

# Batería con qubits virtuales

Franco Mayo

12 de abril de 2021

El proceso de carga disipativo que estudiamos, en su versión más básica, consiste de un entorno de qubits en estado térmico que se acoplan secuencialmente a la batería (qubit) con una interacción que no conserva la energía. Como la interacción no conserva la energía se realiza un trabajo externo que es lo que carga la batería.

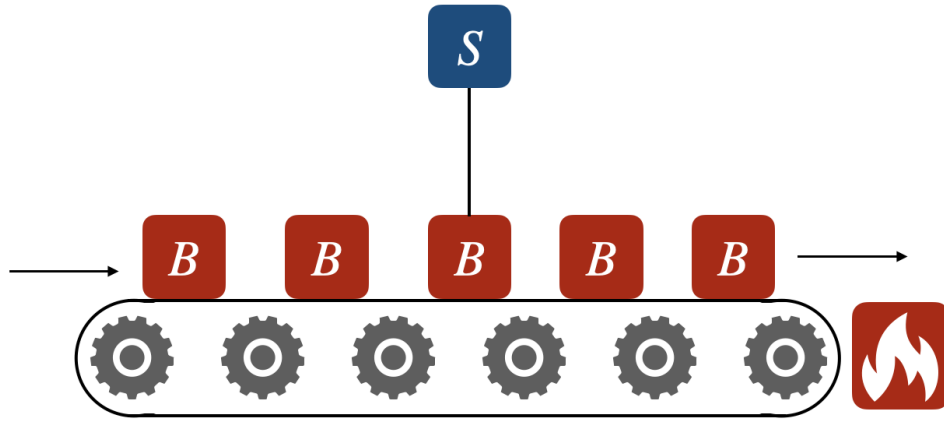


Figura 1: Proceso de interacciones repetidas

Podemos estudiar un proceso “equivalente” donde los subsistemas del entorno se encuentran en estado térmico a temperatura negativa y la interacción entre el sistema y el entorno conserva la energía

$$V = \epsilon (\sigma^+ \sigma^- + \sigma^- \sigma^+) \quad (1)$$

Esta interacción conserva la energía y satisface la relación de balance detallado. Por lo tanto, este es un proceso de termalización, pero con temperatura negativa, ya que los subsistemas del entorno se encuentran en estados térmicos con temperatura negativa. Por lo tanto la batería tiene el mismo estado estacionario que en el proceso de carga disipativo ya estudiado. En este caso, no se realiza trabajo externo, solamente se transfiere calor del reservorio térmico al sistema (utilizando las definiciones de calor y trabajo del modelo de interacciones repetidas).

Para que tenga sentido pensar en un reservorio térmico a temperatura negativa introducimos el concepto de *qubits virtuales* [1]. Vamos a suponer que además de la batería tenemos dos reservorios térmicos a distintas temperaturas como se ve en la Figura 2(a). Podemos considerar que tenemos un qubit virtual formado por los dos niveles intermedios del sistema de cuatro niveles que forman los dos reservorios, como se muestra en la Figura 2(b). Eligiendo adecuadamente los *gaps* de los dos reservorios  $E_h$  y  $E_c$  podemos obtener un qubit virtual que tenga el mismo *gap* que la batería  $E_v = E_S$ , teniendo en cuenta que  $E_v = E_h - E_c$ .

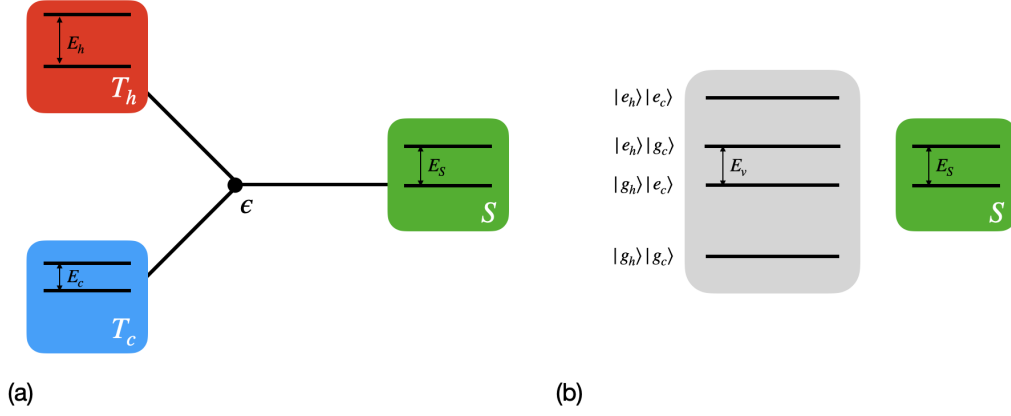


Figura 2: (a) Sistema autónomo para carga de baterías con dos reservorios térmicos. (b) Se muestra cómo eligiendo los dos niveles intermedios del sistema de cuatro niveles formado por el conjunto de los dos reservorios térmicos se puede obtener un qubit virtual que tenga el mismo *gap* que la batería.

Una vez que tenemos el qubit virtual con el *gap* deseado, eligiendo las temperaturas de los reservorios podemos definir la *temperatura virtual* que describe las poblaciones del qubit virtual. La temperatura del qubit virtual se obtiene como [1]

$$T_v = \frac{E_h - E_c}{\frac{E_h}{T_h} - \frac{E_c}{T_c}}, \quad (2)$$

por lo tanto, se puede lograr que el qubit virtual tenga una temperatura negativa (inversión de población) siempre y cuando  $\beta_h E_h \leq \beta_c E_c$ . En [1] muestran que tener un qubit virtual con inversión de población es equivalente a operar un motor.

Creo que con esto, si no me equivoco, podemos mostrar que el proceso disipativo de carga de baterías es equivalente a una máquina térmica. Quizas entonces podamos trasladar las ventajas encontradas con la generación de correlaciones a motores, quizas cambiando la batería por un sistema tipo escalera como hacen en [2].

## Referencias

- [1] Nicolas Brunner, Noah Linden, Sandu Popescu, and Paul Skrzypczyk. Virtual qubits, virtual temperatures, and the foundations of thermodynamics. *Physical Review E*, 85(5):051117, 2012.
- [2] Antoine Rignon-Bret, Giacomo Guarnieri, John Goold, and Mark T Mitchison. Thermodynamics of precision in quantum nanomachines. *Physical Review E*, 103(1):012133, 2021.