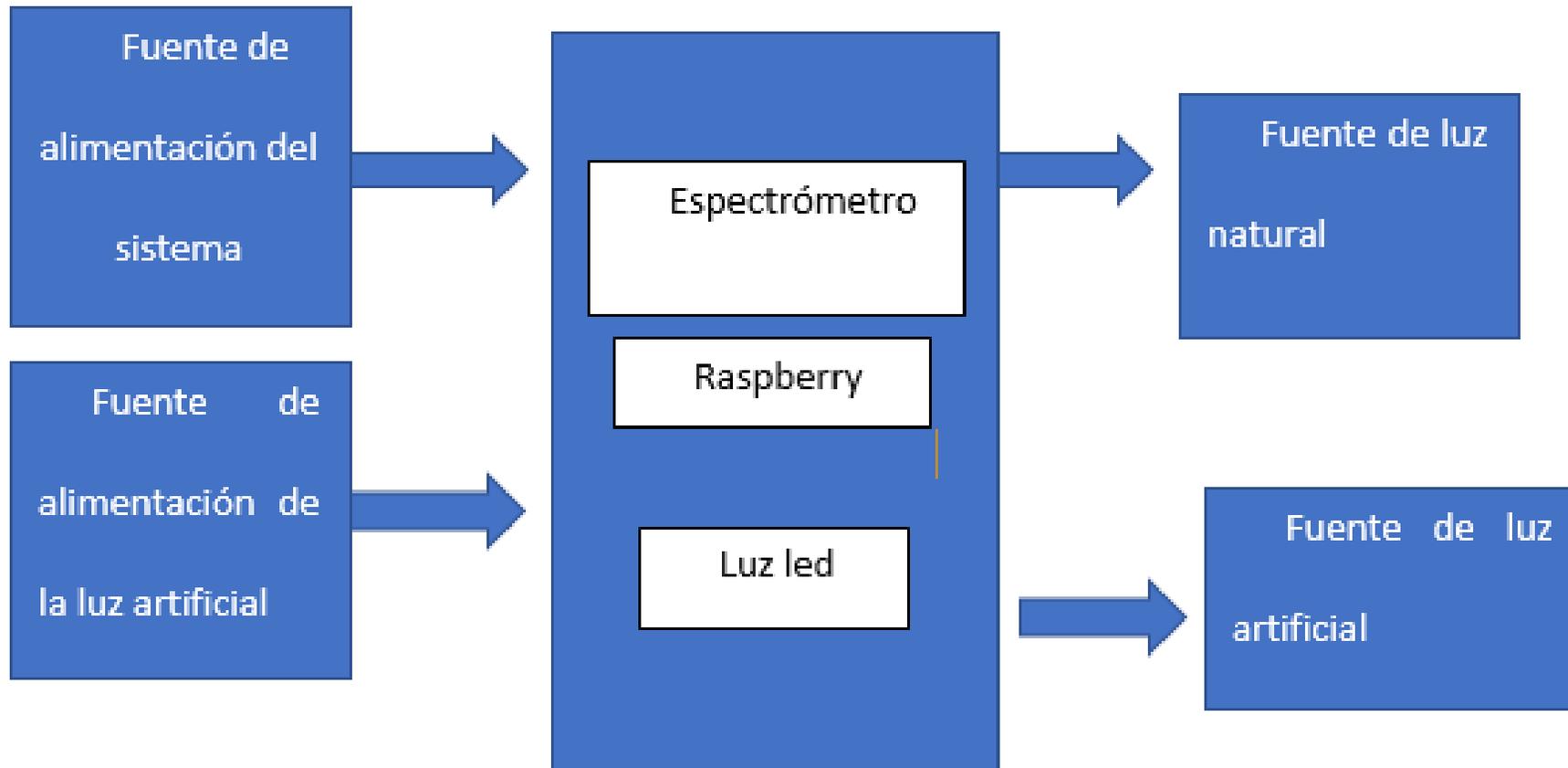
$$C_{final} = 1.1 * 1.2 * C$$

$$C_{final} = 1.1 * 1.2 * 1.34A$$

$$C_{final} = 1.76 A$$



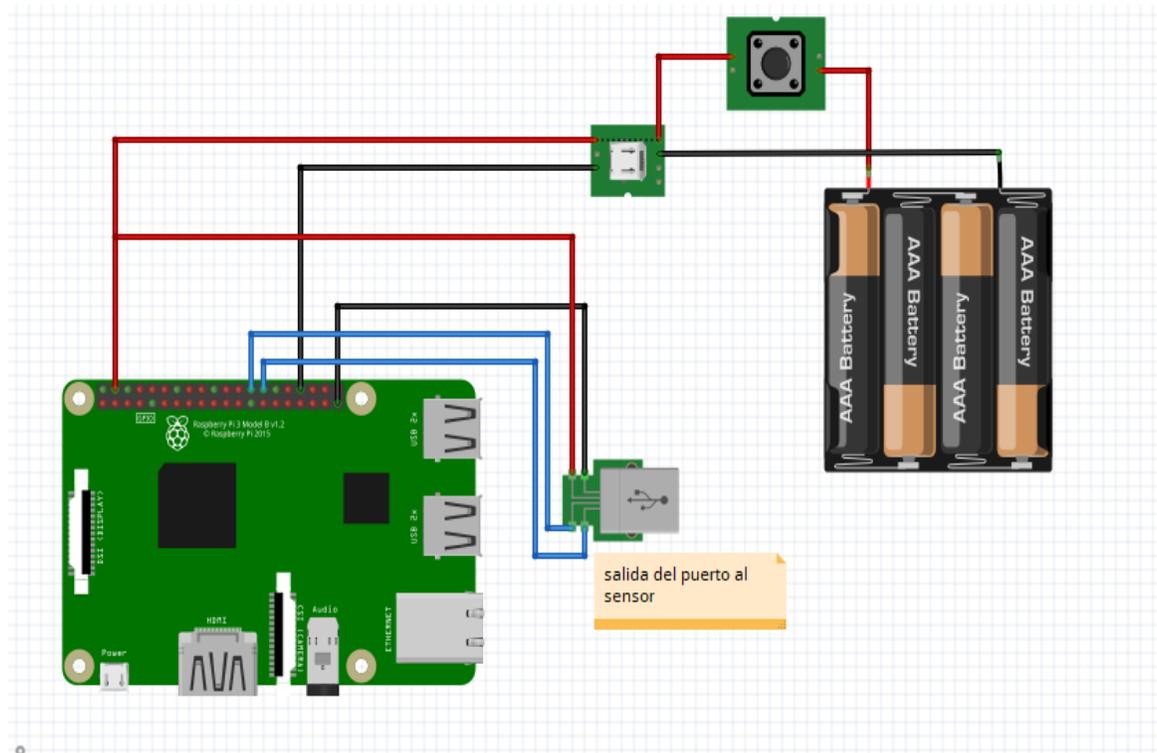
IMPLEMENTACIÓN Y DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN PARA LA ADQUISICIÓN Y VISUALIZACIÓN DE DATOS DEL PROTOTIPO





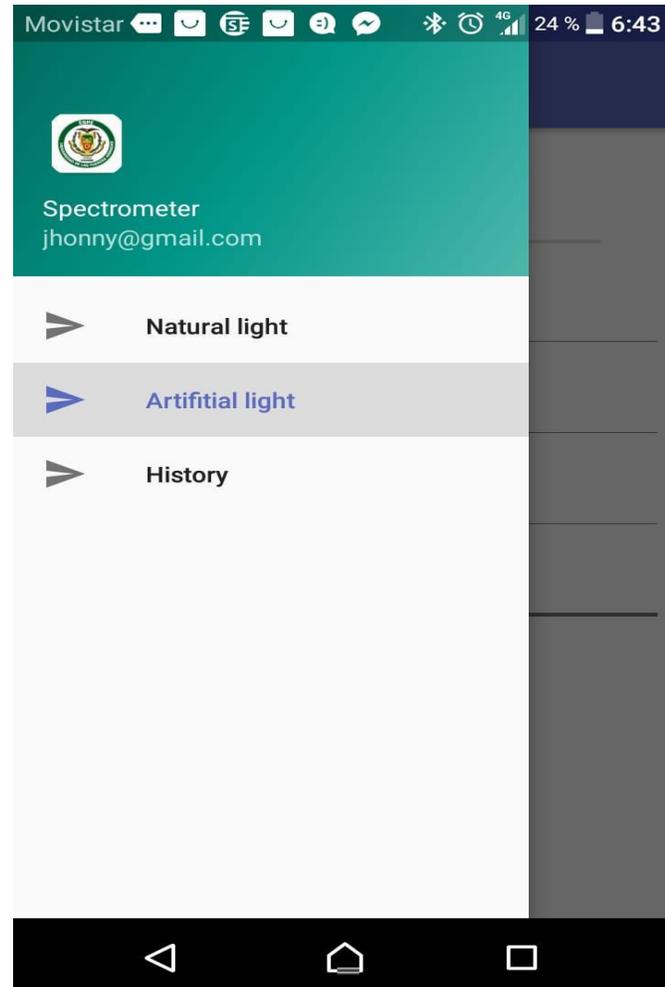
Implementación del sistema eléctrico

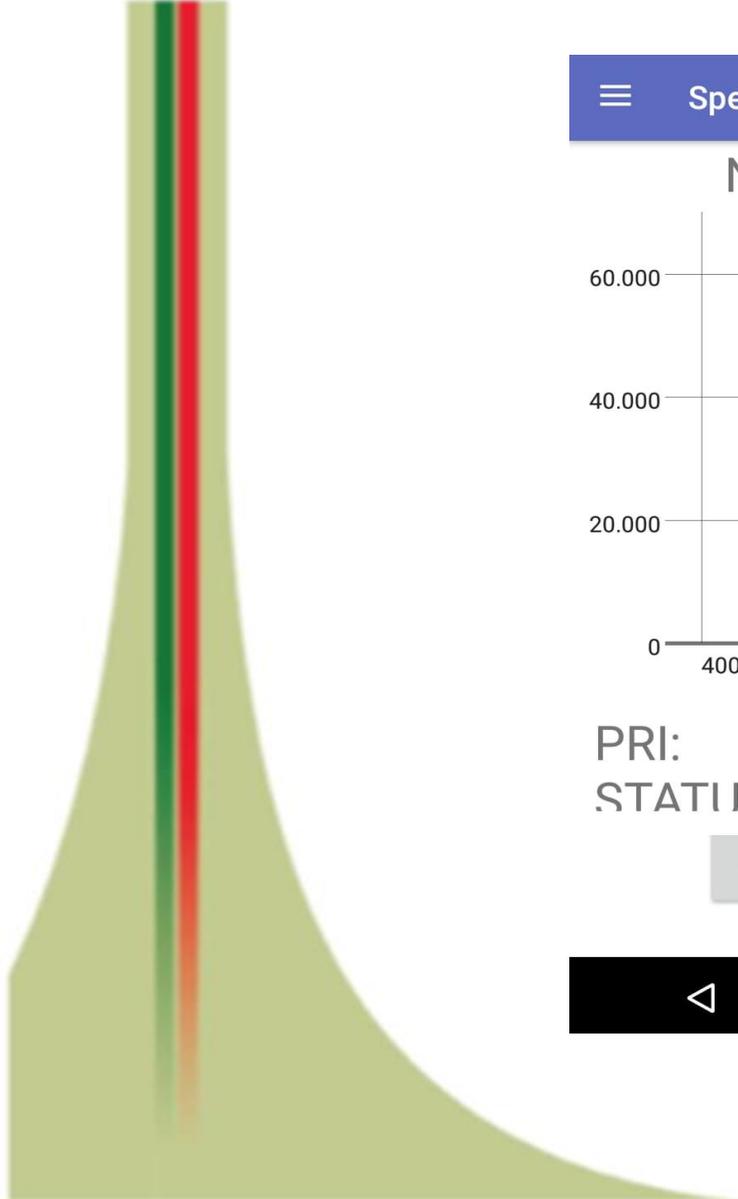
- Se implementó las conexiones necesarias para integrar todo el sistema del prototipo de espectroradiómetro.





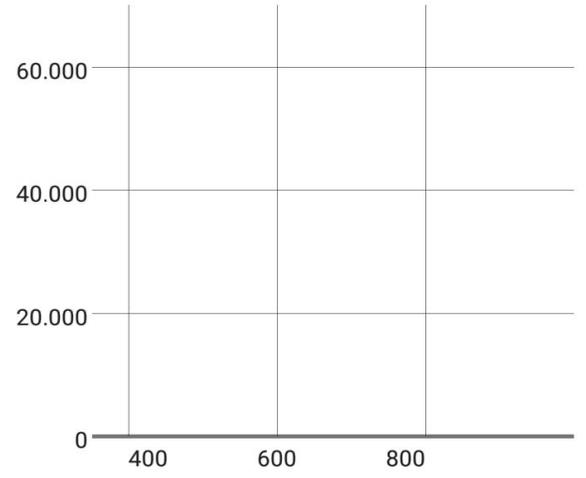
- Implementación de la interfaz





☰ Spectrometer

Natural Light



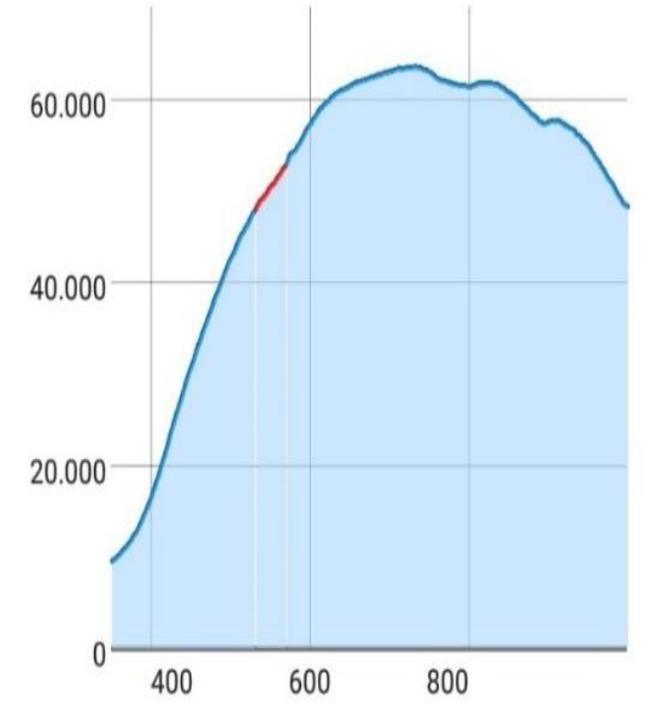
PRI:
STATUS:

CALIBRATE



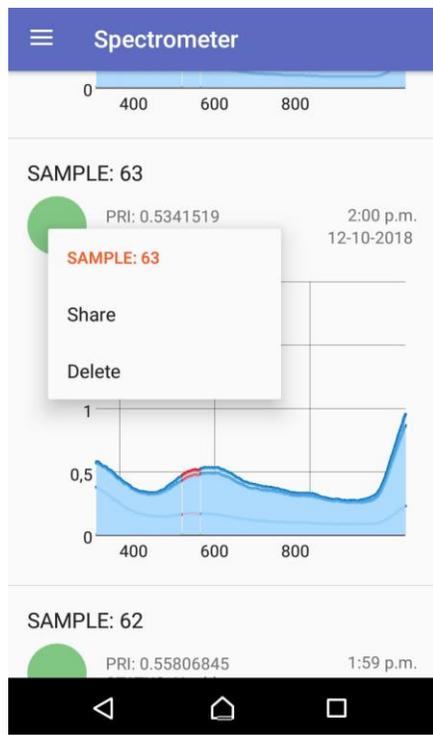
☰ Spectrometer

Natural Light





Datos guardados



SAMPLE: , 12	544 , 0.28197956
PRI: , 0.59486973	545 , 0.28301886
STATUS: , Healthy	546 , 0.2839741
DATE: , 11:15 a.m. , 11-30-2018	547 , 0.2846094
	548 , 0.2847584
	549 , 0.285694
DATAS:	550 , 0.28655314
	551 , 0.28700656
X , Y	552 , 0.28758407
0 , 0.9952545	553 , 0.28863204
1 , 0.99565405	554 , 0.28939185
2 , 0.9886957	555 , 0.28990123
3 , 0.9908457	556 , 0.2909833
4 , 0.9925634	557 , 0.29159853
5 , 0.9943182	558 , 0.29222935
6 , 0.99167764	559 , 0.29273272
7 , 0.9916703	560 , 0.2930248
8 , 0.9908377	561 , 0.2947408
9 , 0.9895652	562 , 0.29614717
10 , 0.98957425	563 , 0.29777148
11 , 0.99090517	564 , 0.29791233
12 , 0.99347824	565 , 0.297783
13 , 1.0004369	566 , 0.29859325
14 , 1.0039682	



Implementación del sistema





Implementación de la punta de muestra





Sistema artificial





Sistema natural





PRUEBAS Y RESULTADOS

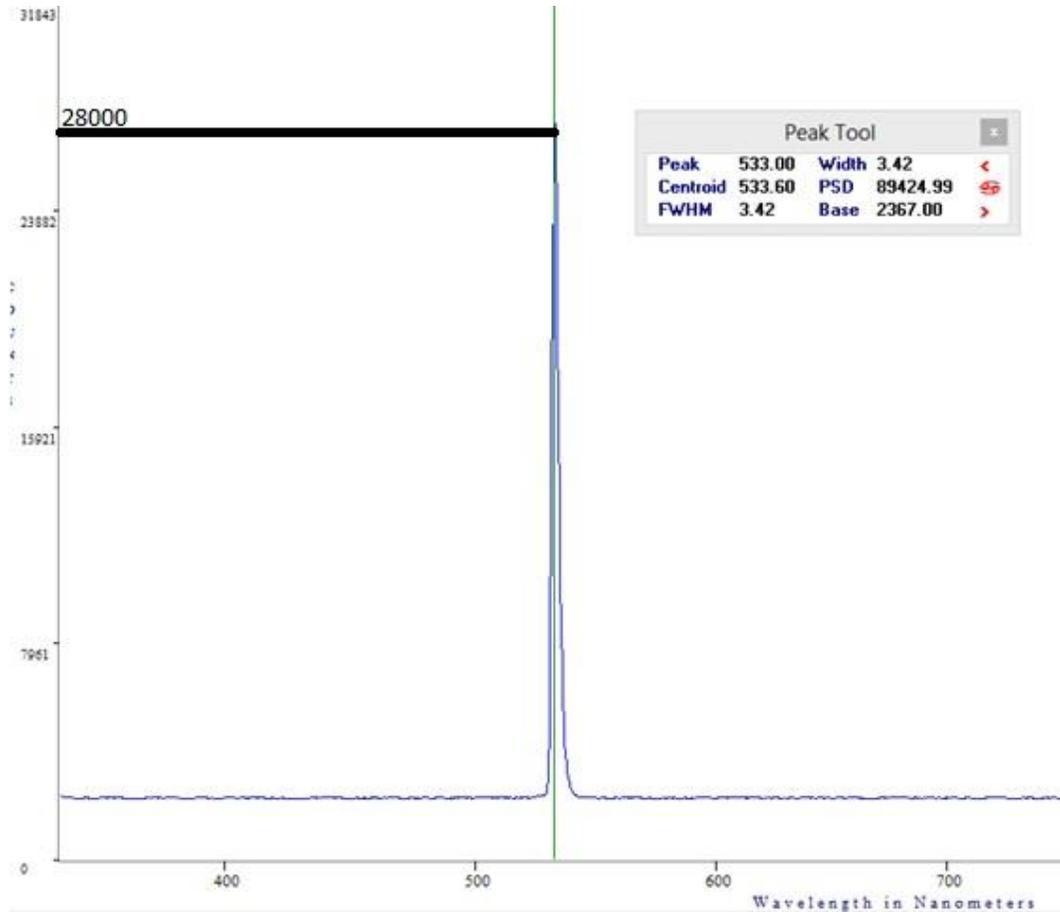
Validación del sistema de interfaz desarrollado.

Validación del prototipo mediante el equipo fieldSpec4

Pruebas de campo.



Muestra tomada del láser 532 nm mediante el software comercial del stellarnet

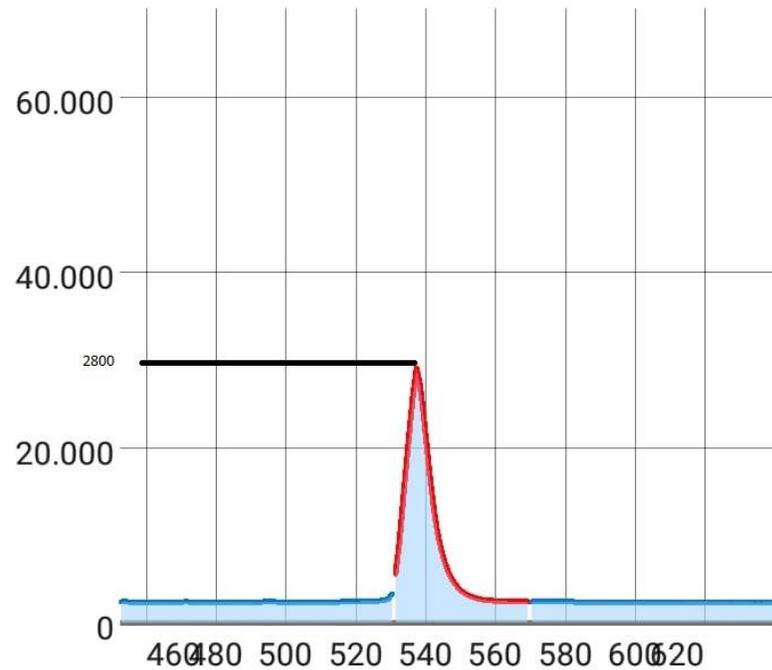




Muestra tomada del láser 532 nm mediante la interfaz desarrollada para el prototipo de espectroradiómetro

☰ Spectrometer

Natural Light



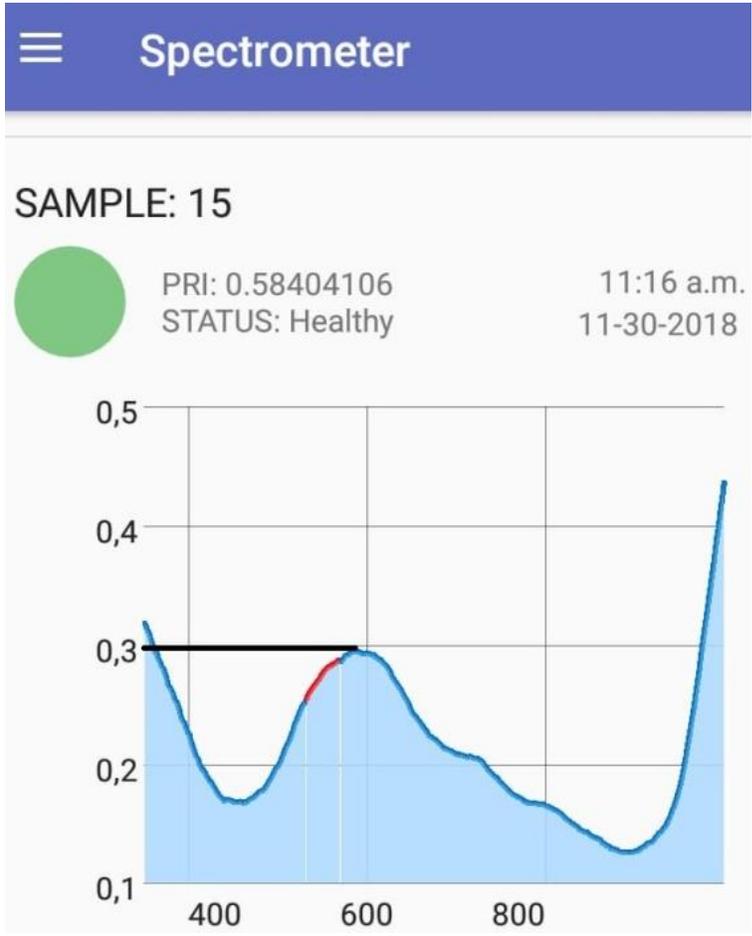
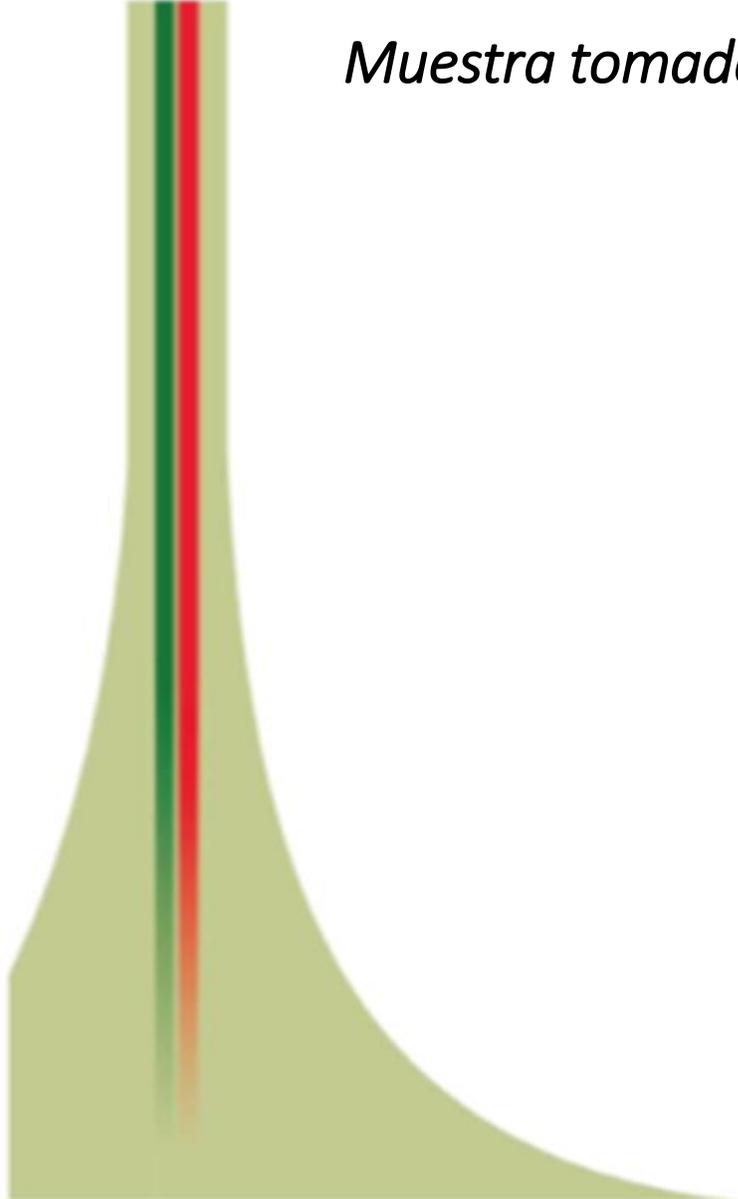


Muestra tomada mediante en espectroradiómetro Fieldspec 4





Muestra tomada mediante la interfaz del prototipo de espectroradiómetro desarrollado





Validación de pruebas en cultivos de maíz y papas

- $E = 0.05$ (límite aceptable del error muestra)
- $Z = 1.96$ (nivel de confianza 95%)
- $p = q = 0,5$ (sin estudios anteriores)

$$n = \frac{N \cdot z^2 \cdot p \cdot q}{N \cdot E^2 + z^2 \cdot p \cdot q}$$

$$n = 23$$



$$\text{Error} = \frac{V_{LN} - V_{LA}}{V_{LN}} * 100$$

$$\text{Error} = \frac{0.658 - 0,641}{0658} * 100$$

$$\text{Error} = 2,58\%$$

Numero de muestras	Valor de PRI en maíz en luz natural	Valor de PRI en maíz en luz artificial
1	0,693	0,561
2	0,774	0,452
3	0,604	0,535
4	0,502	0,584
5	0,576	0,654
6	0,457	0,578
7	0,689	0,78
8	0,84	0,467
9	0,789	0,474
10	0,836	0,445
11	0,789	0,661
12	0,661	0,567
13	0,622	0,678
14	0,546	0,745
15	0,701	0,475
16	0,564	0,645
17	0,456	0,845
18	0,754	0,621
19	0,812	0,864
20	0,757	0,756
21	0,683	0,748
22	0,569	0,765
23	0,457	0,842
Valor medio de PRI	0,657869565	0,640956522
Desviación estándar de PRI	0,122681385	0,130962151





$$Error = \frac{V_{LN} - V_{LA}}{V_{LN}} * 100$$

$$Error = \frac{0,871 - 0,858}{0,871} * 100$$

$$Error = 1,49\%$$

Numero de muestras	Valor de PRI de papas en luz natural	Valor de PRI de papas en luz artificial
1	0,996	0,897
2	1,23	0,753
3	0,956	0,789
4	0,768	0,859
5	1,018	0,789
6	0,956	0,689
7	1,044	0,812
8	0,923	0,894
9	0,937	1,012
10	1,128	0,985
11	0,654	0,968
12	0,784	0,879
13	0,789	0,785
14	0,802	0,963
15	0,954	0,945
16	0,678	0,985
17	0,921	0,695
18	0,784	0,756
19	0,687	0,794
20	0,856	0,946
21	0,687	0,854
22	0,764	0,789
23	0,718	0,901
Valor medio de PRI	0,871043478	0,858217391
Desviación estándar de PRI	0,149979268	0,09369653



Conclusiones

- El diseño construido permite tener una versatilidad de trabajo, permitiendo que funcione con luz natural y artificial, evitando lecturas erróneas en el sistema, además es de fácil traslado en el campo.
- Se logró implementar un algoritmo de control, permitiendo que el equipo sea versátil en su funcionamiento, empezando por el sistema de iluminación, comunicación bluetooth, sensor espectral, cargador de batería, raspberry pi3 y su visualizador gráfico.



CONCLUSIONES

- Se desarrolló el software amigable con el usuario, permitiendo la facilidad de uso y visualización de datos, donde podrá escoger el tipo de trabajo que va realizar, adaptando el equipo para luz artificial y luz natural, donde se obtendrá un menú de opciones que pueda escoger fácilmente, al mismo tiempo podrá visualizar los datos obtenidos en la medición, ya que cuenta con almacenamiento de datos donde se podrá visualizar de manera gráfica y las firmas espectrales de cada muestra tomada para su posterior análisis.



RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar un vehículo aéreo no tripulado, con cual el equipo pueda cubrir más la extensión de trabajo, permitiendo desplazarse por toda el área de trabajo sin tener la necesidad de trasladarse tomar datos.
- Por la sensibilidad de la fibra óptica se recomienda que no se envuelva demasiado y mucho menos aplastarle, ya que el equipo quedaría obsoleto ya que es una base fundamental del prototipo.
- Comprobar que los conectores se encuentren bien conectados ya que puede haber la posibilidad que el equipo no encienda.



**SI EL PLAN "A" NO FUNCIONA, RECUERDA
QUE ABECEDARIO TIENE 26 LETRAS MAS.**

GRACIAS POR SU ATENCIÓN