

Grupos Unitarios e Interferometría

Jorge Alejandro Ontibon

Asesores: Alejandra Catalina Valencia y Alonso Botero

Grupo de Óptica Cuántica, Universidad de los Andes, Bogota, D.C., Colombia

E-mail: j.ontibon@uniandes.edu.co, ac.valencia@uniandes.edu.co, abotero@uniandes.edu.co

Feria de divulgación, Universidad de los Andes, Bogota, Colombia, Mayo 16 del 2024

Resumen

Las transformaciones unitarias, representadas por grupos de simetría $U(N)$, son fundamentales en diversos contextos físicos. En particular, la óptica lineal ofrece una amplia gama de procesos físicos conservativos que pueden modelarse mediante matrices unitarias. Un ejemplo de esto son los divisores de haz (Beam Splitters). En este trabajo, se investiga la conexión entre los grupos unitarios y un interferómetro. Para ello, se empleó un láser de helio-neón y un montaje tipo Mach-Zehnder para recopilar datos sobre la potencia de la interferencia en función de la fase inducida por la diferencia en los caminos ópticos, así como la dependencia de esta potencia con respecto a la transmitancia del Beam Splitter. Los resultados obtenidos confirman que este tipo montajes pueden ser descritos mediante transformaciones unitarias siempre que se preserve el carácter conservativo del experimento.

Motivación

Existen múltiples aplicaciones de la óptica lineal, por ejemplo, en computación cuántica. Un ejemplo es el Boson Sampling, un problema de computación cuántica no universal propuesto por Scott Aaronson y Alex Arkhipov. En particular, se ha demostrado una ventaja del computador cuántico respecto al computador clásico para este fenómeno físico. Esto resalta las conexiones entre la interferometría pensada como transformaciones unitarias y las aplicaciones tanto experimentales como prácticas.

Marco Teórico

En física, los grupos son fundamentales para entender las transformaciones unitarias en sistemas cuánticos, como los asociados a los Beam Splitters. Un grupo (G, \circ) cumple axiomas como la cerradura bajo la operación binaria y la existencia de la identidad e inverso. Nos enfocamos en los grupos unitarios $U(N)$. Los elementos de $U(N)$ deben ser unitarios ($UU^\dagger = 1$) y tienen determinante $\neq 1$. Los elementos con determinante +1 forman el subgrupo $SU(N)$. Para elementos R del grupo $SU(2)$ es útil la parametrización en ángulos de Euler

$$R(\alpha, \beta, \gamma) = \begin{pmatrix} e^{i\frac{\alpha}{2}} & 0 \\ 0 & e^{-i\frac{\alpha}{2}} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \frac{\beta}{2} & -\sin \frac{\beta}{2} \\ \sin \frac{\beta}{2} & \cos \frac{\beta}{2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} e^{i\frac{\gamma}{2}} & 0 \\ 0 & e^{-i\frac{\gamma}{2}} \end{pmatrix}$$

Donde γ, α, β son los ángulos de Euler. En este trabajo, el parámetro β tiene interpretación de la transmitancia o reflectancia de un Beam Splitter donde tiene como relación explícita

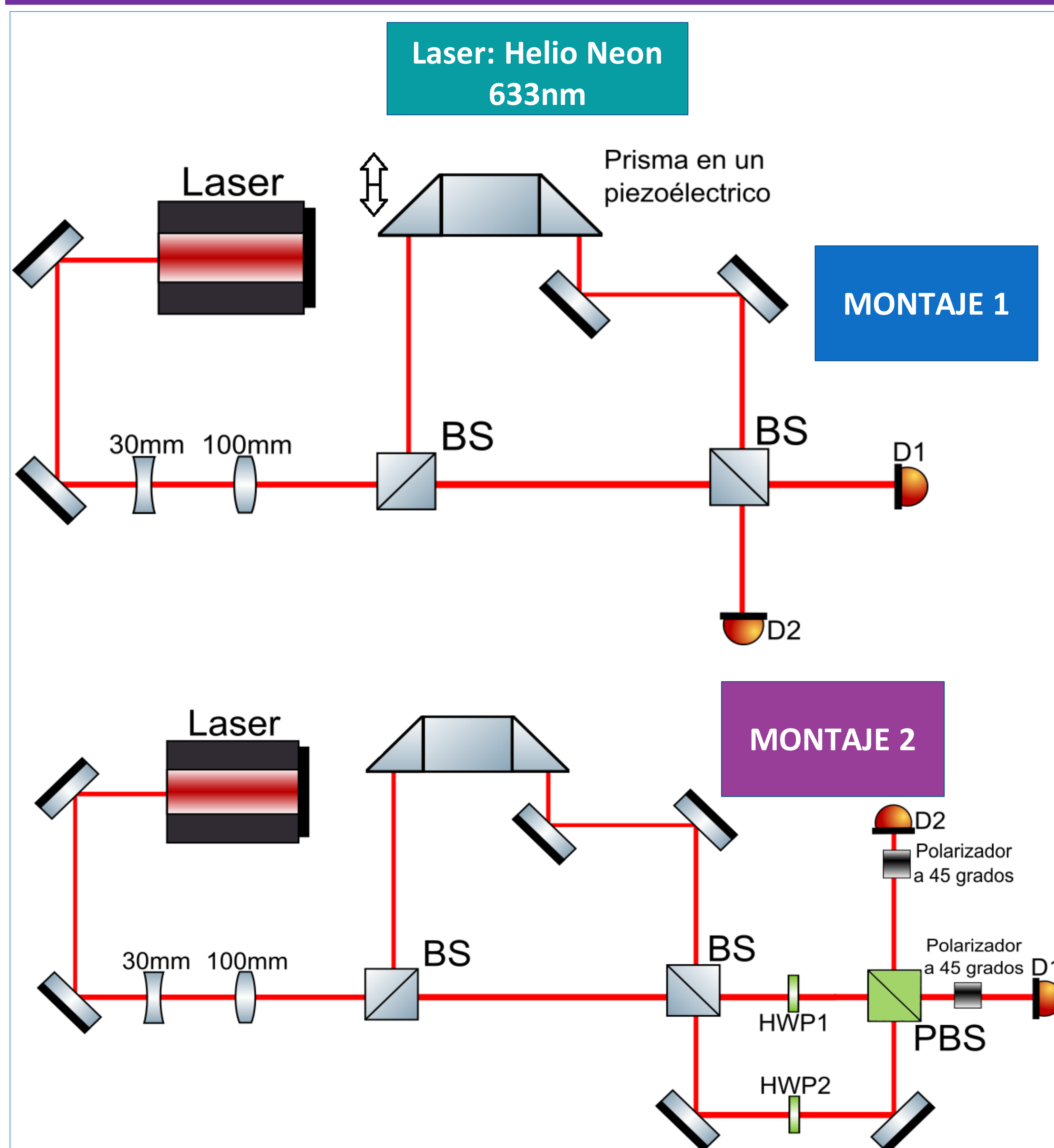
$$t = \sin \frac{\beta}{2} \quad r = \cos \frac{\beta}{2}$$

mientras que los parámetros α, γ se consideran fases entre los haces de luz. Dada esta parametrización, es posible obtener una relación explícita para la transformación de las intensidades que experimentan los haces de luz en el interferómetro

$$I_{D1} = \frac{I}{2}(1 - \cos \gamma \sin \beta) \quad I_{D2} = \frac{I}{2}(1 + \cos \gamma \sin \beta)$$

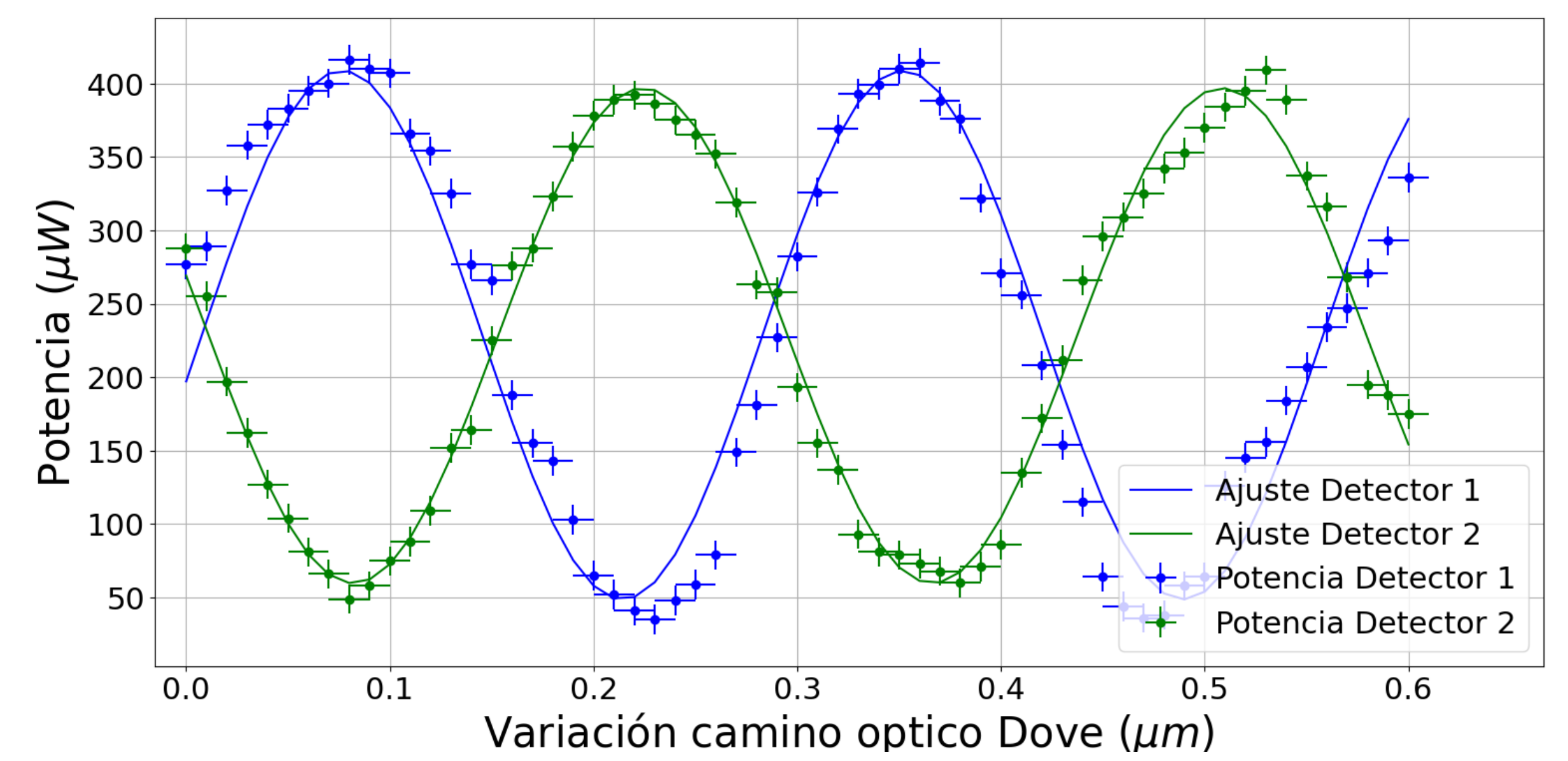
Donde I representa la intensidad inicial del láser.

Montaje Experimental



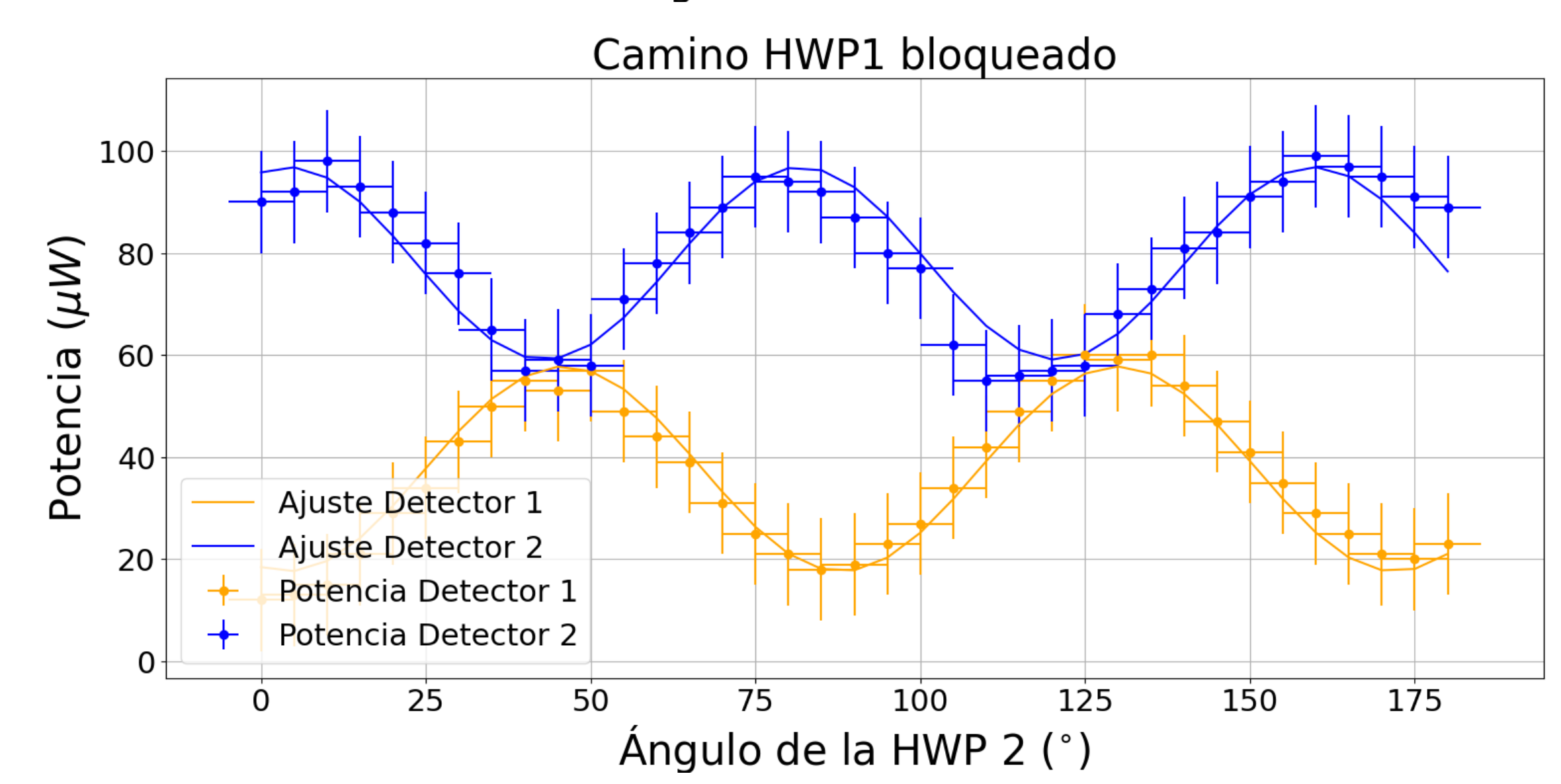
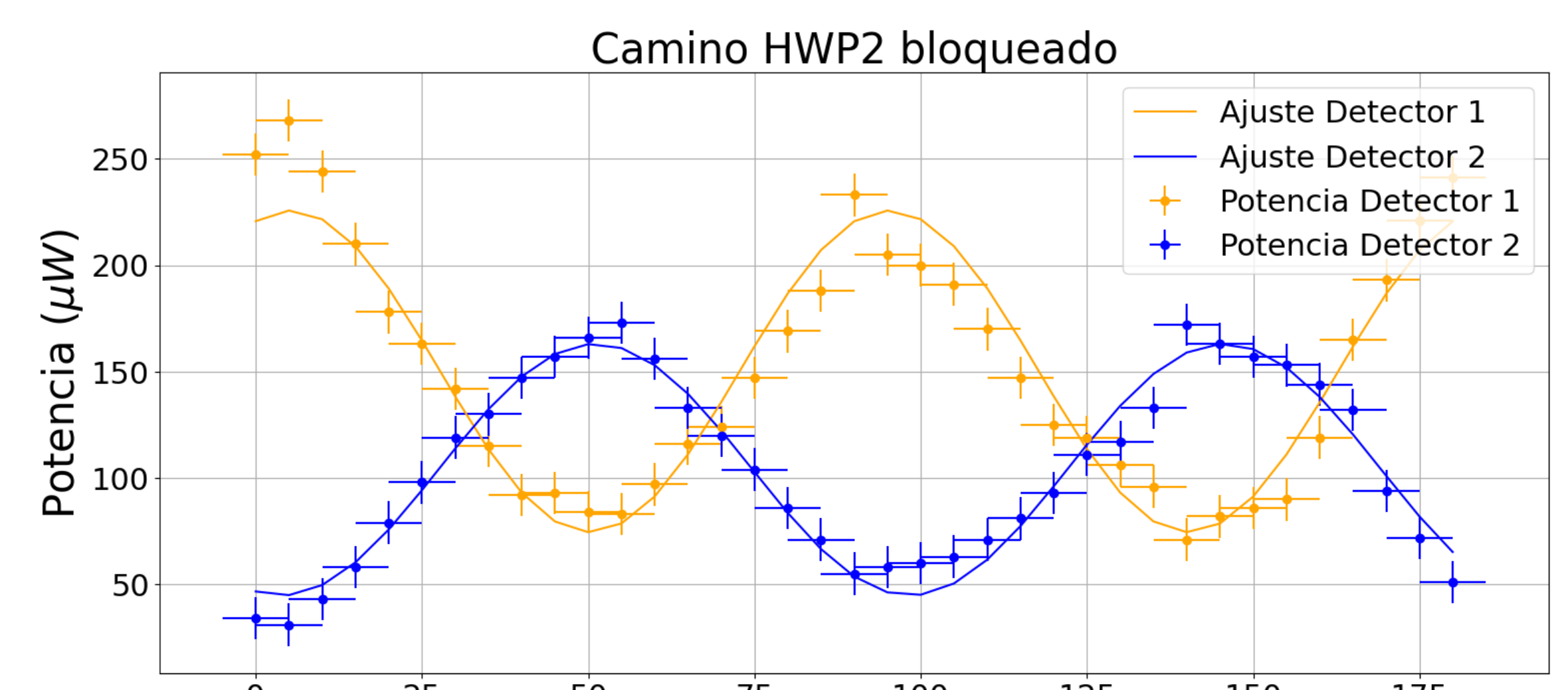
Resultados

RESULTADOS MONTAJE 1

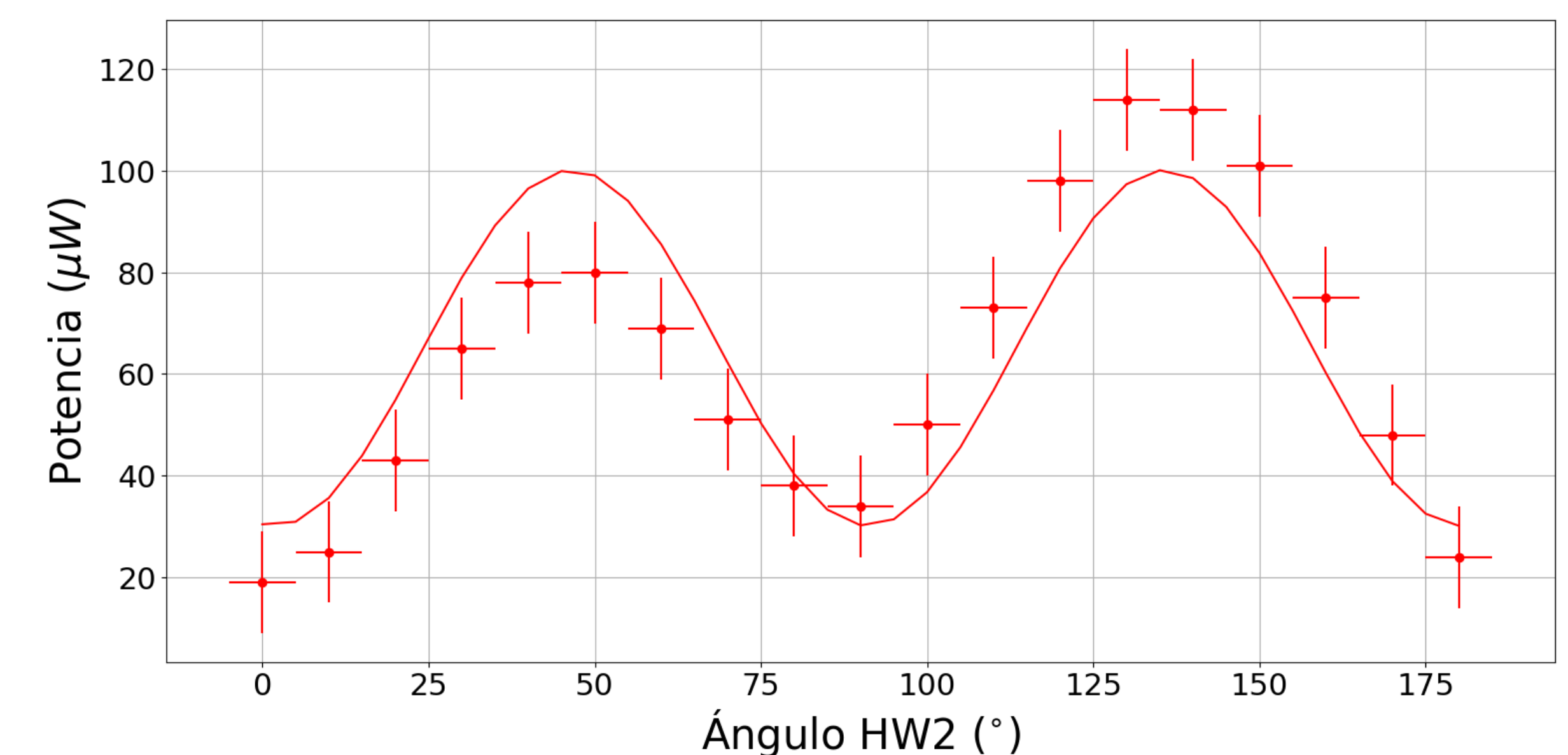


Potencia Inicial: $(457 \pm 5) \mu W$
Reflectancia segundo Beam Splitter: (0.5 ± 0.3)

RESULTADOS MONTAJE 2



Tomando un ángulo fijo en HWP1 de 32° y tomando datos en el detector 2



Se observan discrepancias entre el modelo teórico y los resultados experimentales, posiblemente debido a la polarización aleatoria del láser.

Conclusiones

- Se observó el comportamiento unitario de la transformación inducida por el montaje con respecto a γ .
- Se pudo además obtener una caracterización del parámetro de transmitancia del segundo BS.
- Se observó una discrepancia del modelo de transformación unitaria en la segunda parte del experimento. Posiblemente debido a que la polarización del Láser es aleatoria.

Referencias

- Richard A. Campos, Bahaa E. A. Saleh y Malvin C. Teich. Phys. Rev. A 40 págs. 1371-1384 (1989).
- Scott Aaronson y Alex Arkhipov. Theory of Computing 9 (2013), págs. 143-252.
- Hubert de Guise, Olivia Di Matteo y Luis L. Sánchez-Soto. Phys. Rev. A 97.2 (2018).