

Problema Iceberg Tabular

De toda el agua que hay en la Tierra, únicamente el 2.5% es agua dulce. Casi un 70% del total del agua dulce de la Tierra se encuentra formando glaciares y casquetes de hielo. Los glaciares son grandes masas de hielo que se forman por la acumulación de nieve a lo largo de muchos años (incluso siglos), y se desplazan debido a su peso. Cuando un glaciar alcanza la costa, éste continúa siendo empujado hacia el mar mientras a la vez es arrastrado por las corrientes a lo largo del suelo oceánico. Entonces forma una plataforma de hielo. Cuando llega a un punto en que el océano es lo suficientemente profundo, la plataforma de hielo comienza a flotar y este cambio de dirección genera esfuerzos que finalmente rompen su unión con el glaciar, formando lo que se conoce como un iceberg tabular.

Los icebergs tabulares pueden tener gran tamaño, su superficie superior es relativamente plana y sus bordes laterales son muy empinados (Figura 1). Al igual que cualquier otro tipo de iceberg, la mayor parte del hielo de un iceberg tabular no se encuentra por encima del agua sino debajo de su superficie.



Figura 1: Iceberg tabular (Andrew Shiva / Wikipedia / CC BY-SA 4.0)

En las últimas décadas, el tamaño de las plataformas de hielo ha disminuido considerablemente, y se han observado grandes colapsos, desprendimientos e incluso la desaparición completa de algunas de ellas. Esto ha sido particularmente grave en la Península Antártica, donde el colapso de las plataformas de hielo se relaciona con un incremento dramático de temperatura de $\sim 0.5^{\circ}\text{C}$ por década, durante más de siete décadas debido al calentamiento global. Como consecuencia la superficie de deshielo se incrementa produciendo más fracturas en el hielo, y se produce mayor fusión en la parte inferior debido a que el agua del océano que circula debajo del hielo flotante está más caliente.

Considere un iceberg tabular con forma de un paralelepípedo recto de dimensiones $H \times W \times L$. Asuma que la densidad del hielo es $\rho_h = 0.900 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ y que la densidad del agua de mar es $\rho_a = 1.027 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$.

1. Si el iceberg tiene la dimensión H en posición vertical, determine qué fracción de H se encuentra debajo de la superficie del agua.

Cuando un iceberg tabular se separa, toma un tiempo que las distintas fuerzas que actúan sobre él se equilibren y es posible que, en ese intervalo, se produzcan torques que harían que el iceberg fuera susceptible de voltearse y caer sobre su lado. Para que el iceberg se voltee, el paso del estado inicial al estado final sea energéticamente favorable. (Ayuda: Para que el iceberg se voltee, sus dimensiones deben ser tales que el cambio de energía entre el estado final e inicial sea tal que no se requiera entregar energía al sistema iceberg-agua desde una fuente externa).

2. Si $L > W$ y $W = \alpha H$ para el iceberg tabular y $0 < \alpha < 1$, considere los casos:
 - a) el iceberg tiene inicialmente la dimensión W en posición vertical y se voltea para tener la dimensión H en posición vertical,
 - b) el iceberg tiene inicialmente la dimensión H en posición vertical y se voltea para tener la dimensión W en posición vertical,

y encuentre cuál de los dos favorece que el iceberg se voltee. Observación: se espera que la solución del problema se haga por argumentos de energía potencial.

3. Para el caso en que el iceberg se voltea (es decir, cuando esto es energéticamente favorable), encuentre una expresión para la magnitud del cambio total de energía del sistema iceberg-agua y, por inspección de esta ecuación o por medio de su gráfica, encuentre el valor de α para el cual el cambio de energía es máximo.
4. Si el iceberg tiene dimensiones $L, H = 1200$ m y α es la obtenida en el inciso 3, calcule la cantidad de energía que se libera al voltea el iceberg.
5. Si al voltearse el iceberg del inciso 4, éste se sumerge por debajo de su posición de equilibrio una fracción de 0.01 de su dimensión vertical, encuentre el período de oscilación del movimiento del iceberg si se desprecia la resistencia del agua.