

Uso de una "Tunable Beam Displacer" para estudios de decoherencia



Andrés Felipe Herrera Fernández¹ e Iván Mauricio Burbano Aldana²

Departamento de Física, Universidad de los Andes, A.A. 4976-12340, Bogotá, Colombia

¹af.herrera14@uniandes.edu.co, ²im.burbano10@uniandes.edu.co

Resumen

La "Tunable Beam Displacer" (TBD) simula la decoherencia debida a la interacción de un sistema cuántico con su ambiente. Proponemos hacer uso de la tomografía cuántica para examinar la pureza de estados de polarización que hayan interactuado con la TBD.

1. Introducción

El desarrollo de tecnologías cuánticas requiere control sobre el fenómeno de decoherencia cuántica. La TBD es un aparato óptico que puede ser utilizado para simular este fenómeno[1]. Mediante la separación de una haz en sus componentes de polarización vertical y horizontal, esta logra enredar los grados de libertad de polarización y espaciales. En esta experimento queremos:

- Caracterizar el efecto causado por una "Tunable Beam displacer" a un estado de polarización puro de luz.
- 1. Comprender el funcionamiento de materiales ópticos tales como una lámina de media onda, cuarto de onda y el Polarization Beam Splitter (PBS).
- 2. Crear una curva de calibración para que permita relacionar el ángulo de la TBD a la separación que produce.
- 3. Usar la técnica de tomografía cuántica para determinar los estados de la luz y lograr diferenciar entre un estado puro y un estado mixto.

2. Marco Teórico

Debido a la interacción entre un sistema y su ambiente este puede perder su pureza. Esto se conoce como decoherencia.

Sistema	Sistema + Ambiente
$ \phi\rangle \in \mathfrak{H}$	$ \psi\rangle = \phi\rangle \otimes \xi\rangle \in \mathfrak{H} \otimes \mathcal{H}$
↓ evolución no unitaria	↓ evolución unitaria
$\rho = \text{tr}_{\mathcal{H}}(U \psi\rangle\langle\psi U^\dagger)$	$U \psi\rangle$

En nuestro caso:

- Polarización: $|\phi\rangle = \alpha|H\rangle + \beta|V\rangle \in \mathfrak{H} \subseteq \mathbb{C}^2$.
- Momento transversal: $|\xi\rangle = \int f(\mathbf{q})|\mathbf{q}\rangle \in \mathcal{H} = L^2(\mathbb{R}^2)$.
- Evolución (TBD):

$$\begin{aligned} U(d_c)|H, \mathbf{q}\rangle &= e^{id_c q_y}|H, \mathbf{q}\rangle, \\ U(d_c)|V, \mathbf{q}\rangle &= e^{-i(d_c q_y + \varphi)}|V, \mathbf{q}\rangle. \end{aligned} \quad (1)$$

Si $f(\mathbf{q}) \propto e^{-\frac{w_y^2(q_y - q_{0y})^2}{4}}$, se obtiene

$$\rho = \begin{bmatrix} |\alpha|^2 & \alpha\bar{\beta}e^{-\frac{2d_c^2}{w_y^2}} e^{i(2d_c q_{0y} + \varphi)} \\ \bar{\alpha}\beta e^{-\frac{2d_c^2}{w_y^2}} e^{-i(2d_c q_{0y} + \varphi)} & |\beta|^2 \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Estos parámetros se pueden obtener estudiando la intensidad

$$I(d_c) = \frac{I_0}{2} \left(1 + e^{-2d_c^2/w_y^2} \cos(2q_{0y}d_c + \varphi) \right). \quad (3)$$

Descomponiendo $\rho = \sum_{i=0}^3 S_i \sigma_i$ se puede representar el estado en la bola unitaria $S := (S_1, S_2, S_3) \in B_1(0) \subseteq \mathbb{R}^3$. La distancia del estado al origen determina su pureza [2]

$$\frac{1}{2} \leq P := \frac{1}{2} (1 + \|S\|^2) \leq 1. \quad (4)$$

3. Marco Experimental

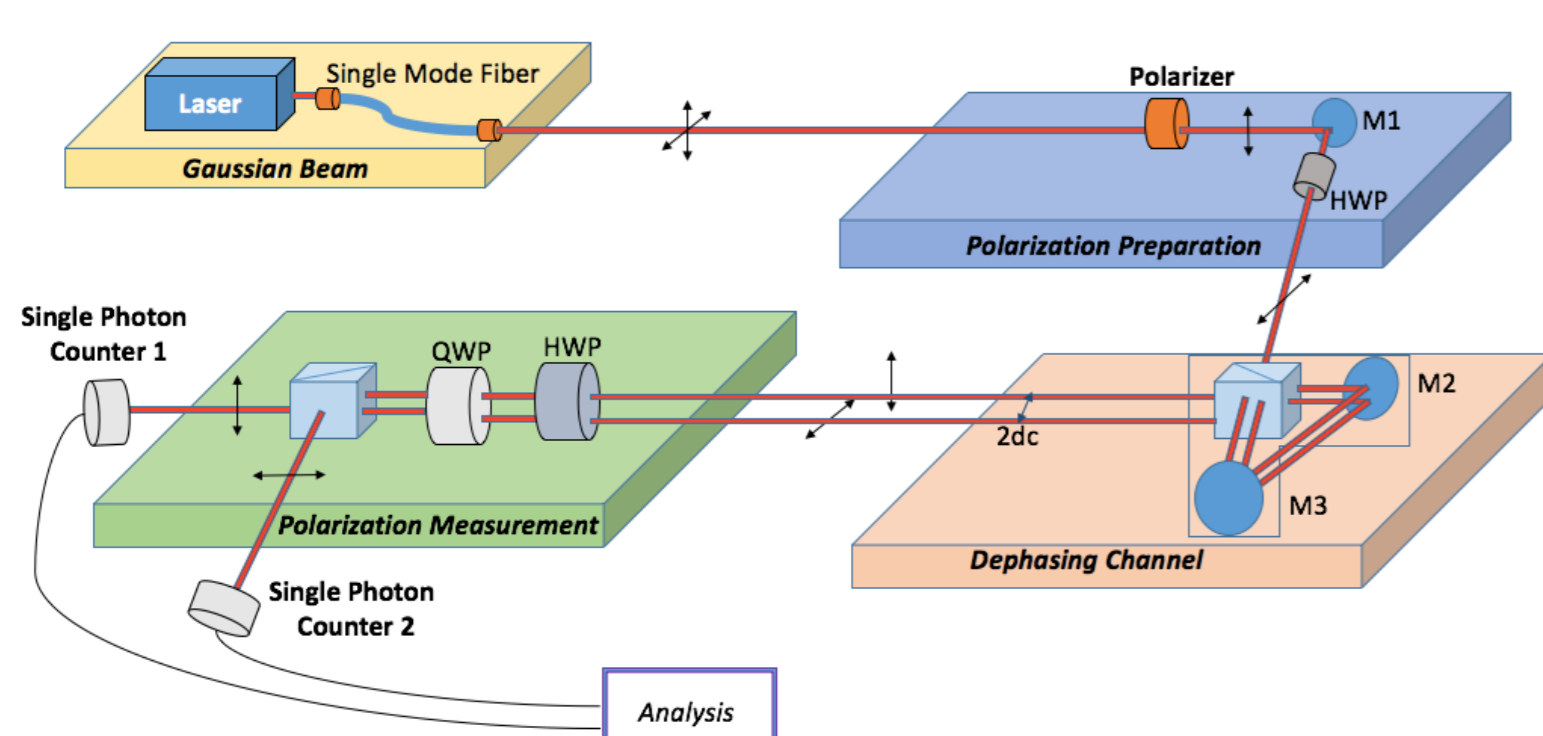


Figura 1: El montaje experimental consta de 4 etapas: preparación de un haz Gaussiano, preparación de un estado de polarización, un canal de desfase y una etapa de medición de polarización.

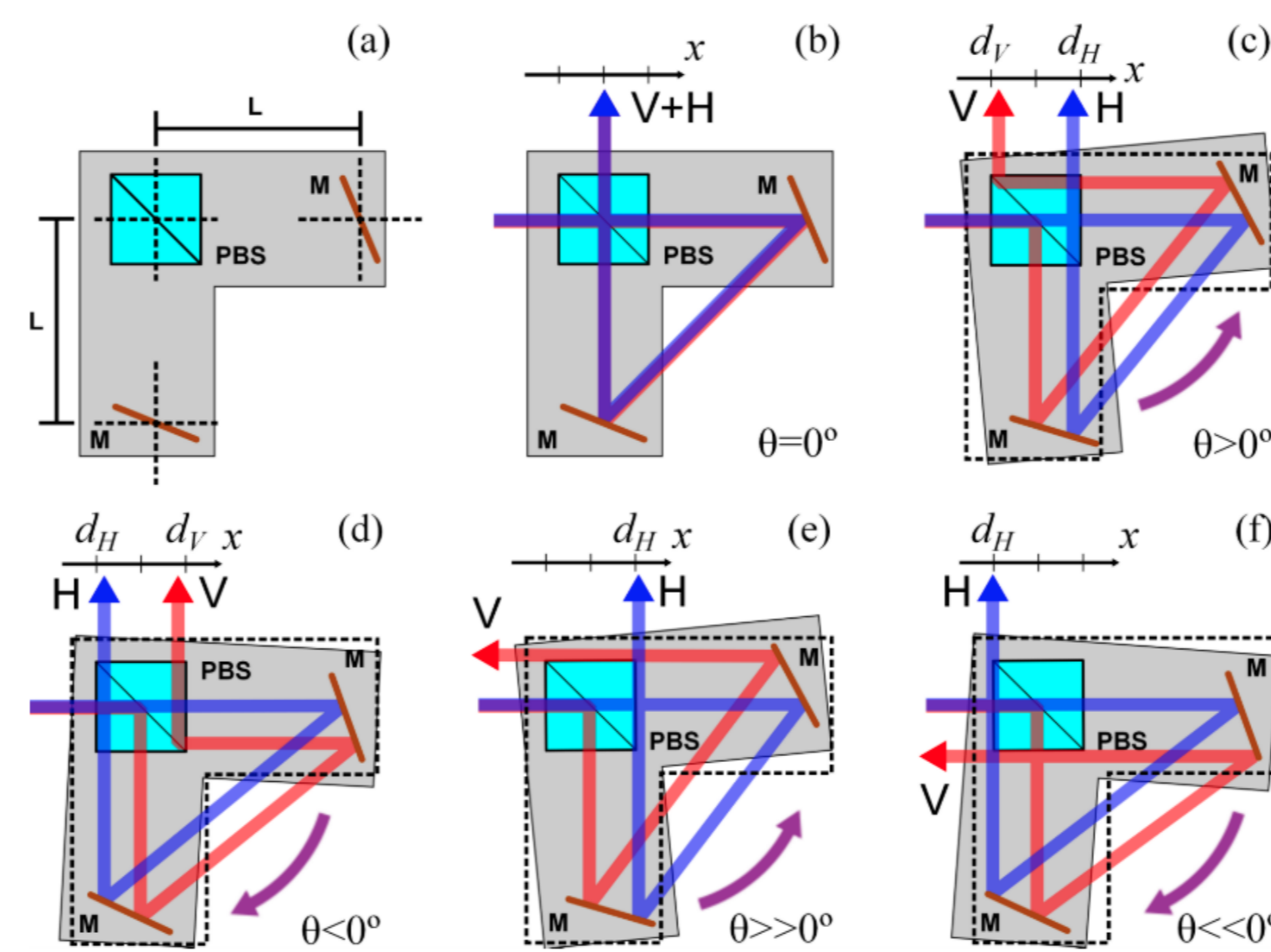


Figura 2: La TBD simula un ambiente con el cual interactúa el sistema cuántico.

4. Resultados

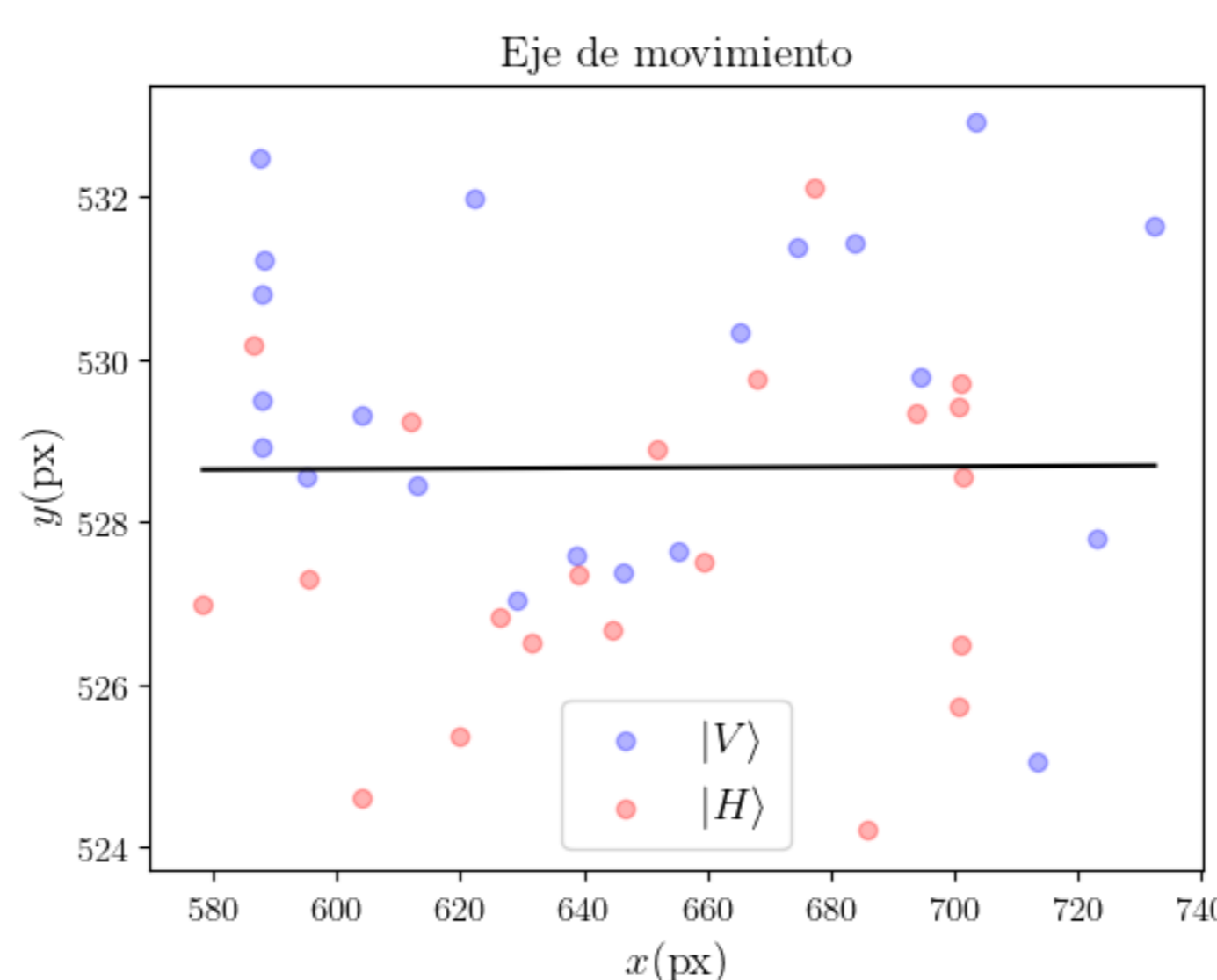


Figura 3: La distribución de centroides al barrer distintos ángulos.

El movimiento en el eje vertical parece ser completamente aleatorio. La línea sólida muestra la regresión lineal de estos datos. Esta es horizontal, garantizando que el movimiento también lo es. De lo contrario, esta regresión se puede utilizar para rotar los datos y corregir.

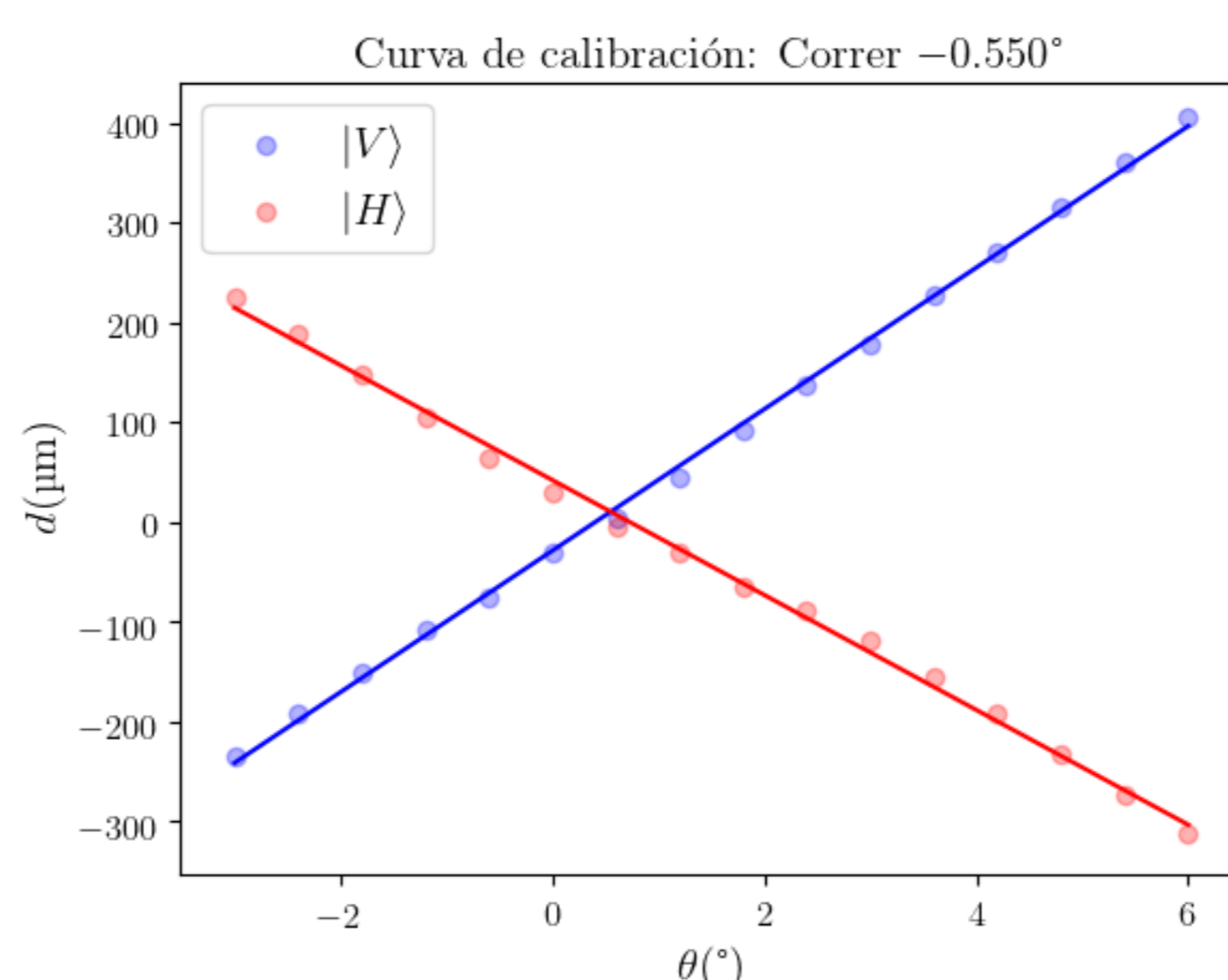


Figura 4: Calibración que permite hallar d_c en términos del ángulo de rotación de la TBD.

Midiendo la posición de los centroides en función del ángulo de rotación de la TBD se obtuvo

$$\begin{aligned} d_V &= 70.956(9) \mu\text{m}/^\circ\theta - 28(2) \mu\text{m}, \\ d_H &= -57.61(1) \mu\text{m}/^\circ\theta + 42(2) \mu\text{m}. \end{aligned} \quad (5)$$

- Las componentes de distinta polarización no responden de la misma manera a la TBD.
- La existencia de interceptos en verticales muestra que no se caracterizó el ángulo θ de manera correcta. La regresión permite corregir esto en los datos.

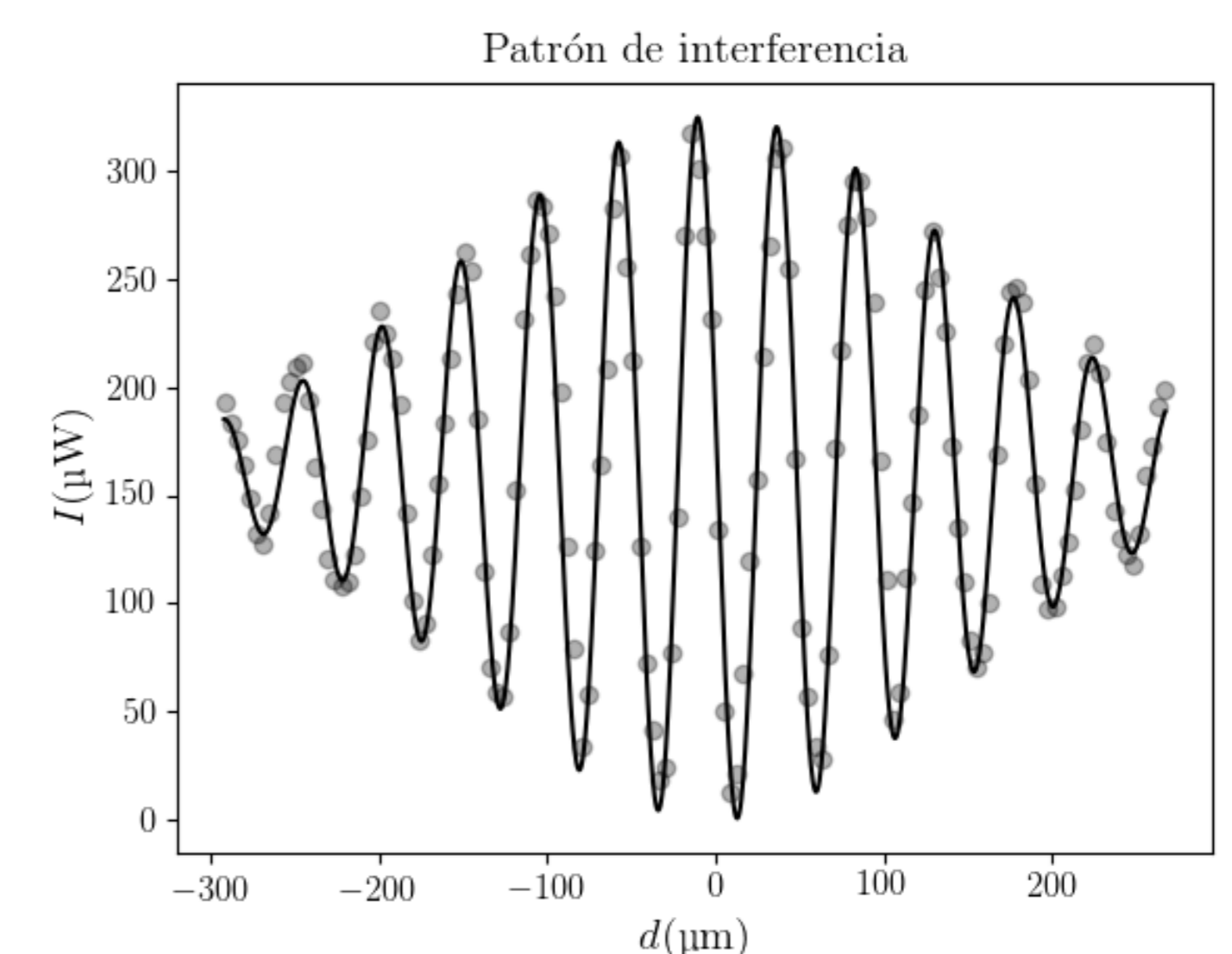


Figura 5: El patrón de interferencia correspondiente a (3). Este nos permite hallar los parámetros del haz.

El ajuste se realizó con $I_0 = 325(3) \mu\text{W}$, $w_y = 294(8) \mu\text{m}$, $q_{0y} = 0.0668(1) \mu\text{m}^{-1}$ y $\varphi = 1.4(6)$ rad con respecto a la ecuación (3). Haciendo uso de estos se puede simular el operador densidad (2). Esta simulación provee las siguientes gráficas.

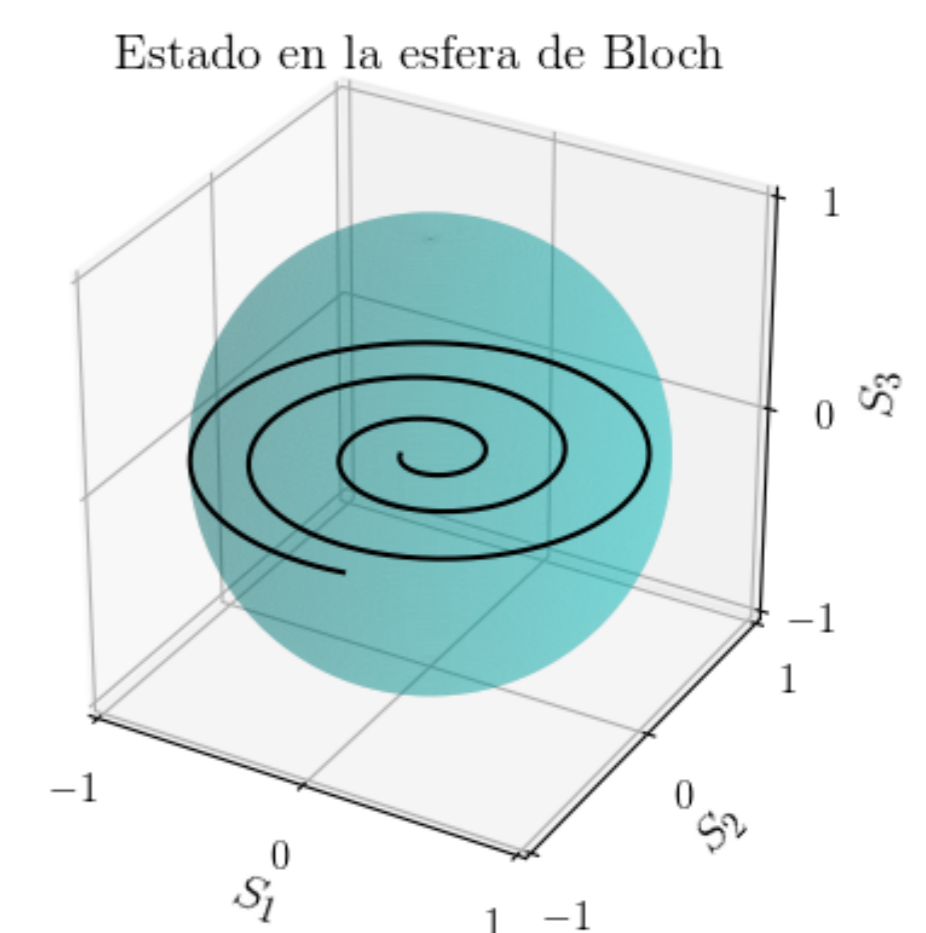


Figura 6: Simulación de la evolución del estado bajo la acción de la TBD (1).

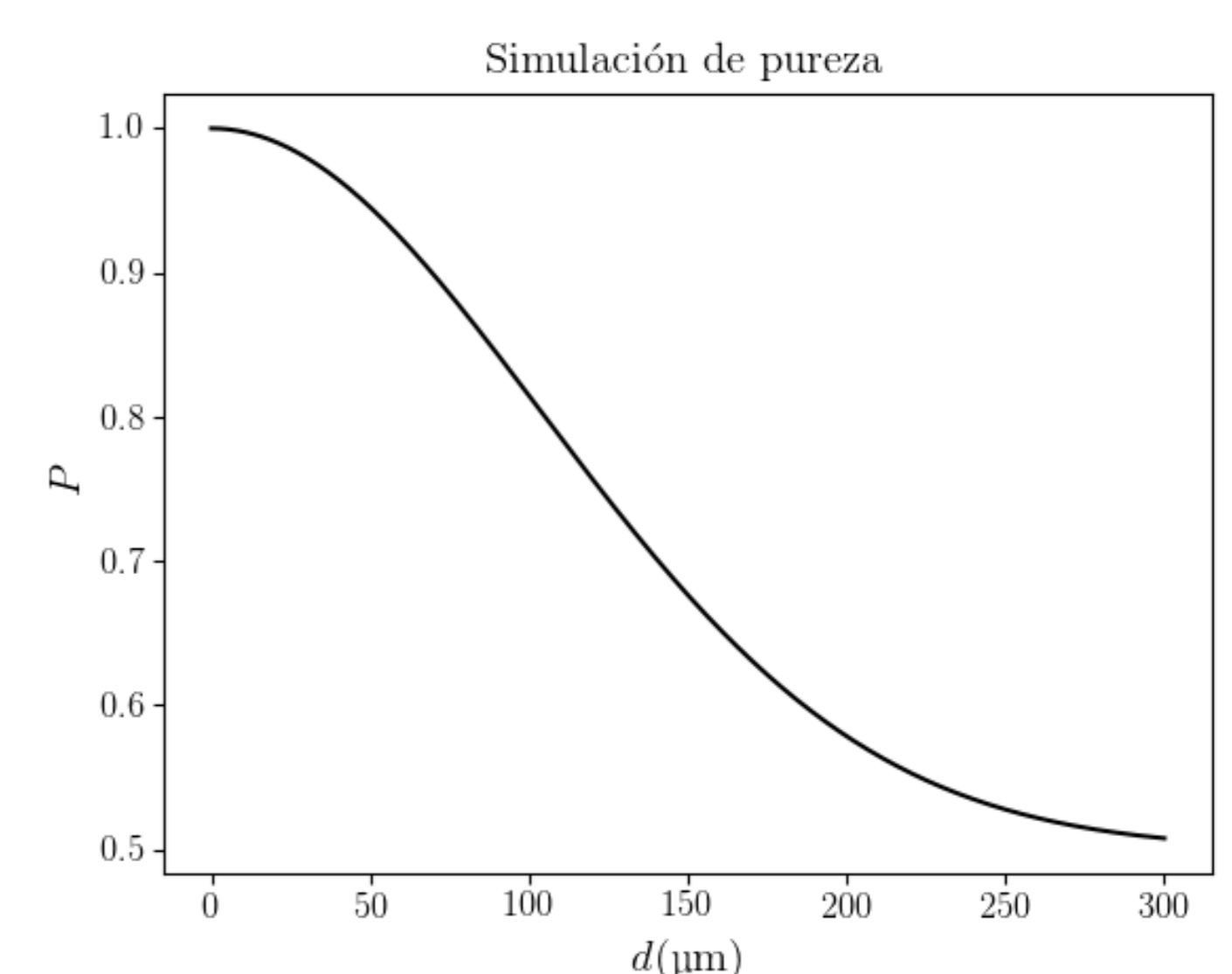


Figura 7: Simulación del cambio en la pureza (4) de nuestro estado debido a la acción de la TBD.

5. Conclusiones

- En general, se comprendió el funcionamiento de dispositivos ópticos lineales básicos.
- Se realizó la calibración requerida para determinar el d_c en términos del ángulo de rotación de la TBD.
- Se llevó a cabo una simulación de la pureza en función del d_c . Igualmente, se realizó una simulación de la evolución para un estado puro bajo la acción de la TBD.

Referencias

- [1] D. F. Urrego, J.-R. Álvarez, O. Calderón-Losada, J. Svozilík, M. Nuñez, and A. Valencia, "Implementation and characterization of a controllable dephasing channel based on coupling polarization and spatial degrees of freedom of light," *Optics Express*, vol. 26, no. 9, pp. 525–528, 2017.
- [2] G. Jaeger, *Quantum Information: An Overview*. Springer, 2007.