



## VI-DEC (Vídeos Didácticos de Experimentos Científicos) Física

### Tornado con bolitas de poliespan y papelitos de aluminio

#### Objetivo

Observar algunos experimentos sencillos relacionados con los vórtices que se forman al remover el agua de un vaso y al salir el agua de una botella.

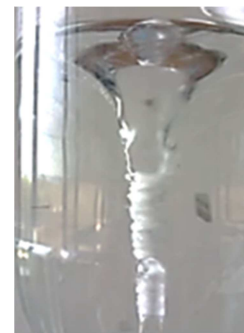
#### Material

Recipiente con agua. Agitador magnético. Dos botellas unidas con un tapón que tiene un orificio de 1 cm de diámetro. Papelitos de aluminio. Bolitas de poliespan.

#### Realización

Cuando la masa de un fluido adquiere un movimiento de rotación alrededor de un eje, aparecen diversas fuerzas que provocan un gradual hundimiento de la masa del fluido en la parte central.

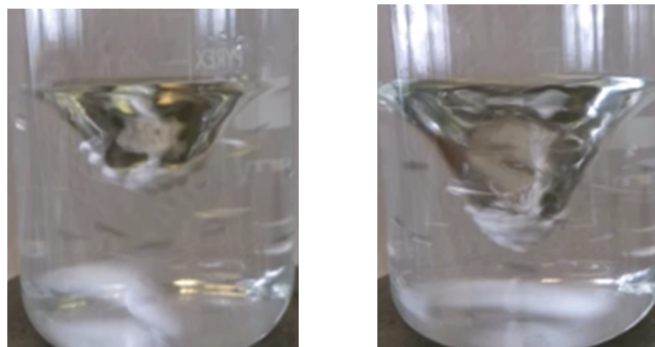
Un tornado o vórtice se presenta en la naturaleza cuando una columna de aire gira violentamente sobre sí misma. También se forma al revolver el agua de un recipiente con una cuchara o con un agitador magnético y al salir el agua de una botella.



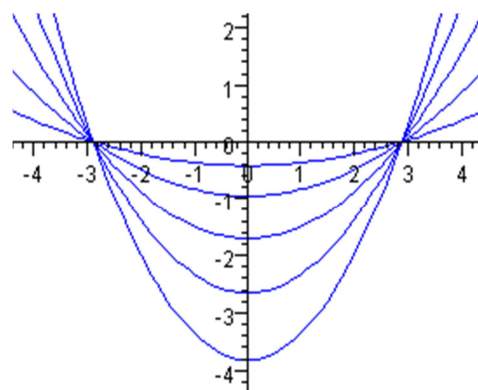
Para observar el movimiento del agua se han añadido bolitas de poliespan, que tienen una densidad 50 veces menor que la del agua, y papelitos de aluminio, que tienen una densidad 2,7 veces mayor que la del agua.



En un agitador magnético las bolitas flotan en el agua y se sitúan en el centro del recipiente y todas ellas se mueven a la misma velocidad angular.



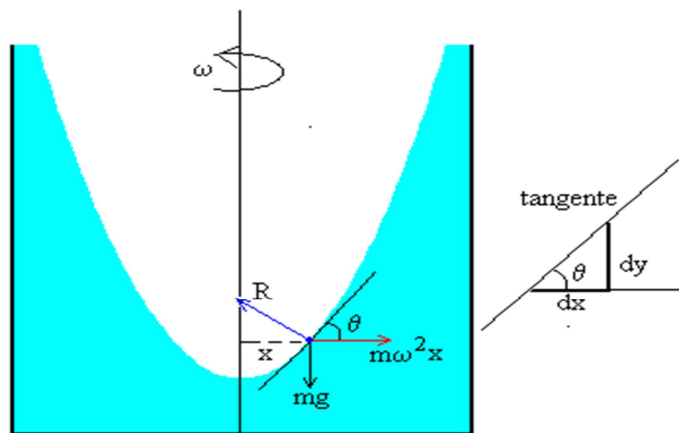
La superficie del líquido adquiere la forma de un paraboloide y la parte central se hunde más a medida que aumenta la velocidad de giro debido al campo gravitatorio y a la fuerza centrífuga.



En este caso es fácil de deducir por qué el agua adquiere forma parabólica.

Desde el punto de vista del observador en rotación (sistema de referencia NO inercial), las fuerzas que actúan sobre una partícula de agua con masa  $m$  a una distancia  $x$  del eje de rotación, son el Peso,  $mg$ , y la Fuerza Centrífuga,  $m\omega^2x$ .

La fuerza que ejerce el agua sobre la partícula considerada es  $R$ , opuesta a la suma vectorial del Peso y de la Fuerza Centrífuga, y perpendicular a la tangente a la curva en cada punto  $x$ .

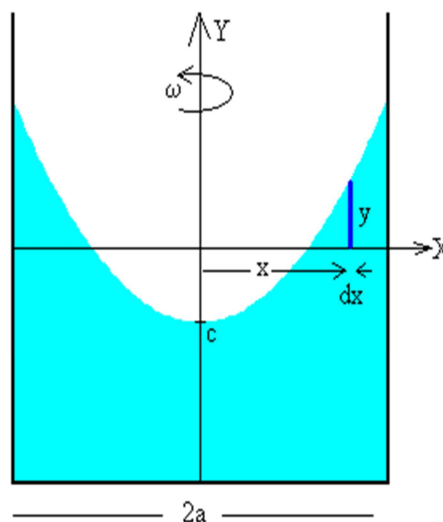


La superficie está en equilibrio cuando se cumple:  $\tan \theta = \frac{dy}{dx} = \frac{m\omega^2x}{mg}$

Integrando se obtiene la ecuación de una parábola simétrica respecto del eje

Y:

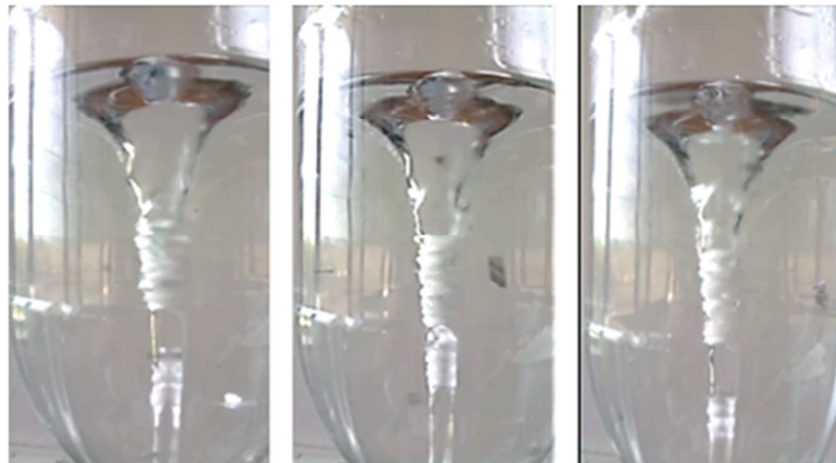
$$y = \frac{1}{2} \frac{\omega^2}{g} x^2 + c$$



En el tornado de la botella, el agua baja por las paredes de la botella, mientras que por el centro sube el aire para ocupar el vacío que deja el agua. La superficie del vórtice es hiperbólica y la velocidad angular aumenta al acercarse al vórtice.

Los papelitos de aluminio, con una densidad mayor que la del agua, se encuentran por todos lados y se mueven con mayor velocidad cerca del vórtice, y las bolitas de poliespan, con una densidad mucho menor que la del agua, se mantienen en la pared interior del vórtice.

Las fuerzas que actúan sobre las bolitas las hacen subir y bajar, como se observa en las siguientes imágenes tomadas cada 0,1 s.



Dada la complejidad de estas fuerzas no se explican en este documento.