

Resultados

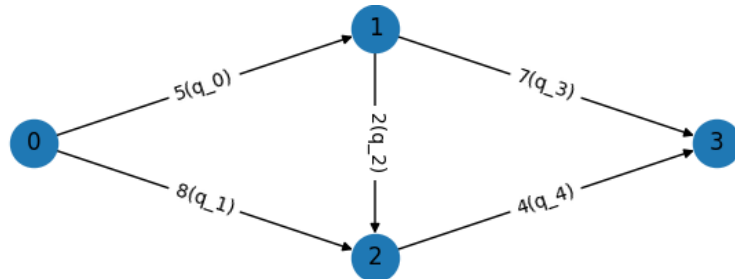
Contents

1	Notación	1
2	Primer grafo	2
2.1	Aer - Versión del paper (primer_grafo/aer-qaoa.ipynb)	3
2.1.1	Caso correcto	4
2.1.2	Caso erróneo	5
2.1.3	Caso subóptimo	6
2.1.4	Utilizando el parámetro theta obtenido en el artículo . .	7
2.2	Aer simulator con restricción extra (primer_grafo/con_restricc/aer-qaoa.ipynb)	8
2.2.1	Caso correcto	9
2.2.2	Caso "correcto" con ruido	10
2.3	Provider	11

1 Notación

fun = Mínimo local hallado de la función *execute_circuit* con el optimizador
p = Número de capas (a mayor número el circuito es más profundo)
theta = Lista de parámetros $[\beta_1, \dots, \beta_p, \gamma_1, \dots, \gamma_p]$ del circuito cuántico
num iterations = Número de iteraciones del compilador necesarias para hallar el mínimo
seed_simulator = Semilla utilizada en la ejecución del circuito para fijar la aleatoriedad en *backend.run()*
X_{ij} = Se refiere a la arista **i** -> **j**. 1 Si dicha arista es parte del camino resultante, 0 en otro caso
q_n = Qubit enésimo
 $q_4q_3q_2q_1q_0 = X_{23}X_{13}X_{12}X_{02}X_{01}$

2 Primer grafo



2.1 Aer - Versión del paper (primer_grafo/aer-qaoa.ipynb)

Pruebas realizadas sobre la versión del código sin la restricción

$$\mathbf{X}_{13} + \mathbf{X}_{23} = 1$$

Versión equivalente a la de [Multi-Objective Routing Optimization for 6G Communication Networks Using a Quantum Approximate Optimization Algorithm-sensors-22-07570-v2]

- **Estadísticas:**

Realizando la ejecución 1000 veces se han obtenido como caminos resultantes los siguientes:

Qubits	Camino	Frecuencia (1000)
10101	$X_{01}X_{12}X_{23}$	917
10110	$X_{02}X_{12}X_{23}$	82
01001	$X_{01}X_{13}$	1

2.1.1 Caso correcto

fun	theta	num iterations	seed_simulator
29.63	[0.7739, 0.9302]	29	10

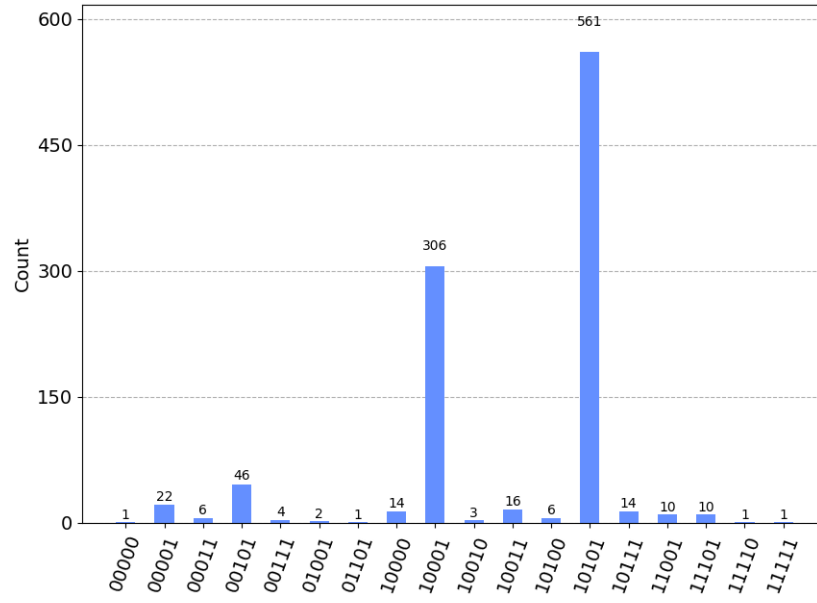


Figure 1: seed_simulator=10

Mejor resultado: 10101 ($q_4q_3q_2q_1q_0 = X_{23}X_{13}X_{12}X_{02}X_{01}$)
Camino: $X_{01}X_{12}X_{23}$ (Camino óptimo)

2.1.2 Caso err3neo

fun	theta	num iterations	seed_simulator
52.79	[0.6320 0.7177]	35	21

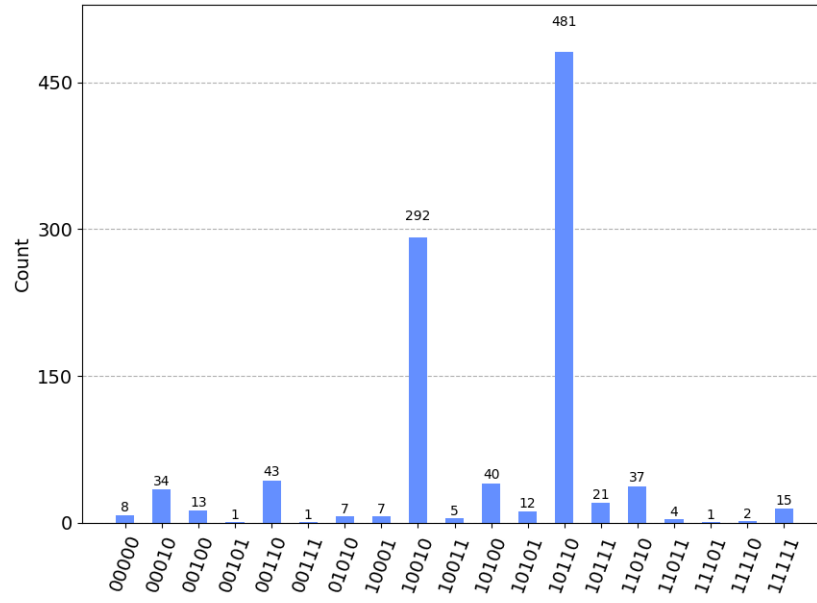


Figure 2: seed_simulator=21

Mejor resultado: 10110 ($q_4q_3q_2q_1q_0 = X_{23}X_{13}X_{12}X_{02}X_{01}$)

Camino: $X_{02}X_{12}X_{23}$ (Camino incorrecto. Rompe 2 restricciones)

Restricciones rotas:

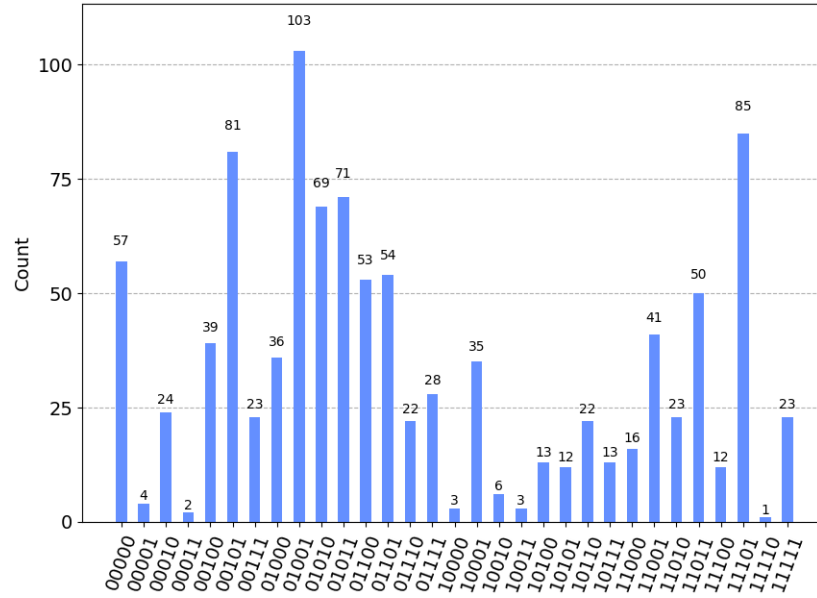
$$X_{02} + X_{12} = X_{23}$$

$$X_{01} = X_{12} + X_{13}$$

2.1.3 Caso subóptimo

Obtenido a mano (no se ha encontrado ninguna semilla que diese este resultado)

fun	theta
67.33	[-0.4811, 1.566]

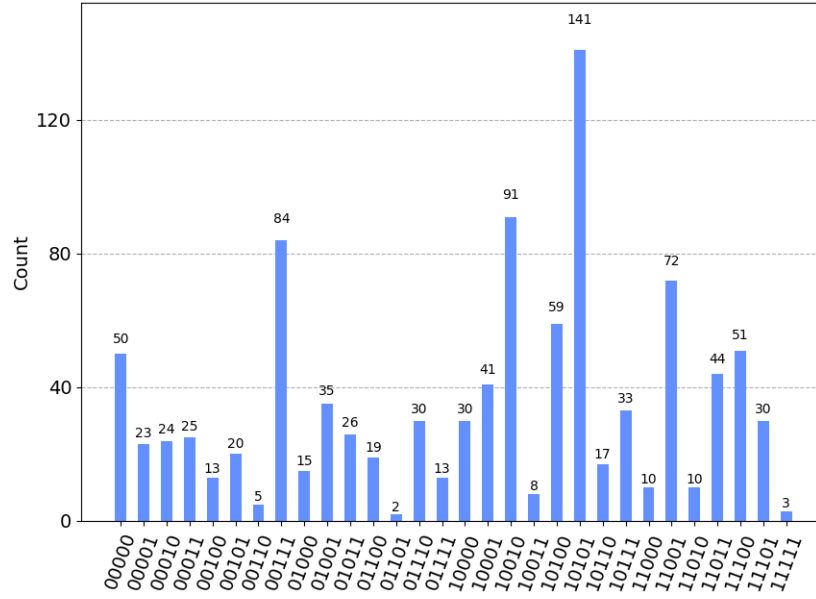


Mejor resultado: 01001 ($q_4q_3q_2q_1q_0 = X_{23}X_{13}X_{12}X_{02}X_{01}$)

Camino: $X_{01}X_{13}$ (Camino subóptimo, pero no se rompe ninguna restricción)

2.1.4 Utilizando el parámetro theta obtenido en el artículo

fun	theta
65.40	[0.28517317, -5.05969577]



Mejor resultado: 10101 ($q_4q_3q_2q_1q_0 = X_{23}X_{13}X_{12}X_{02}X_{01}$)

Camino: $X_{01}X_{12}X_{23}$ (Camino óptimo)

La gráfica resultante es muy similar a la versión que se intenta replicar. **fun** tiene resultados muy altos, entre 65 y 70 (en comparación con la versión del código con la restricción extra).

2.2 Aer simulator con restricción extra (primer_grafo/con_restricc/aer-qaoa.ipynb)

Con respecto a la función de coste del paper se añade la restricción

$$\mathbf{X}_{13} + \mathbf{X}_{23} = 1$$

Esto sería, que el camino solo llegue al nodo final **3** por una de las aristas X_{i3} existentes.

- **Estadísticas:**

Realizando la ejecución 1000 veces se han obtenido como caminos resultantes los siguientes:

Qubits	Camino	Frecuencia (1000)
10101	$X_{01}X_{12}X_{23}$	938
11000	$X_{13}X_{23}$	37
10001	$X_{01}X_{23}$	9
00011	$X_{01}X_{02}$	11
00100	X_{12}	3
00010	X_{02}	1
11111	$X_{01}X_{02}X_{12}X_{13}X_{23}$	1

2.2.1 Caso correcto

fun	theta	num iterations	seed_simulator
42.29	[0.5081, 0.9401]	33	3

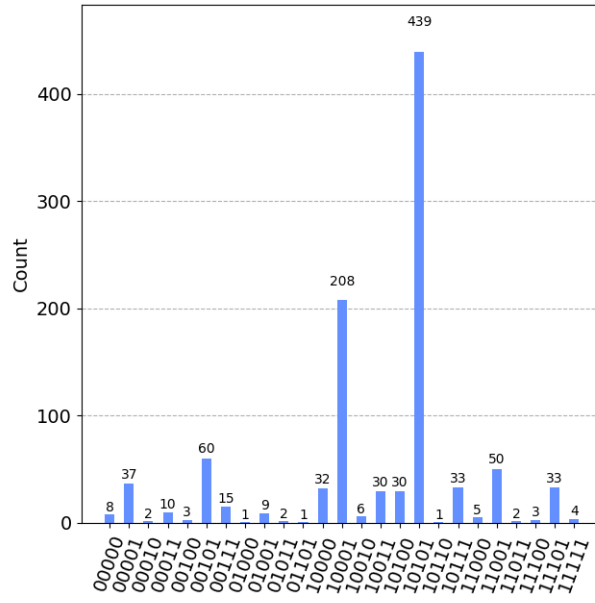


Figure 3: seed_simulator=3

Mejor resultado: 10101 ($q_4q_3q_2q_1q_0 = X_{23}X_{13}X_{12}X_{02}X_{01}$)
Camino: $X_{01}X_{12}X_{23}$ (Camino óptimo)

2.2.2 Caso "correcto" con ruido

fun	theta	num iterations	seed_simulator
90.75	[0.9962, 1.995]	27	2

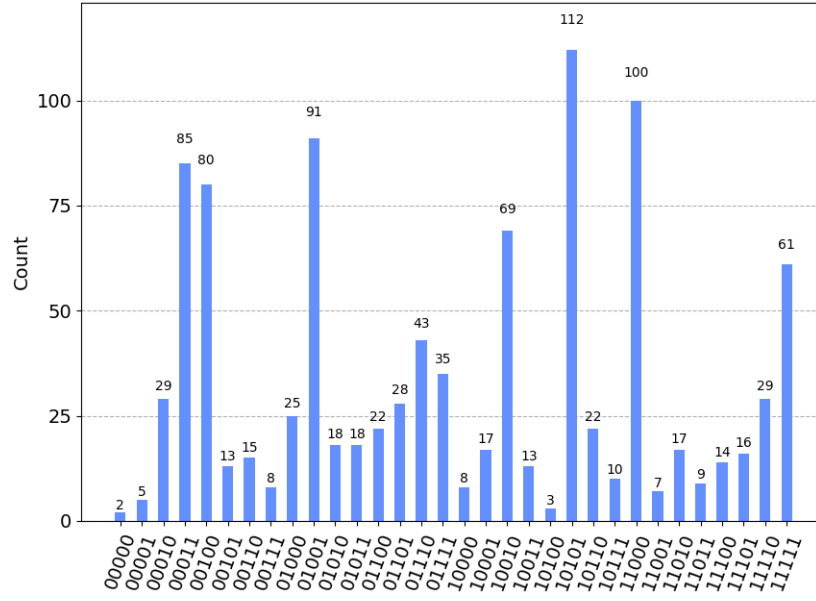


Figure 4: seed_simulator=2

Mejor resultado: 10101 ($q_4q_3q_2q_1q_0 = X_{23}X_{13}X_{12}X_{02}X_{01}$)

Camino: $X_{01}X_{12}X_{23}$ (Camino óptimo)

Aunque se obtenga el resultado óptimo (10101) existen otros resultados demasiado altos, e incluso ejecutando el circuito con el mismo **theta** se dan valores distintos. Podría afectar a los resultados de las estadísticas.

Además se ve que encuentra un valor **fun** demasiado alto (90.75)

2.3 Provider

- ibmq_lima

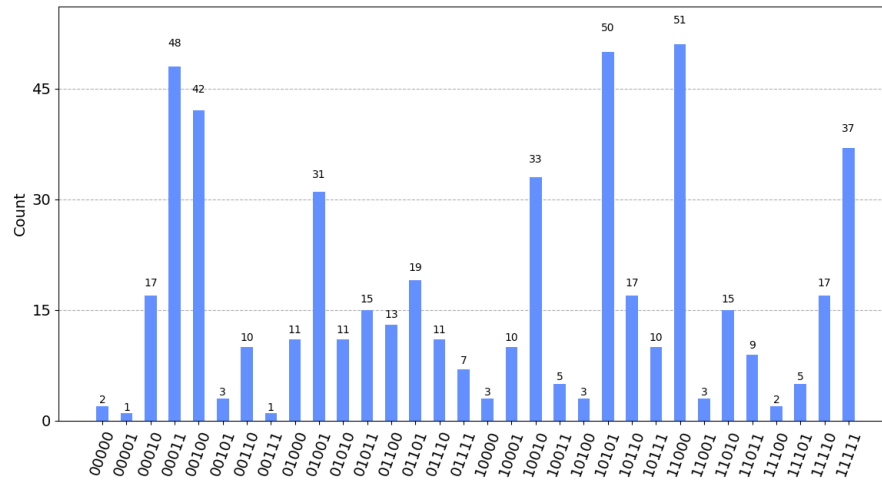


Figure 5: num iterations=2

Solo para comprobar que funciona la ejecución.