

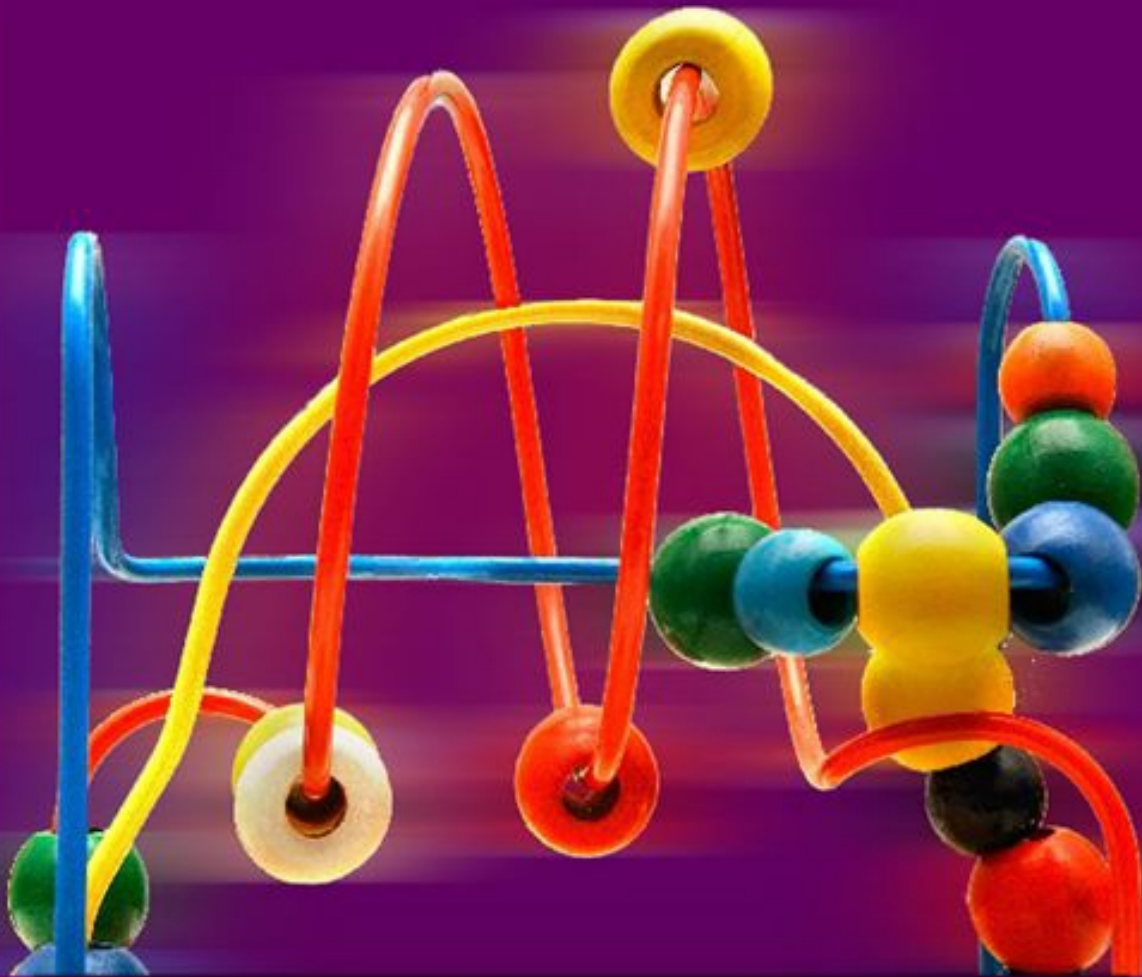


**EDITORIAL
DIGITAL**

TECNOLÓGICO DE MONTERREY

FLUIDOS, ONDAS Y CALOR

VOLUMEN 1



ROSA MARÍA GUADALUPE
GARCÍA CASTELÁN

LUIS JAIME
NERI VITELA

JOSÉ LUIS
ESCAMILLA REYES

[**Acerca de este eBook**](#)

[**Acerca de los autores**](#)

[**Mapa de Contenidos**](#)

[**Introducción del eBook**](#)

[**Capítulo 1. Estática de Fluidos**](#)

[**Introducción**](#)

[**1.1 Densidad, presión y principio de Pascal**](#)

[**1.2 Principio de Arquímedes**](#)

[**Conclusión del capítulo 1**](#)

[**Actividades del capítulo 1**](#)

[**Recursos del capítulo 1**](#)

[**Capítulo 2. Dinámica de Fluidos**](#)

[**Introducción**](#)

[**2.1 Fluido Ideal**](#)

[**2.2 Ecuación de continuidad**](#)

[2.3 Ecuación de Bernoulli](#)

[Conclusión del capítulo 2](#)

[Actividades del capítulo 2](#)

[Recursos del capítulo 2](#)

[Capítulo 3. Movimiento armónico simple](#)

[Introducción](#)

[3.1 Movimiento armónico simple: descripción cinemática y dinámica](#)

[3.2 Conservación de la energía mecánica en un movimiento armónico simple](#)

[3.3 Oscilaciones amortiguadas](#)

[Conclusión del capítulo 3](#)

[Actividades del capítulo 3](#)

[Recursos del capítulo 3](#)

[Ligas de interés](#)

[Glosario general](#)

Referencias

Aviso legal ©

Acerca de este eBook



FLUIDOS, ONDAS Y CALOR VOL. 1

D.R. © Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, México 2013.

El Tecnológico de Monterrey presenta su primera colección de eBooks de texto para programas de nivel preparatoria, profesional y posgrado. En cada título, nuestros autores integran conocimientos y habilidades, utilizando diversas tecnologías de apoyo al aprendizaje. El objetivo principal de este sello editorial es el de divulgar el conocimiento y experiencia didáctica de los profesores del Tecnológico de Monterrey a través del uso innovador de la tecnología. Asimismo, apunta a contribuir a la creación de un modelo de publicación que integre en el formato eBook, de manera creativa, las múltiples posibilidades que ofrecen las tecnologías digitales. Con su nueva Editorial Digital, el Tecnológico de Monterrey confirma su vocación emprendedora y su compromiso con la innovación educativa y tecnológica en beneficio del aprendizaje de los estudiantes.

www.ebookstec.com

ebookstec@itesm.mx

Acerca de los autores

Rosa María Guadalupe García Castelán

Profesora del Tecnológico de Monterrey, campus Ciudad de México desde 2002. Ha impartido

todos los cursos de física tanto en español como en inglés.

Doctora en Física por State University of New York at Buffalo. Esta Institución reconoció su labor docente como Teaching Assistant con el premio de Excelencia en la Enseñanza. Tiene una experiencia docente en Física y Matemáticas que data desde 1988. Está certificada en el Programa de desarrollo de habilidades docentes. Es instructora de Diseño de PodCast y su uso como recurso didáctico en cursos presenciales. Cuenta con el Diplomado ASESORE y ha impartido varios módulos del Diplomado en Enseñanza de la Física a profesores de enseñanza media y media superior. Actualmente es evaluadora de competencias. Es coautora del libro Dinámica, las leyes del movimiento y del libro Ejercicios y Problemas de Electricidad y Magnetismo.

Luis Jaime Neri Vitela

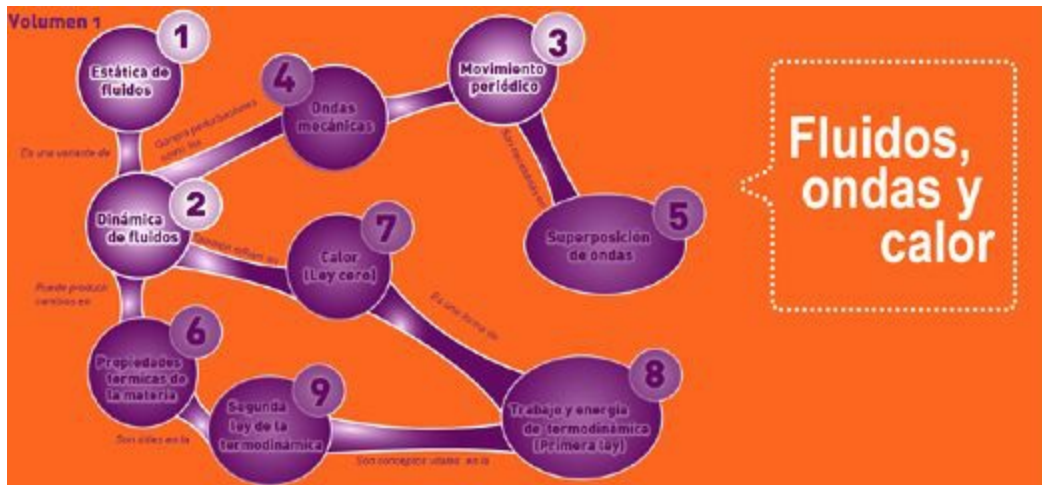
Profesor del Tecnológico de Monterrey, Campus Ciudad de México desde 1991. Director del Departamento de Ciencias Básicas de la División de Ingeniería y Arquitectura del CCM de 2000 a 2009. Doctor en Ciencias (Física) por la UNAM. Cuenta con experiencia docente desde 1981 en las áreas de Física y Matemáticas en el Tecnológico de Monterrey, el Instituto Tecnológico Autónomo de México y la UNAM. Participa en la cátedra de investigación “e-Learning” del campus Ciudad de México. Tiene varios artículos y capítulos de investigación en revistas y libros indizados, así como múltiples trabajos en congresos nacionales e internacionales. Es codirector de tesis de la Maestría y el Doctorado en Ciencias de la Computación del CCM. Está certificado en el Programa de Desarrollo de Habilidades Docentes, y en las técnicas didácticas de Aprendizaje Colaborativo y Aprendizaje Basado en Problemas, del Tecnológico de Monterrey. Ha sido reconocido en varias ocasiones como uno de los profesores con mejor opinión por parte de los alumnos del campus Ciudad de México. Obtuvo el premio “Dama del Ajedrez Cervantino” del CCM en 2003 por la implantación del Modelo Educativo del Tecnológico de Monterrey. Compartió el “Premio a la Innovación Educativa 2010” otorgado por la Vicerrectoría Académica del ITESM. Es coautor de la serie de tres libros Actividades Experimentales de Física y Ejercicios y Problemas de Electricidad y Magnetismo.

José Luis Escamilla Reyes

Profesor del Tecnológico de Monterrey, campus Ciudad de México desde 1998. Doctor en Física por la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa. Cuenta con una experiencia docente de 20 años. Es coautor de los Manuales de Física II y Física III. Está certificado en el Programa de Desarrollo de Habilidades Docentes. Ha participado con varios trabajos en Congresos Nacionales e Internacionales relacionados con la Física de Semiconductores de los grupos IV y III-V (áreas de interés: fuentes alternativas de energía, Física del Estado Sólido y diseño y aplicaciones de los MEMS). Ha publicado más de 15 trabajos arbitrados y memorias en congresos. Colaboró en el diseño y construcción de láser pulsados de N₂ en el Laboratorio de Óptica Cuántica de la UAMI. En el Tecnológico de Monterrey campus Ciudad de México participó en el desarrollo de un prototipo de Celda de Combustible con membrana de intercambio protónico (PEMFC) de alta eficiencia. Obtuvo la Medalla al Mérito Académico por el mejor promedio de Maestría otorgada por la UAMI. Actualmente, es líder de la Cátedra “Micro Sistemas Electromecánicos: Diseño y aplicaciones” y miembro del SNI.

Si no puedes ver el video, haz clic [aquí](#).

Mapa de Contenidos



Introducción del eBook

El mundo de hoy en día es fascinante y a la vez misterioso. Por ejemplo, a veces hay ruidos extraños provenientes de las tuberías, de las ventanas o de las puertas. Vemos que enormes y pesados buques trasatlánticos no se hunden al cruzar el mar. Otras veces no podemos explicarnos cómo es que los pájaros pueden volar o cómo es la comunicación entre murciélagos. ¿Será cierto que nadar con delfines es terapéutico? ¿Es conveniente meter una sopa caliente al refrigerador? ¿Se derramará el refresco de un vaso totalmente lleno si le agregamos hielo? ¿Por qué se nos tapan los oídos? ¿Por qué es una experiencia sublime presenciar un concierto en una iglesia?

El propósito del eBook Calor, ondas y fluidos es ayudarnos a develar las respuestas a los fenómenos antes mencionados, así como a muchos otros. Además, nos introduce en el maravilloso mundo de la física por medio de podcasts, animaciones, de reflexiones éticas y de la resolución de problemas.

¿Lo más importante? Hay que tener buena disposición al trabajo y tolerancia a la frustración. “Roma no se construyó en un día”.

¡Bienvenido y mucho éxito!



Capítulo 1. Estática de Fluidos



Introducción

Desde el punto de vista macroscópico, en general, la materia se ha clasificado de acuerdo con sus características físicas en tres estados: sólido, líquido y gaseoso.

Los sólidos tienen forma definida, ya que las fuerzas de interacción entre las moléculas o los átomos que los constituyen son muy intensas. La estructura interna es altamente geométrica y forma lo que se conoce como cristales. Los átomos y las moléculas de la estructura cristalina están ordenados en posiciones relativamente fijas, que vibran alrededor de su posición de equilibrio.

En muchas ocasiones a los líquidos y gases se les denomina fluidos porque son sustancias que fluyen, no se pueden cortar ni con tijeras ni con sierras y no están sujetos a tensiones. Los fluidos

se pueden representar por capas; las fuerzas de interacción atómicas y moleculares son débiles en comparación con las de los sólidos, por esto último no presentan una forma definida.

Si el volumen del fluido es comparable con el del contenedor que los encierra, entonces toman la forma del recipiente. Si el contenedor presenta alguna perforación, los fluidos tienden a escaparse por ahí. Si el volumen del gas es mucho menor que la del contenedor que lo encierra, entonces las moléculas del gas tenderán a llenar todo el espacio disponible, pero el gas no tomará la forma del recipiente. Ahora bien, si el volumen del líquido es mucho menor que el volumen del recipiente que lo contiene, el líquido se desparra en el fondo del recipiente. En ausencia de gravedad, los líquidos tienden a formar esferas.

Ciertamente existe un poco de ambigüedad en las clasificaciones antes mencionadas, pues algunas sustancias, como por ejemplo la brea, en realidad son fluidos pero se comportan como sólidos en el tiempo en el que generalmente son usados. Infinidad de sustancias pueden pasar de líquidos a gases con tan sólo variar ciertas cantidades físicas, como la presión y la temperatura, por lo que clasificarlas tajantemente es una tarea obsoleta.



Para sorpresa de muchos, el estado de la materia que más abunda en el Universo no es el sólido, ni el líquido, ni el gaseoso, sino el de plasma. Los gases altamente ionizados se conocen como plasmas. Hoy en día, éste es el cuarto estado de la materia. El viento solar, las estrellas y las nebulosas son plasma, así como la gran mayoría de los objetos del Universo. Los plasmas se comportan de manera muy diferente a los gases, por lo que no son considerados como fluidos.

Aunque actualmente existen clasificaciones tan sofisticadas de la materia como las de gelatinas, superconductores, semiconductores, coloides, entre otras, todas éstas son objeto de estudio de otras obras.

En el presente capítulo vamos a centrarnos en el estudio de los fluidos en reposo; es decir, en la estática de fluidos. Las variables adecuadas para describir un fluido en reposo son la **presión** y la densidad, las cuales son de gran utilidad a la hora de aplicar el llamado Principio de Pascal.

1.1 Densidad, presión y principio de Pascal

Puesto que los fluidos son sistemas colectivos es conveniente describir el sistema en función

de cantidades que no dependan del tamaño del mismo. Esto es, la descripción física debe ser la misma si consideramos 1 litro o, por ejemplo, 106 litros del mismo líquido.



Figura 1.1 Tipos de variables.

La densidad de un cuerpo o de un fluido se define como **masa por unidad de volumen**.



Así, por ejemplo, la densidad del agua es $1\ 000\ kg/m^3$ o $1\ g/cm^3$. Esto quiere decir que un metro cúbico de agua contiene una masa de $1\ 000\ kg$, o bien, que un centímetro cúbico tiene una masa de $1\ g$.

A veces es conveniente expresar la densidad de algún material en términos de la del agua. Al cociente entre la densidad del material y la del agua se le llama **densidad relativa**, la cual,

obviamente, es una cantidad adimensional:

$$\rho_{rel} = \frac{\rho_{sust}}{\rho_{agua}}$$

LIGAS DE INTERÉS

Página con Ejemplos y simulaciones en línea

[Physics Teaching with the power of media](#)

En la tabla 1.1.2 se incluyen las densidades volumétricas de algunos materiales (a presión de 1 Pa y 273 K).

Clasificación	Nombre	Densidad (Kg/m ³)	Densidad relativa
Gases	Aire	1.29	1.29x10 ⁻³
	Helio	1.80x10 ⁻¹	1.80x10 ⁻⁴
	Hidrógeno	8.99x10 ⁻²	8.99x10 ⁻⁵
	Oxígeno	1.43	1.43x10 ⁻³
Líquidos	Agua	1.00x10 ³	1
	Agua de mar	1.03x10 ³	1.03
	Alcohol etílico	0.806x10 ³	0.806
	Benceno	0.879x10 ³	0.879
	Glicerina	1.26x10 ³	1.26
Sólidos	Aluminio	2.70x10 ³	2.7
	Cobre	8.92x10 ³	8.92
	Hielo	0.917x10 ³	0.917
	Hierro	7.86x10 ³	7.86
	Mercurio	13.6x10 ³	13.6
	Oro	19.3x10 ³	19.3
	Plata	10.5x10 ³	10.5
	Plomo	11.3x10 ³	11.3

Tabla 1.1.2 Densidades volumétricas de materiales a presión.

PARA SABER MÁS

¿Por qué los grandes y lujosos cruceros que pesan toneladas no se hunden y un clavo de metal sí se hunde? Reflexione al menos 5 consideraciones importantes que se deban tomar en cuenta para que se mantenga la estabilidad en estas grandes embarcaciones.

Sugerencias sobre algunas posibles consideraciones:

- a. No sólo la densidad, sino la forma de los materiales utilizados en la construcción del crucero es importante.
- b. La proporción y cantidad de los materiales utilizados se debe de tomar en cuenta. ¿Está todo el crucero hecho del mismo material?
- c. El peso estimado del crucero (número de pasajeros, tripulación a bordo, máquinas etcétera) es relevante para saber cuál es la mejor forma de equilibrarlo.
- d. Las condiciones climáticas de la trayectoria son primordiales para saber a qué se va a enfrentar la estabilidad del crucero.
- e. Alguna vez te has preguntado ¿cuál es el entrenamiento que debe tener el capitán del crucero?

Por otro lado, se tiene a la distribución de masa por unidad de longitud.

Representada generalmente con la letra griega *lambda* (λ):

$$\lambda = \frac{m}{L}$$

Sus unidades en el SI son kg/m.

¿En qué casos se tiene una densidad lineal de masa? Un buen ejemplo es el cabello, sobre todo si es muy largo, pues el grosor del mismo es despreciable frente a su longitud.

También existe la densidad superficial de masa.

Representada por la letra griega *sigma* (σ):

$$\sigma = \frac{m}{A}$$

Sus unidades en el SI son kg/m².

La densidad superficial de masa es importante en la producción masiva de cartulinas, de las etiquetas de los refrescos y cervezas, así como en la producción de las películas antiasalto, por ejemplo.



Todos los tipos de densidades de masa antes mencionadas son además cantidades escalares.

En la mayoría de los casos, en esta obra, para el estudio de los fluidos vamos a emplear la densidad volumétrica de masa.

Otra cantidad intensiva importante es la **presión**. La presión es una cantidad escalar que se produce en el momento en que una fuerza actúa sobre una superficie. Cada vez que nos recargamos en una de las puertas del vagón del metro o cuando colocamos los platos en la mesa, se está ejerciendo una presión.

Aquí parece haber una contradicción, porque sabemos que la fuerza es un vector, pero estamos afirmando que la presión es un escalar. Lo importante es darnos cuenta de que la única componente de la fuerza que ejerce presión es la componente perpendicular al área de contacto.

La componente de la fuerza que es paralela al área de contacto no ejerce presión alguna sobre ella, es por eso que las capas de los fluidos pueden resbalarse unas en otras. Recordando que la componente de un vector es un escalar y que el área es también un escalar, matemáticamente se tiene que, para el caso en que **F es constante**:

$$P = \frac{F}{A}$$

Donde se ve que el cociente de dos escalares da por resultado un escalar. Es importante hacer notar que en el numerador de la ecuación $P = \frac{F}{A}$ aparece **F**, y **no** \vec{F} pues la atención

sólo se centra en la componente perpendicular de la fuerza aplicada.

Existen varios tipos de presión. (Ver figura 1.1.3).



Figura 1.1.3 Tipos de presión.

Los sistemas en los cuales se logren presiones inferiores a la atmosférica; es decir, *presiones de vacío*, se miden con los manómetros de vacío o vacuómetros. Las presiones de vacío son imposibles de tener en los fluidos. Las unidades de la presión en el SI son Newtons/m, las cuales, comúnmente, son conocidas como **Pascales**.



Hoy en día hay varios tipos de unidades equivalentes empleadas para la presión. A la presión que ejercen las capas de la atmósfera sobre la tierra al nivel del mar se le denomina presión atmosférica y la unidad es la **atmósfera**, comúnmente abreviada **atm**; es decir, la presión atmosférica tiene un valor de 1 atm. En el Sistema CGS la presión se mide en dinas sobre centímetro cuadrado, a lo que se le conoce como **bara** o **baria** o **bar** (palabra de origen griego que significa peso). En el sistema Inglés, la presión se mide en libras por pulgada cuadrada, conocida como psi. Si se vierte una libra de agua en un tubo de vidrio de sección transversal igual a 1 pulgada cuadrada, el peso del agua sobre el fondo del tubo sería de 1 libra y por lo tanto la presión equivaldría a 1 psi. La altura de la columna de agua mide 27.68 pulgadas a 39°F, por lo que también se puede usar la unidad de **pulgada de agua** o bien **in**.

Si se sustituye al agua por mercurio, entonces la altura de la columna mediría 2.036 pulgadas y se obtiene la unidad de **pulgada de mercurio**, denotada como **in. Hg**. En Europa, en vez de usar

pulgadas, se usan milímetros, por lo que una pulgada de mercurio equivale a 25.4 **mmHg**. En honor a Toricelli, el inventor del aparato que mide la presión atmosférica, el barómetro, 1 mm Hg equivale a 1 **Torr**.

Consulta la tabla 1.1.4 con las equivalencias entre las diferentes unidades de presión:

	psi	in. H ₂ O	in. Hg	kg/cm ²	Atm	kPa	mbar	mmHg
Psi	1	27.680	2.036	0.0703	0.680	68.947	68.947	2.036
in. H₂O	3.61×10^{-2}	1	7.3554×10^{-2}	2.54×10^{-3}	2.459×10^{-3}	0.2491	2.491	7.3554×10^{-1}
in. Hg	0.4912	13.596	1	0.0346	0.0334	3.3864	33.864	1
kg/cm²	14.224	393.7	28.910	1	0.9678	98.07	980.7	28.910
Atm	14.66	406.7	29.922	1.033	1	101.3	1013	29.922
kPa	0.1450	4.0147	0.2953	0.0102	9.869×10^{-3}	1	10.000	0.2953
Mbar	0.01450	0.40147	0.02953	1.02×10^{-3}	9.869×10^{-4}	0.100	1	0.02953
mmHg	1.93×10^{-2}	0.53535	3.937×10^{-2}	1.36×10^{-3}	1.316×10^{-3}	0.13332	1.3332	3.937×10^{-1}

Tabla 1.1.4 Equivalencias entre las unidades de presión.

Ahora bien, en caso de que la fuerza no sea constante, debemos emplear la relación:

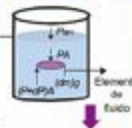
$$P = \frac{dF}{dA} \Rightarrow dF = P dA$$

De esta manera, para calcular la fuerza total aplicada, se debe integrar la expresión anterior. Para llevar a cabo esta tarea debemos establecer cómo cambia la presión con la profundidad.

En el gráfico 1.2.4. Presión puedes consultar un ejemplo.

Ejemplo

Para encontrar la dependencia de la presión con la profundidad, consideremos un elemento de fluido (una pastilla muy delgada de espesor dy y área de sección transversal A) ubicado a una profundidad h con respecto al nivel del fluido, como se muestra en la figura 1.2.



La presión del agua en un estanque o recipiente aumenta al incrementar la profundidad con respecto al nivel del fluido. Por esta razón, cuando un auto se hunde en un lago, el conductor no puede abrir la portacristal, debiendo bajar el cristal de la misma para poder salir del auto y nadar hacia la superficie. Un ejemplo típico de dicha variación es el de un globo lleno de agua al cual se le hacen orificios a diferentes alturas (ver la figura 1.1).

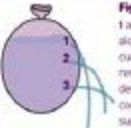


Figura 1.1 El chorro de agua que sale del orificio 1 alcanza una distancia horizontal menor que la alcanzada por los chorros de agua de 2 y 3, los cuales se encuentran a una mayor profundidad respecto del nivel de agua. Esta es una demostración práctica del cambio de la presión con la profundidad, medida a partir de la superficie del agua en el globo.

Recordando que $F = FA$ y $W = mg$, la segunda ley de Newton se expresa como:

$$\sum F_y = dW + F_{\text{ext}} - F_{\text{sup}} = 0$$

$$\sum F_y = (dm)g + PA - (P + dP)A = 0$$

Eliminando términos semejantes y separando variables:

$$(dm)g - PA = 0 \Rightarrow (dm)g = PA \Rightarrow (\rho dV)g = AP$$

pero $dV = Ady$ por lo que $\rho dV = \rho Ady \Rightarrow \rho g dy = dP$

Resolviendo las integrales se obtiene: $\rho g y \Big|_0^h = P \Big|_{P_{\text{atm}}}^P$

Después de evaluar y despejando P : $P = P_{\text{atm}} + \rho gh$

Sustituyendo tenemos: $\rho g dy = dP$

Cancelando el área A se obtiene la ecuación diferencial: $\rho g dy = dP$

Ya que ρg es constante, integramos: $\rho g \int dy = \int_{P_{\text{atm}}}^P dP$

Gráfico 1.2.4 Presión.

Para enfatizar esta última idea te invitamos a ver el siguiente video:

Si no puedes ver el video, haz clic [aquí](#).

Esto quiere decir que la presión varía linealmente con la profundidad a partir de un valor constante (P_{atm}). Debe notarse que el resultado anterior se obtuvo considerando que la densidad no tiene una dependencia explícita con la profundidad (o con la altura respecto de un nivel de referencia). Si este fuera el caso, la densidad no podría sacarse como factor constante de la integral y el cálculo no sería tan fácil.

Otra propiedad interesante de los fluidos se presenta cuando comunicamos varios recipientes de formas diferentes por medio de un tubo o conducto horizontal. Al introducir un fluido en alguno de los recipientes observamos que en todos estos recipientes el fluido alcanza la misma altura; esto se debe a que la presión del fluido se transmite de igual manera en todas direcciones, sin importar la forma de los recipientes.

Este es el llamado **Principio de Pascal**:



PARA SABER MÁS

¿Qué señal se le envía al tu cuerpo para flotar en la alberca? ¿Cómo se aprende a flotar? Reflexione al menos 3 consideraciones importantes.

Sugerencias sobre algunas posibles consideraciones:

- a. En primer lugar, debemos de estar relajados para tener control de nuestro cuerpo ¿cómo se envían estas señales al cerebro?
- b. Hay que llenar los pulmones con la cantidad de aire necesaria para aumentar el volumen y tener mayor fuerza de flotación.
- c. Es obvio que no hay que tenerle miedo al agua (los bebés no le tienen miedo y flotan de manera natural).

Podemos demostrar este principio con un fluido en un recipiente sometido a cambios de presión mediante un pistón en la Figura 1.1.5.

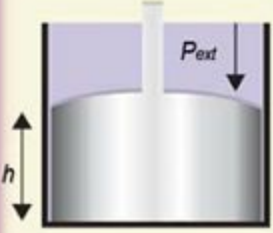


Figura 1.2.4. La presión inicial P_{ini} a una profundidad h sujeta a una presión externa P_{ext} es:

$$P_{ini} = P_{ext} + \rho gh$$

Ahora, si la presión externa aumenta:

$$P_{ext}^f = P_{ext} + \Delta P$$

Entonces, la presión a la profundidad h también cambia:

$$P_{ini}^f = P_{ext}^f + \rho gh$$

Así pues, sustituyendo la presión final externa, obtenemos:

$$P_{ini}^f = (P_{ext} + \Delta P) + \rho gh = (P_{ext} + \rho gh) + \Delta P \Rightarrow P_{ini}^f = P_{ini} + \Delta P$$

Por tanto, el incremento de presión P se transmitió íntegramente a un punto cualquiera del fluido. Este principio es empleado en la operación de los gatos hidráulicos y las máquinas neumáticas.

Consulta a continuación un experimento sencillo, llamado *El Diablillo de Descartes*, referente al Principio de Pascal.

Si no puedes ver el video, haz clic [aquí](#).

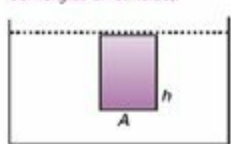
Consulta el gráfico ejemplos del Principio de Pascal para que te ejercites en la resolución numérica de problemas concretos.

Ejemplo 1:

Un recipiente herméticamente cerrado y lleno de agua cae con una aceleración menor a la de la gravedad. ¿Cómo varía la presión en el recipiente en función de la profundidad?

SOLUCIÓN:

El recipiente cae con una aceleración $a < g$ según el enunciado del problema. Consideremos una columna de fluido de área A y altura h mostrada en la figura (OJO: No es un objeto sumergido en el fluido).

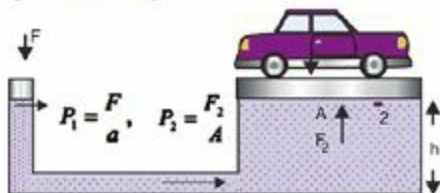


Las fuerzas que actúan sobre la columna se describen en la parte de abajo. Aplicando la segunda ley de Newton al elemento de fluido obtenemos:

$$PA - mg = -ma$$

Ejemplo 2:

El objetivo de este ejemplo es mostrar una aplicación del Principio de Pascal. Si aplicamos una fuerza F del lado izquierdo de la prensa, podemos levantar el auto de peso mg . La fuerza que debemos aplicar puede calcularse de la siguiente manera (Figura 2.1):

**Ejemplo 3:**

Se sabe que la densidad y la presión son proporcionales en la atmósfera terrestre; esto es, podemos expresar la densidad como $\rho = P/h_0g$, siendo $h_0 \approx 8000$ m y g la aceleración de la gravedad. Encuentra la variación de la presión con la altura h a la superficie de la Tierra.

SOLUCIÓN:

Como vimos en este capítulo, la presión disminuye al aumentar la altura, de acuerdo con:

$$\frac{dP}{dy} = -\rho g$$

Sustituyendo la variación de la densidad con la presión, se obtiene:

$$\frac{dP}{dy} = -\frac{P}{h_0} \Rightarrow \int_{P_0}^P \frac{dP}{P} = -\frac{1}{h_0} \int_0^h dy$$

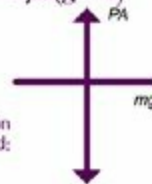
Por otro lado, la masa del elemento de fluido es:

$$m = \rho V = \rho Ah$$

Sustituyendo la masa y despejando, encontramos la presión:

$$PA - \rho ghA = -\rho ahA \Rightarrow P = \rho h(g - a)$$

El diagrama de cuerpo libre queda como:



Cuando $a = 0$ recuperamos la variación usual de la presión con la profundidad; ¿y qué pasa cuando $a = g$?

SOLUCIÓN:

Por definición $P_2 = P_1$

Las presiones son iguales a la misma profundidad, así que:

$$\frac{F}{a} = \frac{F_2}{A}$$

Por otro lado, F_2 debe ser igual al peso del coche, de modo que:

$$F = \frac{aF_2}{A} = \left(\frac{a}{A}\right)mg$$

F es la fuerza mínima que se debe aplicar para elevar al auto y es una función del cociente de áreas de los pistones. Si A es muy grande (para un área a dada), la fuerza que debemos aplicar para levantar el auto es pequeña comparada con el peso del auto.

Siendo P_0 la presión atmosférica al nivel del mar.

$$\text{Integrando, resulta: } \Rightarrow \ln \left[\frac{P}{P_0} \right] = - \left[\frac{h}{h_0} \right]$$

$$\text{Despejando la presión, obtenemos: } P = P_0 e^{-(h/h_0)}$$

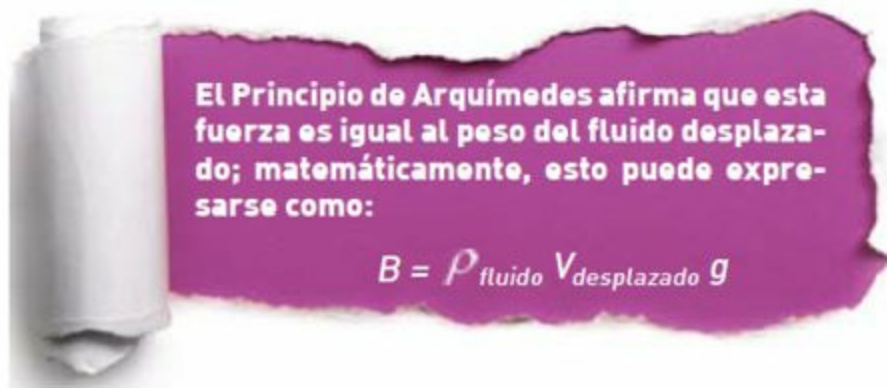
Esta variación de la presión es válida cuando estamos midiendo dicha presión lejos de la superficie de la Tierra, pero no tan lejos de ella, ya que, en ese caso, la aceleración de la gravedad no es constante (recordar que, en general, g varía con la altura). En la práctica, estamos hablando de alturas del orden de 8 a 10 km.

Consulta a continuación un experimento de la prensa hidráulica.

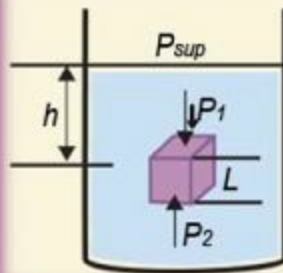
Si no puedes ver el video, haz clic [aquí](#).

1.2 Principio de Arquímedes

Cuando tenemos un objeto sumergido total o parcialmente en algún fluido, hay una fuerza con dirección hacia arriba que actúa sobre este objeto. Esta fuerza se conoce como fuerza de **flotación**, empuje o fuerza boyante y se denota con la letra **B**.



A continuación, demostraremos este principio, considerando un elemento de fluido (un cubo de lado L) a una profundidad h . La presión en la parte inferior del cubo, denotada como P_2 , es mayor que la presión superior P_1 , ya que la presión aumenta con la profundidad. Así, calculemos la fuerza resultante sobre el elemento de fluido (Figura 1.2).



Como $P_2 > P_1$, la fuerza resultante apunta verticalmente hacia arriba. Por la segunda ley de Newton.

$$B = P_2 A - P_1 A \quad \text{siendo} \quad P_1 = P_{sup} + \rho_{flu} g h$$

$$P_2 = P_{sup} + \rho_{flu} g (h + L)$$

Sustituyendo y simplificando, resulta:

$$B = A(\rho_{flu} g L) = \rho_{flu} V_{cubo} g = \rho_{flu} V_{des} g = m_{flu} g$$

Con lo que se demuestra el Principio de Arquímedes. Es importante notar que la fuerza de flotación sobre un objeto depende únicamente de la densidad del fluido en el que se encuentra inmerso el objeto en cuestión.

RECURSOS

Experimento simple que concierne la flotabilidad en un líquido

[Buoyant Force in Liquids](#)

Enseguida vamos a analizar qué sucede cuando el objeto está parcial o totalmente sumergido en un fluido de densidad conocida.

Consideremos un objeto de densidad ρ_{obj} sumergido en un fluido de densidad ρ_{flu} . En este caso, la fuerza de flotación (B) y el peso del objeto (w) son las fuerzas que actúan sobre el objeto. Aplicando la segunda ley de Newton, resulta (Figura 1.2.1):

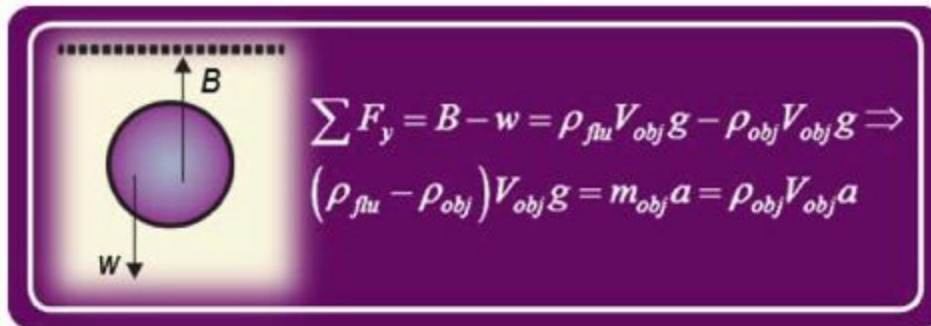
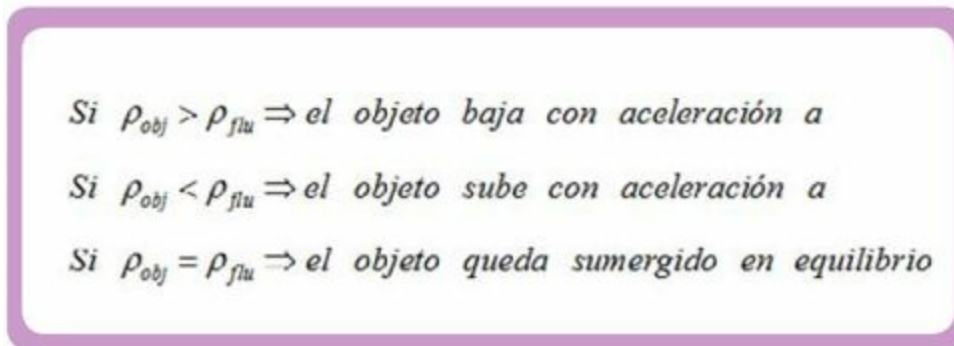


Figura 1.2.1.

De la última ecuación, observamos lo siguiente:



En el caso en el cual el objeto esté parcialmente sumergido en el fluido, la fuerza de flotación se equilibra con el peso del mismo. De la segunda ley de Newton resulta que (Figura 1.2.2):

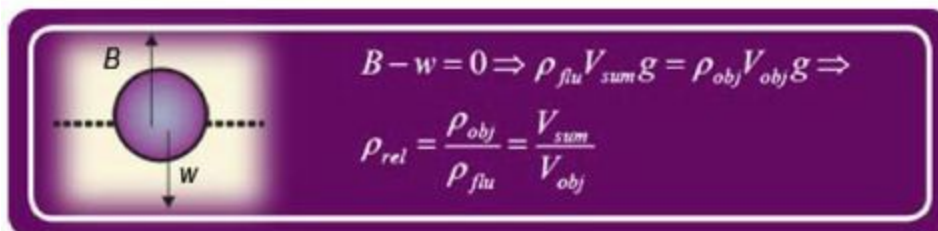
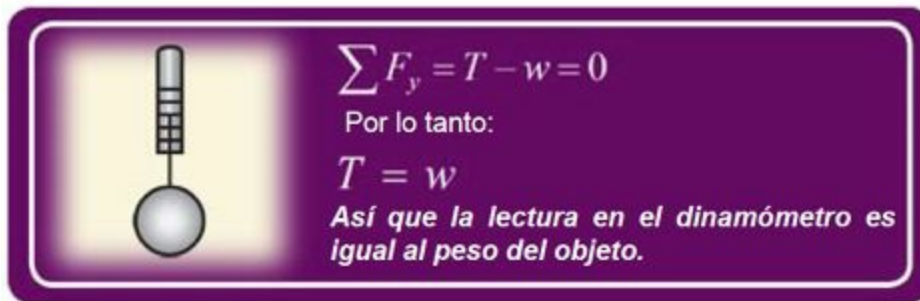


Figura 1.2.2.

Siendo V_{sum} la fracción del volumen del objeto que está bajo el fluido, el objeto flota, ya que la densidad relativa es menor que uno.

En general, para medir el peso de un objeto, éste se suspende verticalmente por medio de una cuerda que se ata al extremo libre de un dinamómetro, como se muestra en la figura 1.2.3. Aplicando la segunda ley de Newton a este sistema, se obtiene que:



Si repetimos el experimento, pero ahora sumergimos completamente el objeto en un líquido de densidad ρ fluido, se obtiene:

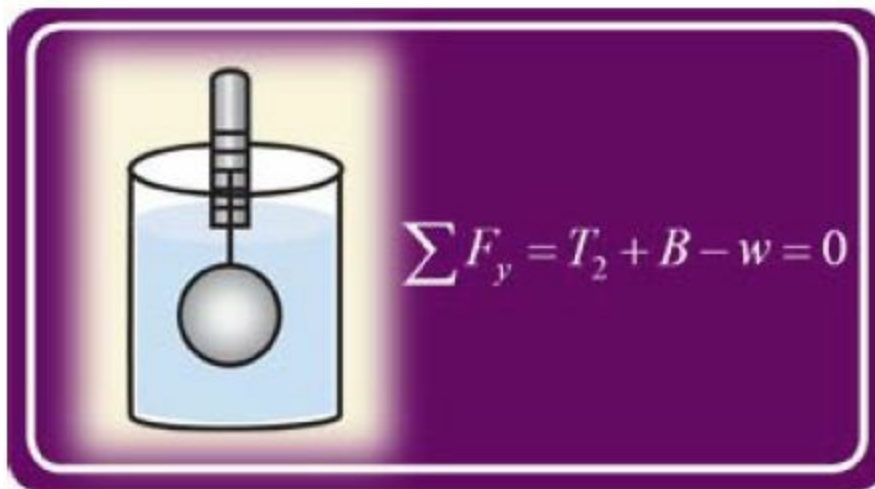


Figura 1.2.4.

Siendo B la fuerza de flotación que actúa sobre la esfera sumergida. De este modo, la tensión en la cuerda del dinamómetro, es decir, la fuerza T_2 , es la lectura que ahora se registra como:

$$T_2 = w_{ap} = w - B$$

Como se observa, esta fuerza T_2 es menor que el peso w , razón por la que se le denomina **el peso aparente** w_{ap} .

Con ayuda del concepto de peso aparente, muchas veces se define a la gravedad específica (W_{esp}) de un objeto, como:

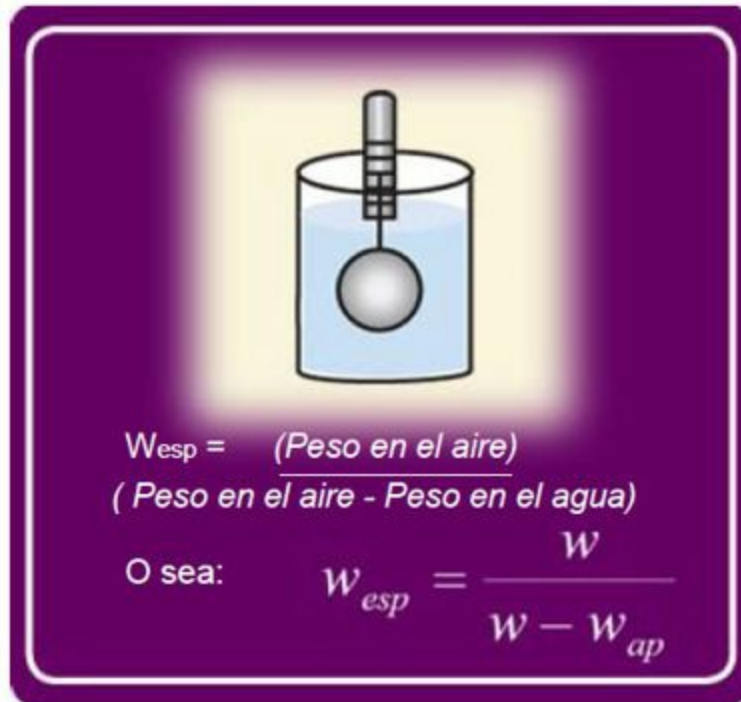


Figura 1.2.4.

Donde W_{ap} es el peso aparente del objeto cuando se sumerge en agua. Por otro lado, recordando la definición de peso aparente, la gravedad específica también puede expresarse como:

$$W_{esp} = \frac{W}{B}$$

Finalmente, de acuerdo con el Principio de Arquímedes, resulta:

$$W_{esp} = \frac{W}{W_{des}}$$

Siendo W_{des} el peso de agua desalojado por el objeto sumergido. Como puede notarse, la gravedad específica es una cantidad física adimensional.

Algunas sugerencias detalladas de los puntos importantes por recordar a la hora de resolver problemas de hidrostática, los puedes escuchar en el siguiente audio.



En resumen, los puntos clave a la hora de resolver problemas de hidrostática, se muestran en el gráfico 1.2.5:

Hacer un diagrama de cuerpo libre que muestre las fuerzas que actúan sobre el objeto sumergido.

Asignar una fuerza de flotación por cada fluido que sustente al (los) objeto(s) sumergido(s).

Escribir las ecuaciones de equilibrio (o de movimiento) del sistema.

Aplicar el principio de Arquímedes $B = \rho_{flu} V_{des} g$ a cada fuerza de flotación.

Resolver para la incógnita del problema.

Si es posible, analizar la existencia de un caso límite que permita ver si nuestra solución se reduce a algún resultado conocido.

Gráfico 1.2.5 Puntos clave para resolver problemas de hidrostática.

Consulta los siguientes ejemplos resueltos sirven para ejercitar las sugerencias anteriores.

Ejemplo 1

Ejemplo 1:
Un iceberg está parcialmente sumergido en el mar, quedando visible una pequeña parte de éste. ¿Qué porcentaje del volumen total del iceberg queda bajo el agua?

Este es un problema típico de aplicación del Principio de Arquímedes que muestra las características esenciales vistas en la teoría.

SOLUCIÓN:

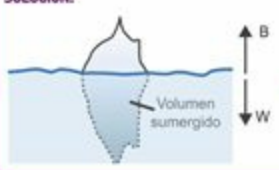


Diagrama de cuerpo libre

Si sumergimos un objeto, éste desplaza un volumen igual de fluido. Así, la fuerza neta está dada por:

$$\sum F_y = B - w = \rho_{agua} g V_{sum} - \rho_{hielo} g V_{total} = 0$$

$$V_{sum} = \frac{\rho_{hielo} V_{total}}{\rho_{agua}}$$

$$V_{sum} = 80\%_0$$

Ejemplo 2

Ejemplo 2:
Un pedazo de aluminio se suspende de una cuerda y después se sumerge en agua. La masa del aluminio es 1kg y su densidad $2.7 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$. Calcule la tensión antes y después de que se sumerge el aluminio en el fluido.

En el primer caso, el diagrama de cuerpo libre de la figura nos muestra que la tensión equilibra al peso, por lo tanto:

$$T_1 = Mg = (1\text{kg})(9.8\text{m/s}^2) = 9.8\text{N}$$

Cuando el aluminio se sumerge en el agua, aparece una fuerza de empuje hacia arriba, como se muestra en el diagrama de cuerpo libre correspondiente. La tensión en este caso es:

$$T_2 + B - Mg = 0$$

$$T_2 = Mg - B = 9.8\text{N} - B$$

Para obtener B , necesitamos conocer el volumen del aluminio:

$$V_{Al} = \frac{M}{\rho_{Al}} = \frac{1\text{kg}}{2.7 \times 10^3 \text{ kg/m}^3} = 3.7 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

Ya que la fuerza de flotación es igual al peso del agua desplazada, entonces:

$$B = M_{afl} = \rho_a V_{afl}$$

$$B = (1000\text{kg/m}^3)(3.7 \times 10^{-4} \text{ m}^3)(9.8\text{m/s}^2)$$

$$B = 3.6\text{N}$$

$$\therefore T_2 = 9.8\text{N} - B = 9.8\text{N} - 3.6\text{N} = 6.2\text{N}$$

Como era de esperarse, la tensión es menor en este caso, debido a la fuerza de flotación que actúa hacia arriba sobre el cuerpo sumergido.

Ejemplo 3

Ejemplo 3:
¿Cuántos troncos hay que atar entre sí para que tres changos puedan navegar en el río Nilo?

SOLUCIÓN:
Suponer que los troncos son cilindros iguales, con las dimensiones que abajo se indican.

Tronco de madera:	
$L = 1.80 \text{ m}$	Cada uno con una masa de 30 kg
$D = 0.30 \text{ m}$	
$\rho = 900 \text{ kg/m}^3$	

El objetivo del problema es encontrar el número de troncos que proporcionen la fuerza de empuje necesaria para mantener la balsa a flote (los troncos estarán totalmente hundidos; es decir, al ras del agua). Aplicando el Principio de Arquímedes (considerando los troncos como cilindros) y de acuerdo con la segunda ley de Newton:

$$\sum F_y = B_{agua} - mw_t - 3w_c = 0$$

Donde mw_t es el peso de los troncos [cuyo número no sabemos y debemos determinar]. Ahora, expresando los pesos en función de la densidad respectiva, obtenemos:

$$\rho_{agua} g(nV_t) - \rho_{madera} g(nV_t) - 3w_c = 0$$

V_{sum} es el volumen sumergido de los troncos (el volumen total de los troncos, ya que están al nivel del agua). Despejando:

$$n = \frac{3w_c}{(\rho_{agua} - \rho_{madera})V_t} = 6.9 \approx 7 \text{ troncos}$$

Ejemplo 4

Ejemplo 4
Una pelota esférica de goma flota en el agua, con 60% de su volumen sumergido. Si sacamos la pelota del agua y la metemos a un fluido desconocido, 60% de ella permanece fuera de éste. a) ¿Cuál de los dos fluidos es más denso?; b) calcula las densidades de la pelota y del fluido desconocido.

Agua: $\rho_{rel} = \frac{\rho_{obj}}{\rho_{agua}} = \frac{0.6V}{V} = 0.6$

Fluido desconocido: $\rho_{rel2} = \frac{\rho_{obj}}{\rho_{fluido}} = \frac{0.4V}{V} = 0.4$

Ya que $\rho_{rel1} > \rho_{rel2}$, entonces el fluido desconocido es más denso que el agua.

b) A partir de estas densidades relativas, podemos calcular las densidades del objeto de goma, así como del fluido desconocido:

$$\rho_{rel} = \frac{\rho_{obj}}{\rho_{agua}} = \frac{0.6V}{V} = 0.6 \quad \cdot \quad \rho_{obj} = 0.6\rho_{agua} = 600 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{rel2} = \frac{\rho_{obj}}{\rho_{fluido}} = \frac{0.4V}{V} = 0.4 \quad \cdot \quad \rho_{fluido} = \frac{\rho_{obj}}{0.4} = 1500 \text{ kg/m}^3$$

Ejemplo Arquímedes.

PARA SABER MÁS

Los viajes en globo siempre han sido fascinantes. ¿Cómo se mantienen éstos en equilibrio? Si quisiéramos abrir un negocio referente a paseos en globo aerostático ¿qué consideraciones debemos de tomar en cuenta? Reflexione al menos 5 ideas importantes.

Sugerencias sobre algunas posibles consideraciones:

- » Hay que tomar en cuenta el peso de la canasta y de las personas que van a subir para saber qué fuerza es necesaria para equilibrar este peso.
- » Es recomendable que los viajes en globo se hagan en las primeras horas del amanecer, cuando no hay tanta corriente de aire, para que se tenga mayor control del globo.
- » Periódicamente hay que revisar que el globo no presente rajaduras considerables. De lo contrario, el aire caliente se saldrá por ellas.
- » ¿Por qué el globo se debe llenar con aire caliente y no frío?
- » ¿Cuál es el costo promedio del mantenimiento del globo?
- » ¿Existen Centros de Entrenamiento en México para los dueños de globos aerostáticos?
- » ¿Qué medidas de seguridad hay que tomar en cuenta?

Conclusión del capítulo 1

En este capítulo se ha estudiado de manera general la estática de fluidos, haciendo uso del Principio de Pascal y del Principio de Arquímedes. Como se ha visto, las aplicaciones de estos dos principios son, además de interesantes, inmensas y muy útiles en la vida diaria. El mundo no sería como lo conocemos, si no domináramos el concepto de flotación.

Ecuaciones importantes del capítulo 1

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Densidad volumétrica

$$\sigma = \frac{m}{A}$$

Densidad superficial

$$\lambda = \frac{m}{L}$$

Densidad lineal

$$P = \frac{F}{A}$$

Presión

$$P = P_{atm} + \rho gh$$
 Variación de presión como función de "y"

$$B = \rho gV$$

Fuerza de flotación

Actividades del capítulo 1

[Ejercicio integrador del capítulo 1](#)

[Actividad de repaso del capítulo 1](#)

Recursos del capítulo 1



» Experimento simple que concierne la flotabilidad en un líquido
[Buoyant Force in Liquids](#)

- » Página con Ejemplos y simulaciones en línea
[Physics Teaching with the power of media](#)
- » Simulador en línea de la presión hidrostática de un líquido medida por un manómetro.
[Hydrostatic Pressure in Liquids](#)
- » Actividades
[Ejercicios](#)
[Para saber más](#)

Capítulo 2. Dinámica de Fluidos



Introducción

En el capítulo anterior estudiamos las propiedades de los fluidos en reposo. Sin embargo, en la naturaleza existen muchas situaciones donde observamos fluidos en movimiento, cuando vemos el fluir de un arroyo en un parque o cuando sentimos el aire del viento sobre nuestro cuerpo.

También observamos en las imágenes de los noticieros que en los huracanes y en los tornados, el aire se mueve en trayectorias espirales, transportando gran cantidad de energía. Cuando nos lavamos la cara en un lavabo lleno de agua y quitamos el tapón también observamos cómo el agua se escapa en remolinos. Asimismo, cuando alguien fuma, el humo sigue trayectorias caprichosas, dependiendo de cómo lo empuja el aire a su alrededor.

Por lo tanto, en este capítulo estaremos interesados en describir las propiedades de los fluidos en movimiento. Para ello en esta sección definiremos las características de un fluido ideal.

Cuando se desea diseñar perfiles aerodinámicos en autos, aviones o lanchas resulta de gran ayuda el uso de túneles de viento para poder “visualizar” el desempeño del móvil ante el viento. Además de la gran uniformidad en el desplazamiento del aire, notamos que hay zonas donde el aire realiza torbellinos, se estanca y la densidad del mismo cambia. A este fenómeno se le