QMexico Summer School

QBronze 1.2

Sistemas cuánticos básicos

Basics of Quantum Systems

30 Mayo 2026

Material final para estudiantes · Notación matemática en LaTeX

Ruta completa de la sesión

Slide 2

La sesión organiza los conceptos en una secuencia matemática progresiva. Cada bloque introduce una definición, fija la convención de notación y resuelve ejercicios con pasos explícitos.
La convención común de las cinco presentaciones es usar vectores columna, producto tensorial de izquierda a derecha y amplitudes reales salvo que se indique lo contrario.

MAPA

1. Qubits reales
2. Regla de Born
3. Estados válidos
4. Hadamard
5. Medición y conteos
6. Qiskit básico

Concepto · Qubit real

Slide 3

Un qubit real se escribe como combinación lineal de dos estados base. Sus coeficientes son amplitudes, no probabilidades directas.

NOTACIÓN

$$|\psi\rangle = \alpha\,|0\rangle + \beta\,|1\rangle\,, \qquad \alpha, \beta \in \mathbb{R}$$

QM Q

Método · Qubit real

Slide 4

Identifica amplitudes por la posición del ket.

PASOS

1. Coeficiente de $|0\rangle$: α.
2. Coeficiente de $|1\rangle$: β.
3. No sumes amplitudes como probabilidades.

Ejercicio resuelto · Qubit real

Slide 5

Para $|\psi\rangle = 0.43\,|0\rangle - 0.90\,|1\rangle$, identifica amplitudes.

SOLUCIÓN

$$\alpha = 0.43, \qquad \beta = -0.90.$$

La amplitud de $|1\rangle$ es -0.90.

Concepto · Base computacional

Slide 6

La base computacional de un qubit es $\{|0\rangle, |1\rangle\}$. En vectores columna, cada ket corresponde a un vector base.

NOTACIÓN

$$|0\rangle = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}, \qquad |1\rangle = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Método · Base computacional

Slide 7

Convierte entre kets y vectores antes de multiplicar matrices.

PASOS

1. Escribe $|0\rangle$ y $|1\rangle$ como columnas.
2. Combina linealmente con amplitudes.
3. Lee la primera entrada como amplitud de $|0\rangle$.

Ejercicio resuelto · Base computacional

Slide 8

Escribe $\frac{1}{\sqrt{2}}|0\rangle - \frac{1}{\sqrt{2}}|1\rangle$ como vector.

SOLUCIÓN

$$|-\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}\begin{bmatrix}1\\0\end{bmatrix} - \frac{1}{\sqrt{2}}\begin{bmatrix}0\\1\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}1/\sqrt{2}\\-1/\sqrt{2}\end{bmatrix}.$$

Concepto · Regla de Born

La regla de Born transforma amplitudes en probabilidades.
Para amplitudes reales, se eleva al cuadrado.

NOTACIÓN

$$\mathbb{P}(0) = \alpha^2, \qquad \mathbb{P}(1) = \beta^2$$

Método · Regla de Born

Slide 10

No confundir amplitud con probabilidad.
El signo de la amplitud se pierde al medir en la base computacional.

PASOS

1. Identifica la amplitud.
2. Eleva al cuadrado.
3. Interpreta el resultado como probabilidad.

Ejercicio resuelto · Regla de Born

Slide 11

Si la amplitud de $|1\rangle$ es -0.90, calcula la probabilidad de observar 1.

SOLUCIÓN

$$\mathbb{P}(1) = (-0.90)^2 = 0.81.$$

Concepto · Normalización cuántica

Un estado cuántico válido debe tener norma uno. Para amplitudes reales, la suma de cuadrados debe ser uno.

NOTACIÓN

$$\alpha^2 + \beta^2 = 1$$

Método · Normalización cuántica

Slide 13

La condición no es $\alpha + \beta = 1$. Esa sería una condición de probabilidades clásicas.

PASOS

1. Elevar al cuadrado cada amplitud real.
2. Sumar los cuadrados.
3. El vector es válido si la suma es 1.
4. Los signos negativos sí son permitidos en amplitudes; desaparecen al elevar al cuadrado para probabilidades.

Ejercicio resuelto · Normalización cuántica

Slide 14

¿Es válido $\left(\frac{1}{2}, 0, \frac{1}{2}, 0\right)^T$ como estado cuántico?

SOLUCIÓN

$$\left(\frac{1}{2}\right)^2 + 0^2 + \left(\frac{1}{2}\right)^2 + 0^2 = \frac{1}{4} + \frac{1}{4} = \frac{1}{2} \neq 1.$$

No es válido.

Concepto · Vectores cuánticos válidos

Un vector cuántico puede tener entradas negativas.
Lo que importa es la suma de cuadrados.

NOTACIÓN

$$|\psi\rangle = \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ \vdots \\ a_{N-1} \end{bmatrix}, \qquad \sum_i a_i^2 = 1$$

Método · Vectores cuánticos válidos

Slide 16

Valida sin descartar signos negativos.

PASOS

1. Elevar al cuadrado cada amplitud real.
2. Sumar los cuadrados.
3. El vector es válido si la suma es 1.
4. Los signos negativos sí son permitidos en amplitudes; desaparecen al elevar al cuadrado para probabilidades.

Ejercicio resuelto · Vectores cuánticos válidos

Slide 17

Revisa $\left(\frac{1}{\sqrt{2}}, -\frac{1}{\sqrt{2}}, 0, 0\right)^T$.

SOLUCIÓN

$$\frac{1}{2} + \frac{1}{2} + 0 + 0 = 1.$$

Es válido.

Concepto · Vectores no válidos

Un vector falla si la suma de cuadrados no es uno, aunque sus entradas parezcan razonables.

NOTACIÓN

$$\sum_i a_i^2 \neq 1 \Rightarrow \text{no es estado normalizado}$$

Método · Vectores no válidos

El criterio es numérico y directo.

PASOS

1. Elevar al cuadrado cada amplitud real.
2. Sumar los cuadrados.
3. El vector es válido si la suma es 1.
4. Los signos negativos sí son permitidos en amplitudes; desaparecen al elevar al cuadrado para probabilidades.

Ejercicio resuelto · Vectores no válidos

Slide 20

Revisa $\left(\frac{1}{4}, -\frac{1}{4}, -\frac{1}{4}, \frac{1}{4}\right)^T$.

SOLUCIÓN

$$4\left(\frac{1}{4}\right)^2 = \frac{4}{16} = \frac{1}{4} \neq 1.$$

No es válido.

Concepto · Ángulo de un qubit real

Todo qubit real normalizado puede representarse en el círculo unitario mediante un ángulo.

NOTACIÓN

$$|\psi\rangle = \cos(x)\,|0\rangle + \sin(x)\,|1\rangle$$

Método · Ángulo de un qubit real

Slide 22

El ángulo describe amplitudes, no probabilidades.

PASOS

1. Amplitud de $|0\rangle$: $\cos x$.
2. Amplitud de $|1\rangle$: $\sin x$.
3. Probabilidades: cuadrados.

Ejercicio resuelto · Ángulo de un qubit real

Si el ángulo es x, calcula $\mathbb{P}(0)$.

SOLUCIÓN

$$\mathbb{P}(0) = |\cos x|^2 = \cos^2 x.$$

Concepto · Estados $|+\rangle$ y $|-\rangle$

Slide 24

Los estados $|+\rangle$ y $|-\rangle$ tienen las mismas probabilidades de medición en la base computacional, pero difieren por un signo relativo.

NOTACIÓN

$$|+\rangle = \frac{|0\rangle + |1\rangle}{\sqrt{2}}, \qquad |-\rangle = \frac{|0\rangle - |1\rangle}{\sqrt{2}}$$

Método · Estados $|+\rangle$ y $|-\rangle$

El signo relativo será importante cuando otra operación produzca interferencia.

PASOS

1. Escribe amplitudes.
2. Eleva al cuadrado para probabilidades.
3. Conserva signos para operaciones posteriores.

Ejercicio resuelto · Estados $|+\rangle$ y $|-\rangle$

Slide 26

Mide $|-\rangle$ en la base $|0\rangle, |1\rangle$.

SOLUCIÓN

$$\mathbb{P}(0) = \frac{1}{2}, \qquad \mathbb{P}(1) = \frac{1}{2}.$$

Hadamard convierte la base computacional en la base $|+\rangle, |-\rangle$.

NOTACIÓN

$$H = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$$

Método · Hadamard

Multiplica la matriz por el vector base correspondiente.

PASOS

1. Sustituye $|0\rangle$ o $|1\rangle$ por columna.
2. Multiplica por H.
3. Reescribe el resultado como ket.

Ejercicio resuelto · Hadamard

Calcula $H|1\rangle$.

SOLUCIÓN

$$H|1\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}\begin{bmatrix}1 & 1\\ 1 & -1\end{bmatrix}\begin{bmatrix}0\\ 1\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}1/\sqrt{2}\\ -1/\sqrt{2}\end{bmatrix} = |-\rangle\,.$$

Concepto · Hadamard dos veces

Hadamard es su propia inversa. Aplicarlo dos veces devuelve el estado original.

NOTACIÓN

$$H^2 = I$$

Método · Hadamard dos veces

Slide 31

Esta propiedad explica por qué una medición intermedia cambia el comportamiento del circuito.

PASOS

1. Aplica H una vez.
2. Aplica H de nuevo.
3. Verifica que recuperas el ket inicial.

Ejercicio resuelto · Hadamard dos veces

Calcula $H\,|+\rangle$.

SOLUCIÓN

$$H\,|+\rangle = H(H\,|0\rangle) = H^2\,|0\rangle = |0\rangle\,.$$

La compuerta X intercambia $|0\rangle$ y $|1\rangle$. Es el análogo cuántico de NOT.

NOTACIÓN

$$X = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Método · Compuerta NOT cuántica

Slide 34

Aplica X por multiplicación matriz-vector o por regla directa.

PASOS

1. $X\,|0\rangle = |1\rangle$.
2. $X\,|1\rangle = |0\rangle$.
3. En Qiskit: `qc.x(q[0])`.

Ejercicio resuelto · Compuerta NOT cuántica

¿Qué código aplica NOT al primer qubit de un registro q?

SOLUCIÓN

```
qc.x(q[0])
```

Concepto · Medición de $X|0\rangle$

Slide 36

Si se inicia en $|0\rangle$ y se aplica X, el estado queda exactamente en $|1\rangle$.

NOTACIÓN

$$X|0\rangle = |1\rangle$$

Método · Medición de $X|0\rangle$

En una simulación ideal, medir 1024 veces produce siempre el resultado 1.

PASOS

1. Estado inicial: $|0\rangle$.
2. Aplica X: $|1\rangle$.
3. Mide: resultado 1 con probabilidad 1.

Ejercicio resuelto · Medición de $X|0\rangle$

Slide 38

Predice los conteos de 1024 mediciones tras $X|0\rangle$.

SOLUCIÓN

Resultado ideal:

$$\{\text{'1'} : 1024\}.$$

Concepto · Beam splitter como moneda cuántica

Un divisor de haz ideal envía un fotón a dos salidas con probabilidades iguales. Es una realización física de una moneda cuántica balanceada.

NOTACIÓN

$$\mathbb{P}(\text{reflejado}) = \frac{1}{2}, \qquad \mathbb{P}(\text{transmitido}) = \frac{1}{2}$$

Método · Beam splitter como moneda cuántica

La salida individual es una de las dos posibilidades; las probabilidades se observan estadísticamente.

PASOS

1. Identifica las dos salidas.
2. Asigna probabilidad $1/2$ a cada una.
3. Repite muchas veces para ver frecuencias.

Ejercicio · Beam splitter como moneda cuántica

¿Qué ocurre cuando un fotón pasa por un beam splitter ideal?

SOLUCIÓN

Se refleja con probabilidad $1/2$ y se transmite con probabilidad $1/2$.

Concepto · Crear $|-\rangle$ con Qiskit

Slide 42

Para crear $|-\rangle$ desde $|0\rangle$, primero se aplica X para obtener $|1\rangle$ y después H.

NOTACIÓN

$$HX\,|0\rangle = H\,|1\rangle = |-\rangle$$

Método · Crear $|-\rangle$ con Qiskit

Slide 43

La segunda operación debe ser Hadamard.

PASOS

1. Inicio: $|0\rangle$.
2. $X|0\rangle = |1\rangle$.
3. $H|1\rangle = |-\rangle$.

Ejercicio resuelto · Crear $|-\rangle$ con Qiskit

Después de `qc.x(q[0])`, ¿qué línea crea $|-\rangle$?

SOLUCIÓN

```
qc.h(q[0])
```

Concepto · Dos qubits y orden Qiskit

Slide 45

Qiskit muestra cadenas de bits con el bit clásico de mayor índice a la izquierda. Si sólo q_0 está en 1, la cadena mostrada suele ser `01`.

NOTACIÓN

$$q_1 q_0 = 01 \quad \text{cuando} \quad q_1 = 0,\ q_0 = 1$$

Método · Dos qubits y orden Qiskit

Slide 46

No confundas el orden visual de la cadena con el índice del qubit en el código.

PASOS

1. Identifica qué qubit cambia.
2. Mapea qubits a bits clásicos.
3. Lee la cadena de derecha a izquierda respecto a índices crecientes.

Ejercicio resuelto · Dos qubits y orden Qiskit

Si se aplica X a q_0 en dos qubits inicializados en 00, ¿qué cadena aparece?

SOLUCIÓN

Estado físico: $q_1 q_0 = 01$. Conteo ideal para 100 disparos:

$$\{\text{'}01\text{'} : 100\}.$$

Concepto · Circuito de un qubit

Slide 48

Un circuito básico se compone de registro cuántico, registro clásico, operaciones y medición.

NOTACIÓN

$$\text{estado} \xrightarrow{\text{compuertas}} \text{estado final} \xrightarrow{\text{medición}} \text{conteos}$$

Método · Circuito de un qubit

Lee el código línea por línea; las compuertas modifican qubits, la medición llena bits clásicos.

PASOS

1. Crear registro cuántico.
2. Crear registro clásico.
3. Aplicar compuertas.
4. Medir.
5. Simular.

Ejercicio resuelto · Circuito de un qubit

Slide 50

Explica el papel de `qc.measure(q[0],c[0])`.

SOLUCIÓN

Mide el qubit q_0 y guarda el resultado clásico en c_0.

Concepto · Conteos y disparos

Los conteos son frecuencias de medición tras repetir el circuito un número de veces. En un estado determinista, todos los conteos caen en una sola cadena.

NOTACIÓN

$$\text{shots} = N \Rightarrow \sum_s \text{counts}[s] = N$$

Método · Conteos y disparos

Comprueba que la suma de conteos coincida con el número de disparos.

PASOS

1. Identifica probabilidades ideales.
2. Multiplica por el número de disparos.
3. Espera fluctuaciones salvo en casos deterministas.

Ejercicio resuelto · Conteos y disparos

Slide 53

Si $\mathbb{P}(0) = \mathbb{P}(1) = 1/2$ y hay 1024 disparos, ¿qué esperas?

SOLUCIÓN

Aproximadamente 512 y 512, con fluctuaciones: por ejemplo $\{\text{'0'} : 522, \text{'1'} : 502\}$.

Concepto · Amplitud solicitada

Slide 54

Cuando se pregunta por amplitud, no se eleva al cuadrado. La amplitud conserva signo.

NOTACIÓN

$$|\psi\rangle = a\,|0\rangle + b\,|1\rangle \Rightarrow \text{amplitud de } |1\rangle = b$$

Método · Amplitud solicitada

Distingue claramente entre amplitud y probabilidad.

PASOS

1. Localiza el ket solicitado.
2. Toma su coeficiente.
3. No calcules cuadrados salvo que se pidan probabilidades.

Ejercicio resuelto · Amplitud solicitada

Slide 56

En $|\psi\rangle = 0.43\,|0\rangle - 0.90\,|1\rangle$, ¿cuál es la amplitud de $|1\rangle$?

SOLUCIÓN

La amplitud es -0.90.
La probabilidad correspondiente sería 0.81, pero eso no es la amplitud.

Concepto · Superposición no es mezcla clásica

Slide 57

Los estados $|+\rangle$ y una mezcla 50/50 de $|0\rangle$ y $|1\rangle$ dan las mismas frecuencias en una medición, pero no son el mismo objeto.

NOTACIÓN

$$|+\rangle = \frac{|0\rangle + |1\rangle}{\sqrt{2}} \neq \text{mezcla clásica}$$

Método · Superposición no es mezcla clásica

Slide 58

La diferencia aparece al aplicar otra operación antes de medir.

PASOS

1. Calcula medición directa.
2. Aplica H antes de medir.
3. Observa que $H|+\rangle = |0\rangle$.

Ejercicio · Superposición no es mezcla clásica

¿Qué se obtiene al aplicar H a $|+\rangle$ y medir?

SOLUCIÓN

$$H|+\rangle = |0\rangle \Rightarrow \mathbb{P}(0) = 1.$$

Concepto · Interferencia por signos

Slide 60

Los signos de las amplitudes pueden producir cancelaciones. Esta es una diferencia central frente a probabilidades clásicas no negativas.

NOTACIÓN

$$\frac{1}{\sqrt{2}}\left|0\right\rangle + \frac{1}{\sqrt{2}}\left|1\right\rangle \quad \text{vs.} \quad \frac{1}{\sqrt{2}}\left|0\right\rangle - \frac{1}{\sqrt{2}}\left|1\right\rangle$$

Método · Interferencia por signos

No elimines signos antes de terminar las operaciones unitarias.

PASOS

1. Mantén amplitudes con signo.
2. Aplica matrices.
3. Sólo al medir calcula cuadrados.

Ejercicio resuelto · Interferencia por signos

Slide 62

Calcula $H\left|-\right\rangle$.

SOLUCIÓN

$$H\left|-\right\rangle = H(H\left|1\right\rangle) = \left|1\right\rangle .$$

Concepto · Estados de varios términos

Slide 63

Un estado de n qubits tiene 2^n amplitudes.
La normalización suma los cuadrados de todas.

NOTACIÓN

$$|\psi\rangle = \sum_{i=0}^{2^n-1} a_i\,|i\rangle\,, \qquad \sum_i a_i^2 = 1$$

Método · Estados de varios términos

Slide 64

Para validar, trabaja con todos los términos presentes, no sólo con los no nulos.

PASOS

1. Elevar al cuadrado cada amplitud real.
2. Sumar los cuadrados.
3. El vector es válido si la suma es 1.
4. Los signos negativos sí son permitidos en amplitudes; desaparecen al elevar al cuadrado para probabilidades.

Ejercicio resuelto · Estados de varios términos

Slide 65

Valida $\left(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2}\right)^T$.

SOLUCIÓN

$$4 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^2 = 1.$$

Es válido.

Concepto · Producto tensorial cuántico

Slide 66

Dos qubits independientes se combinan por producto tensorial.
Las amplitudes conjuntas son productos de amplitudes individuales.

NOTACIÓN

$$(\alpha|0\rangle + \beta|1\rangle) \otimes (\gamma|0\rangle + \delta|1\rangle) = \alpha\gamma|00\rangle + \alpha\delta|01\rangle + \beta\gamma|10\rangle + \beta\delta|11\rangle$$

Método · Producto tensorial cuántico

Expande distributivamente y conserva el orden de kets.

PASOS

1. Multiplica primer término con ambos del segundo.
2. Multiplica segundo término con ambos del segundo.
3. Ordena como $00, 01, 10, 11$.

Ejercicio resuelto · Producto tensorial cuántico

Slide 68

Expande $|+\rangle \otimes |0\rangle$.

SOLUCIÓN

$$|+\rangle \otimes |0\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle + |1\rangle) \otimes |0\rangle = \frac{|00\rangle + |10\rangle}{\sqrt{2}}.$$

Concepto · Dimensión de n qubits

Slide 69

El espacio de estados de n qubits tiene dimensión 2^n.
Cada cadena binaria de longitud n es un estado base.

NOTACIÓN

$$\dim = 2^n$$

Método · Dimensión de n qubits

No confundas número de qubits con número de amplitudes.

PASOS

1. Cuenta qubits.
2. Eleva 2 a esa potencia.
3. Enumera si es necesario.

Ejercicio resuelto · Dimensión de n qubits

¿Cuántas amplitudes tiene un estado de 4 qubits?

SOLUCIÓN

$$2^4 = 16.$$

Medir en la base computacional selecciona una cadena binaria con probabilidad igual al cuadrado de su amplitud.

NOTACIÓN

$$\mathbb{P}(x) = |a_x|^2$$

Método · Medición en base computacional

Slide 73

La medición devuelve una cadena, no una amplitud.

PASOS

1. Localiza amplitud a_x.
2. Calcula a_x^2.
3. Interpreta como probabilidad del resultado x.

Ejercicio resuelto · Medición en base computacional

Slide 74

Para $|\psi\rangle = \frac{|00\rangle - |11\rangle}{\sqrt{2}}$, calcula $\mathbb{P}(11)$.

SOLUCIÓN

$$\mathbb{P}(11) = \left(-\frac{1}{\sqrt{2}}\right)^2 = \frac{1}{2}.$$

Al medir un registro completo, Qiskit llena el registro clásico correspondiente.
La cadena impresa sigue el orden clásico de visualización.

NOTACIÓN

```
qc.measure(q,c)
```

Método · Qiskit: medir todos los qubits

Lee índices y salida impresa por separado.

PASOS

1. Identifica estado físico.
2. Identifica mapeo qubit-bit.
3. Traduce a cadena mostrada.

Ejercicio resuelto · Qiskit: medir todos los qubits

Slide 77

Si $q_0 = 1$ y $q_1 = 0$, ¿qué cadena se muestra para dos bits?

SOLUCIÓN

La cadena usual es 01, porque se muestra como $c_1 c_0$.

Las compuertas X y H permiten preparar los cuatro estados básicos $|0\rangle, |1\rangle, |+\rangle, |-\rangle$ desde $|0\rangle$.

NOTACIÓN

$$|0\rangle \xrightarrow{X} |1\rangle, \quad |0\rangle \xrightarrow{H} |+\rangle, \quad |0\rangle \xrightarrow{X,H} |-\rangle$$

Método · Preparación de estados simples

Escribe el estado objetivo y descompón en compuertas conocidas.

PASOS

1. Si quieres $|1\rangle$, aplica X.
2. Si quieres $|+\rangle$, aplica H.
3. Si quieres $|-\rangle$, aplica X luego H.

Ejercicio resuelto · Preparación de estados simples

Slide 80

Prepara $|-\rangle$ desde $|0\rangle$.

SOLUCIÓN

$$|0\rangle \xrightarrow{X} |1\rangle \xrightarrow{H} |-\rangle \, .$$

Concepto · Probabilidad frente a conteo

Las probabilidades ideales se convierten en conteos esperados multiplicando por el número de disparos.

NOTACIÓN

$$E[\#x] = N\mathbb{P}(x)$$

Método · Probabilidad frente a conteo

Slide 82

Los conteos simulados pueden fluctuar si la probabilidad no es 0 o 1.

PASOS

1. Calcula probabilidades por Born.
2. Multiplica por shots.
3. Acepta fluctuación estadística.

Ejercicio resuelto · Probabilidad frente a conteo

Para $|+\rangle$ con 1000 disparos, estima conteos.

SOLUCIÓN

$$E[\#0] = 500, \qquad E[\#1] = 500.$$

Concepto · Resumen de un qubit

La descripción operativa de un qubit combina amplitudes, operaciones unitarias y medición probabilística.

NOTACIÓN

$$|\psi\rangle \xrightarrow{U} U|\psi\rangle \xrightarrow{\text{medición}} x \sim |a_x|^2$$

Método · Resumen de un qubit

Slide 85

El cálculo mantiene amplitudes; la interpretación final usa probabilidades.

PASOS

1. Estado inicial.
2. Operación.
3. Estado final.
4. Medición por Born.

Ejercicio resuelto · Resumen de un qubit

Slide 86

Calcula la probabilidad de 0 en $H|1\rangle$.

SOLUCIÓN

$$H|1\rangle = |-\rangle = \frac{|0\rangle - |1\rangle}{\sqrt{2}} \Rightarrow \mathbb{P}(0) = \frac{1}{2}.$$

Concepto · Control de notación

Slide 87

Los kets deben escribirse con delimitadores matemáticos para evitar confusión visual.

NOTACIÓN

$$|-\rangle = \frac{|0\rangle - |1\rangle}{\sqrt{2}}$$

QM Q

Método · Control de notación

Usa siempre llaves en raíces y fracciones.

PASOS

1. Escribe $\sqrt{2}$, no $\sqrt{2}$ en material final.
2. Usa $|\cdot\rangle$ para estados.
3. Usa $|a|^2$ para probabilidades.

Ejercicio resuelto · Control de notación

Slide 89

Reescribe de forma clara: $|- >= (|0 > -|1 >)/sqrt2$.

SOLUCIÓN

$$|-\rangle = \frac{|0\rangle - |1\rangle}{\sqrt{2}}.$$

QM Q

Formulario final del módulo

Slide 90

Estas fórmulas son las referencias mínimas disponibles para la resolución de ejercicios. La prioridad es identificar primero la convención de orden y después aplicar la regla algebraica correspondiente.

FÓRMULAS

$$|\psi\rangle = \alpha\,|0\rangle + \beta\,|1\rangle\,, \quad \alpha^2 + \beta^2 = 1$$

$$\mathbb{P}(0) = \alpha^2, \quad \mathbb{P}(1) = \beta^2$$

$$H\,|0\rangle = |+\rangle\,, \quad H\,|1\rangle = |-\rangle$$

$$|\pm\rangle = \frac{|0\rangle \pm |1\rangle}{\sqrt{2}}$$

QM Q