

M. Raponi^{1*}, O. Vilar¹, H. Arboleas¹, E. Martorella¹

1. Instituto de Investigaciones Científicas y Técnicas para la Defensa (CITEDEF), Ministerio de Defensa (MINDEF),
Juan Bautista de La Salle 4397, Villa Martelli, Buenos Aires, Argentina.

*e-mail: mraponi@citedef.gob.ar

Resumen: Las condiciones adversas y el elevado riesgo que implica efectuar mediciones directas sobre el edificio volcánico o la caldera, hacen que las técnicas de sensado remoto resulten esenciales para el seguimiento de la actividad volcánica, en particular para la detección de variaciones geoquímicas gaseosas. En este trabajo se describe el diseño y la construcción de un sistema portátil denominado scanning-DOAS, que permite monitorear las emisiones volcánicas de dióxido de azufre (SO₂) desde una distancia segura. El prototipo integra componentes ópticos (fibra óptica, prisma, lente y ventana de cuarzo), mecánicos (polea, correa) y electrónicos (motor paso a paso, controlador embebido, entre otros). El dispositivo permite registrar la variabilidad diaria y estacional de las emisiones de SO₂ mediante el escaneo de la pluma volcánica, a partir de la radiación solar difusa (en el rango UV) captada por el detector. El análisis espectral de dicha radiación se realiza aplicando la técnica DOAS (*Differential Optical Absorption Spectroscopy*), la cual permite estimar la concentración del gas en la sección transversal de la pluma. Combinando esta información con la altura y la velocidad de desplazamiento de la pluma se obtiene el flujo de SO₂, expresado en toneladas por día (t/d) o kilogramos por segundo (kg/s).

Prototipo: El dispositivo está compuesto por un **módulo de escaneo**, un **módulo de control y procesamiento**, y un **módulo de energía** (ver Fig. 1). El módulo de escaneo se utiliza para realizar mediciones de radiación solar a diferentes ángulos de elevación en un plano perpendicular a la dirección de transporte de la pluma. El módulo de control y procesamiento consta de un mini-espectrómetro, un micro-ordenador, un motor paso a paso/driver y un módulo GPS. El módulo de energía se encarga de suministrar los niveles de tensión y corriente apropiados para que todo el sistema funcione correctamente. El instrumento es especialmente sensible a la radiación electromagnética en el rango 300-330 nm (UV), donde las moléculas de SO₂ presentan secciones eficaces de absorción significativas.

El corazón del sistema es un espectrómetro AVANTES modelo AvaSpec-ULS2048XL-Evo, que permite registrar radiación electromagnética solar que atraviesa la pluma volcánica. Combina una excepcional eficiencia cuántica con alta velocidad de adquisición. Posee una configuración (optical bench) Czerny-Turner simétrico de 75 mm de longitud focal, un sensor CCD y un obturador electrónico que permite tiempos de integración de hasta 2 microseg. Incorpora, además, un "detector collection lens" que mejora la sensibilidad del equipo hasta un 60%. Utiliza una placa electrónica AS7010 que ofrece USB3 (10 veces más rápido que los USB2) y conexión a Ethernet. Se seleccionaron sus componentes internos (ranura de entrada y red de difracción) para obtener la resolución apropiada y determinar la ventana de adquisición necesaria.

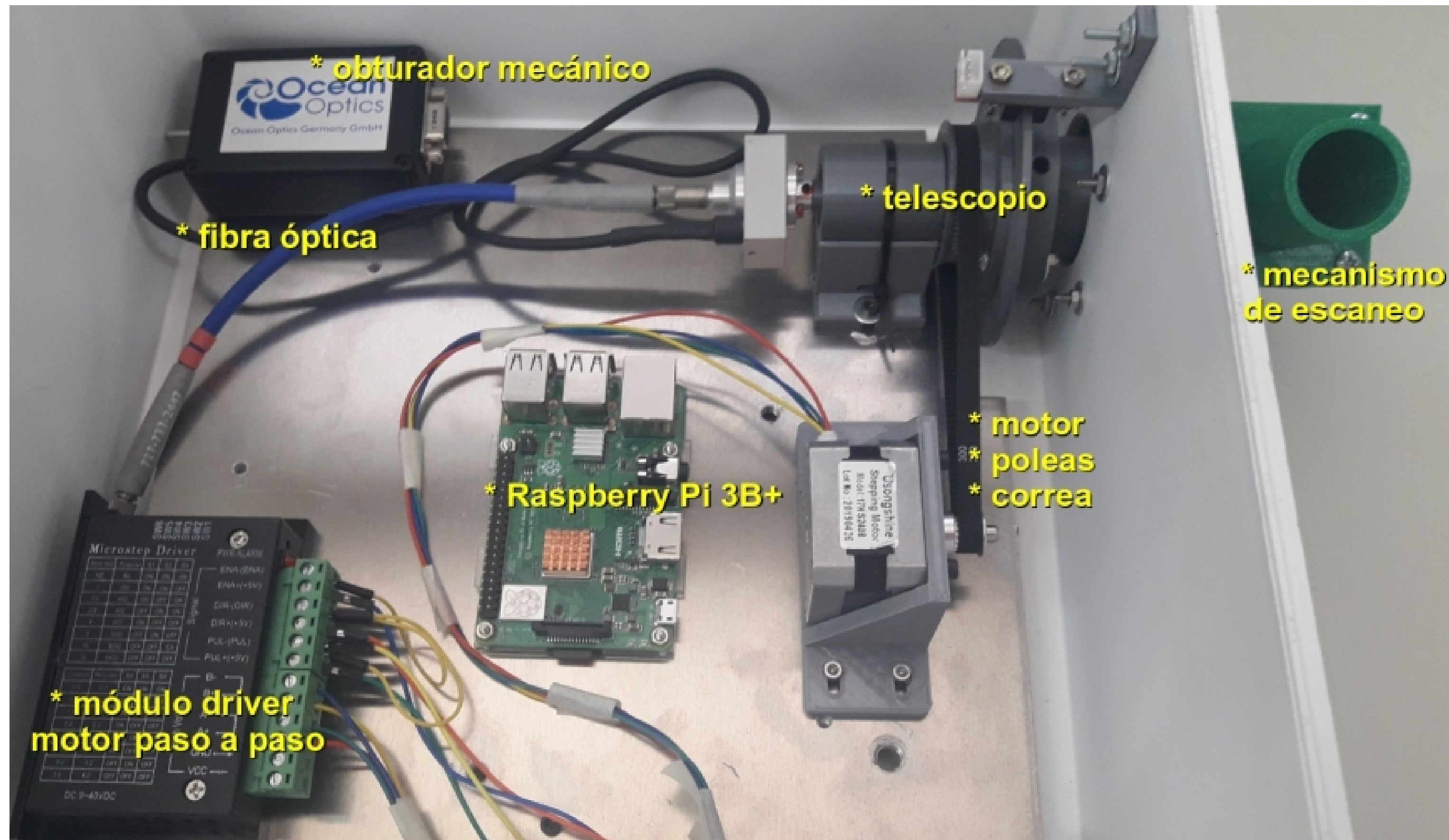
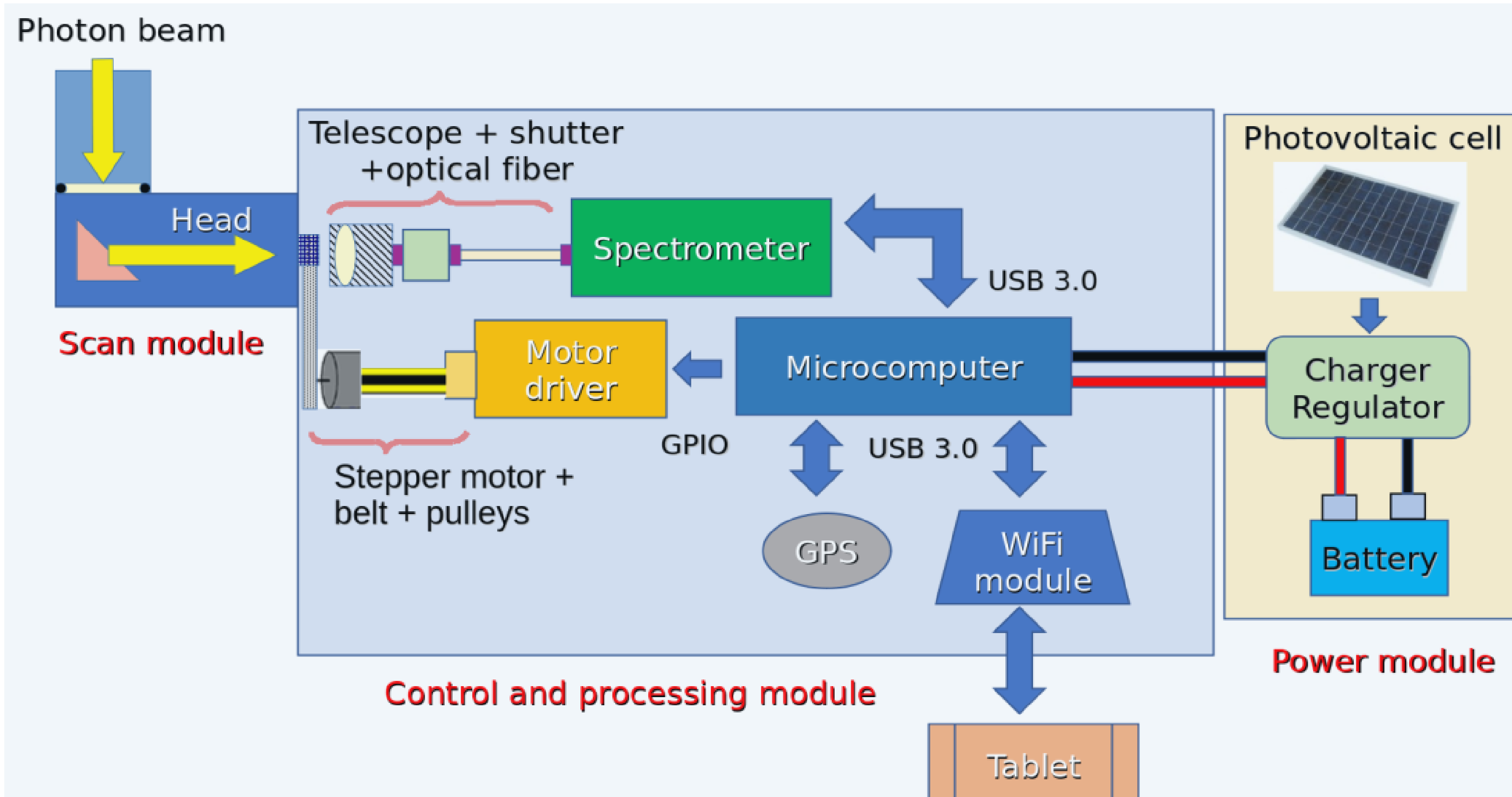


FIGURA 1: Superior) Diagrama esquemático del sistema completo. Inferior) imagen del interior de la caja estanca del prototipo que contiene elementos ópticos, mecánicos y electrónicos.

La micro-computadora del sistema (Raspberry PI 3B+) se comunica con el driver TB6600 del motor paso a paso para controlar su movimiento, y acciona un obturador mecánico utilizando unos pocos pines GPIO, a los cuales hubo que adaptar los niveles de tensión de 3.3 V a 5V, mediante un circuito integrado (Level Shifter bi-direccional). La RPI recibe a su vez información de un sensor IR (endstop óptico) que permite al módulo de escaneo encontrar su *home position*. El driver controla la resolución del movimiento del motor, desde 200 pasos/vuelta a 6400 pasos/vuelta. Mediante 6 interruptores tipo DIP es posible setear la corriente suministrada a las bobinas del motor y la cantidad de pasos por vuelta. Se utiliza un motor paso a paso bipolar Nema 17 de 1,8° de resolución y 1,6 N*cm de torque. Al seleccionar micro-stepping se logra una resolución de 0,05°/paso (ver Fig. 2).



FIGURA 2: Superior) Piezas que conforman el módulo de escaneo, impresas con material PLA (ácido poliláctico) utilizando una impresora 3D (Prusa i3 MK3), y sensor IR. Inferior) Driver/motor paso a paso.

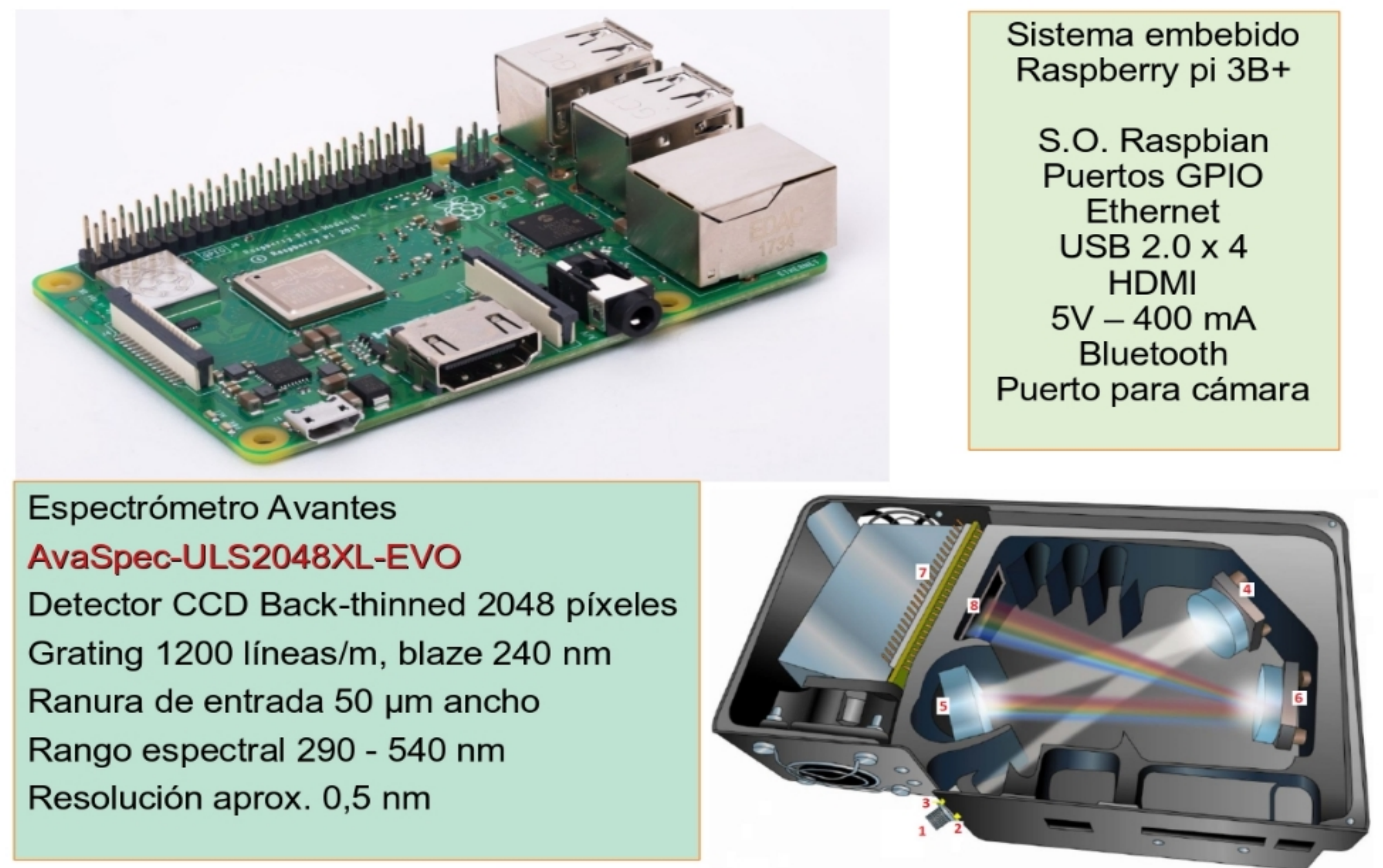


FIGURA 3 : Datos técnicos del espectrómetro y microcomputadora utilizados.

Consumo eléctrico: En la tabla se detallan los parámetros eléctricos más importantes del sistema.

Componentes	Corriente [mA]	Voltaje [V]	Potencia [W]
Raspberry Pi 3 B+	250	5	1,25
Obturador (shutter)	50	12	0,6
Driver motor	750	12	9
Espectrómetro	400	12	4,8
GPS	30	5	0,15
Consumo total: 15,8 W			

Algoritmos de control y procesamiento: Se elaboró una interfaz gráfica empleando lenguaje open-source (Python y Qt), la cual permite setear diferentes parámetros de funcionamiento del sistema, como por ejemplo, tiempo de integración en mseg, cantidad de espectros a promediar (para disminuir el ruido), delay entre los escaneos, barrido de ángulos en los que se va a medir, etc. (ver Fig. 4)

La técnica DOAS implementada en los algoritmos, permite determinar la densidad de columna inclinada diferencial (DSCD) del SO₂ para cada instante de medición. Utilizando el método Levenberg-Marquardt se realiza un ajuste no lineal entre los espectros solares registrados y las secciones eficaces de absorción de diferentes gases (O₃, NO₂, SO₂), además de incorporar la contribución del scattering inelástico (efecto Ring). Se utiliza una ventana espectral para el análisis entre 310-320 nm

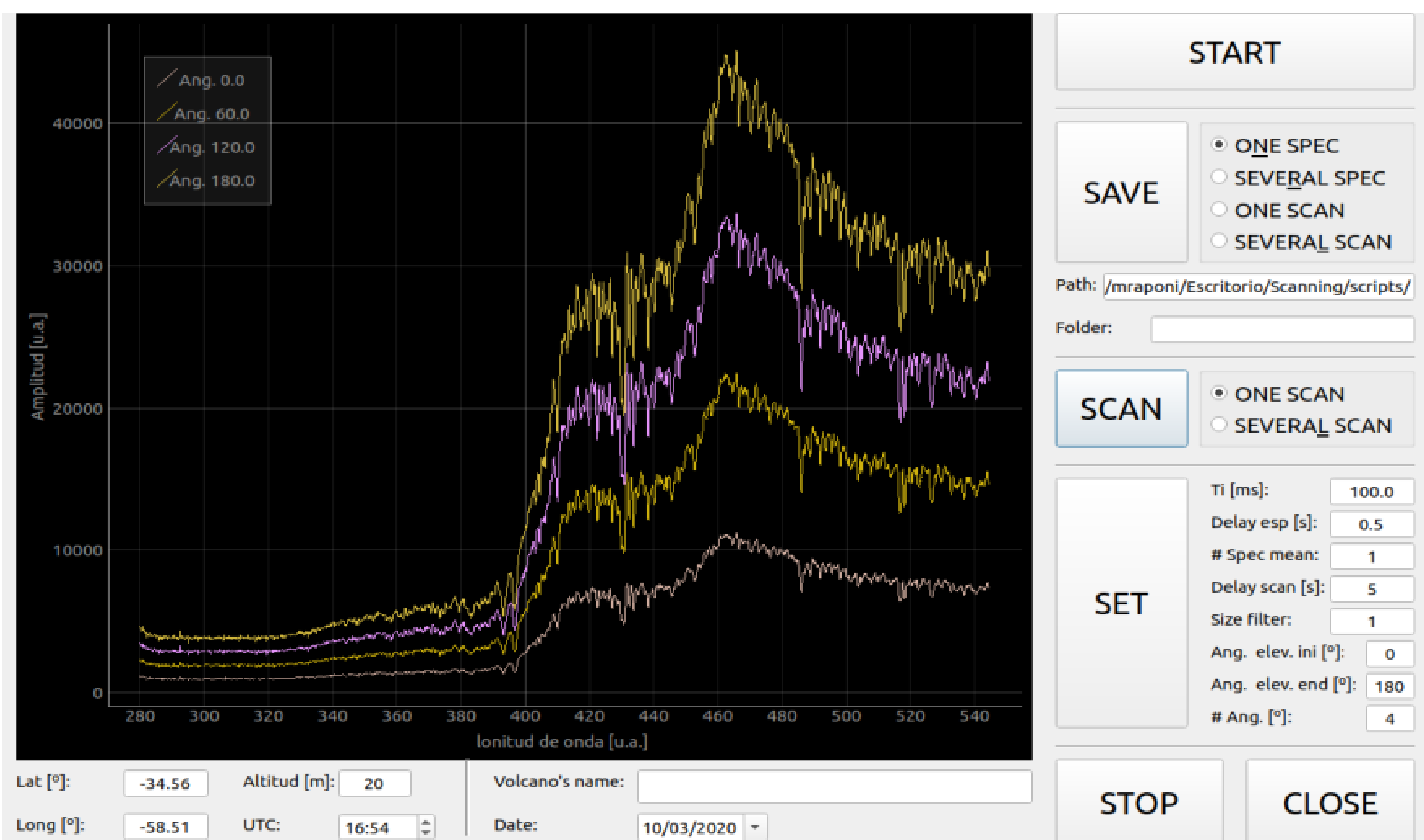


FIGURA 4: Interfaz gráfica elaborada usando Python y Qt5.

AGRADECIMIENTOS.

Los autores desean agradecer a CITEDEF, SEGEMAR e ICES-CNEA, por la colaboración brindada para que este trabajo pueda realizarse. El desarrollo del prototipo contó con la financiación de dos subsidios, PIDDEF 06-2018 y MSUTNBA0004832.