



Caracterización Experimental de Qubits en el Computador Gemini SpinQ

Miguelangel García Castillo, Michael Caracas, Jose Mejía; Asesor: Alejandra Valencia Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia - 6 de Mayo del 2025 - Email: m.garcia23d@uniandes.edu.co

1. Introducción

En este proyecto, se estudian diversos fenómenos físicos para entender y controlar el comportamiento de un qubit en el computador cuántico Gemini SpinQ. Este dispositivo opera mediante resonancia magnética nuclear (RMN). La muestra utilizada es $(CH_3O)_2POH$, cuyos núcleos de hidrógeno-1 (1H) y fósforo-31 (^{31}P) poseen espín nuclear 1/2 debido a la configuración impar-par de sus protones y neutrones. Cuando se somete la muestra a un campo magnético externo homogéneo $B_0 = 6.5$ T en la dirección z , los espines tienden a alinearse paralelamente ($|0\rangle$) o antiparalelamente ($|1\rangle$) con el campo, definiendo así el qubit de dos niveles.[1, 2] El Hamiltoniano del sistema viene dado por:

$$H = -\boldsymbol{\mu} \cdot \mathbf{B}_0 \quad \text{con} \quad \boldsymbol{\mu} = \gamma \mathbf{S},$$

y sus valores propios en S_z generan las energías

$$E_{0,1} = \mp \frac{\hbar\gamma B_0}{2},$$

de donde la transición de $|0\rangle$ a $|1\rangle$ requiere energía $\Delta E = \hbar\gamma B_0$. [3]

2. Montaje

El experimento se realiza en el computador cuántico Gemini SpinQ con el siguiente montaje:

- **Módulo de homogeneidad del campo:** ajusta la uniformidad de B_0 .
- **Módulo de RF:** genera los pulsos de radiofrecuencia B_1 .
- **DAC/ADC & FPGA:** control digital de amplitud, fase y tiempo de los pulsos.
- **Imán permanente:** produce $B_0 = 6.5$ T.
- **Muestra:** $(CH_3O)_2POH$ dentro de la bobina de detección.

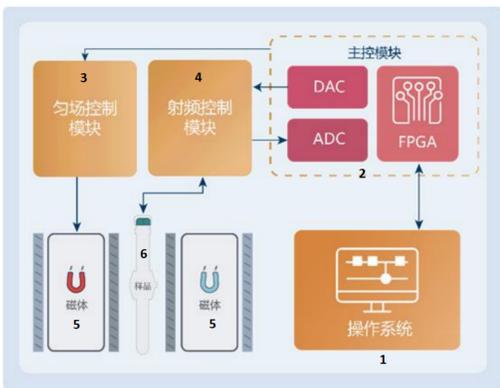


Figura 1. Diagrama esquemático del sistema Gemini SpinQ y sus módulos principales. [4]

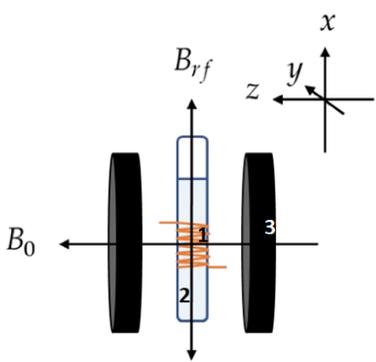


Figura 2. Diagrama del montaje con campo oscilante. [4]

7. Referencias

References

- [1] Dr. John Emsley. Nuclear magnetic resonance (nmr). *Sheffield Hallam University*, 2023.
- [2] LibreTexts. Theory of nuclear magnetic resonance. *LibreTexts*, 2023.
- [3] J. A. Jones. Nmr quantum computation. *Progress in Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy*, 38(4):325–360, 2001.
- [4] Gemini Lab. Experiment on the principles of quantum computing, 2024. Recuperado de <https://www.spinquanta.com/solutions/educationIndex>.

3. Frecuencia de Larmor

Cuando un espín nuclear se coloca en un campo magnético B_0 , el momento magnético neto precesa en torno a la dirección del campo, alineada con el eje z , que corresponde a su estado base.

$$\omega_0 = \gamma B_0,$$

llamada frecuencia de Larmor. Para nuestro sistema:

- Hidrógeno-1 (1H): $\omega_0/2\pi \approx 28.10$ MHz.
- Fósforo-31 (^{31}P): $\omega_0/2\pi \approx 11.37$ MHz.

La descomposición en componentes transversales evoluciona como

$$M_x(t) = M_{xy}(0) \cos(2\pi\omega_0 t + \phi) e^{-t/T_2}, \quad M_y(t) = M_{xy}(0) \sin(2\pi\omega_0 t + \phi) e^{-t/T_2},$$

y su Transformada de Fourier revela curvas de Lorentziana dispersiva y absorbente.

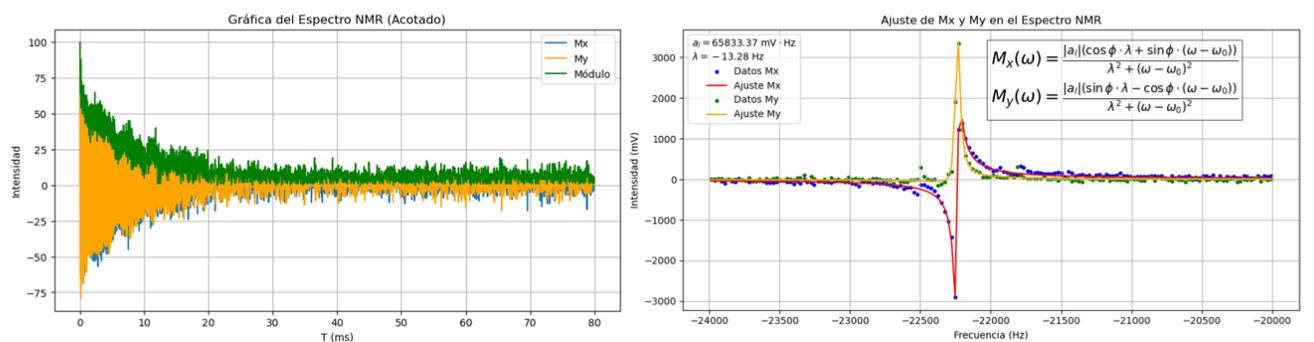


Figura 3. Mediciones de la frecuencia de Larmor. Señales transversales $M_x(t)$ y $M_y(t)$ en el dominio del tiempo y su transformada de Fourier, con ajuste Lorentziano para las componentes dispersiva y absorbente.

4. Oscilaciones de Rabi

Al aplicar un campo de radiofrecuencia B_1 resonante en el eje x durante t_R , el espín experimenta rotaciones de ángulo

$$\theta = 2\pi\omega_1 t_R, \quad \omega_1 = \frac{\gamma B_1}{2\pi}.$$

Las componentes del momento magnético son

$$M_x(t_R) = M \sin(\theta), \quad M_y(t_R) = 0 \quad (\text{con desfase } \phi_{RF} = \frac{\pi}{2}).$$

Midiendo la señal de RMN en función de t_R , observamos oscilaciones de Rabi. En nuestro experimento, el periodo completo de Rabi es $\approx 160 \mu s$.

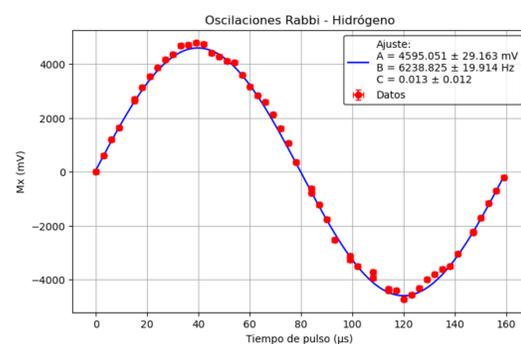


Figura 4. Oscilaciones de Rabi en el sistema Gemini SpinQ. Señal de RMN en función del tiempo de pulso t_R , mostrando oscilaciones de Rabi con un periodo aproximado de $160 \mu s$ principales.

5. Conclusiones

- Debido a la frecuencia de Larmor, podemos estimar el momento magnético neto en función del tiempo de aplicación del campo de radiofrecuencia.
- Conocer la frecuencia de Larmor es fundamental para ajustar con precisión los pulsos de control resonantes en el sistema.
- Determinar la duración de las oscilaciones de Rabi permite implementar compuertas lógicas con fidelidad, al sincronizar los pulsos según el tipo de operación deseada.