

FÍSICA DEL DESORDEN

MATERIALES DIDÁCTICOS



Universidad de Chile



Anillo project, ACT127



Departamento de Física
Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas,
Universidad de Chile, Santiago, Chile



Universidad de Chile



Anillo project, ACT127



Material didáctico elaborado en el marco del proyecto “Dinámica de medios heterogéneos y desordenados”, Conicyt ACT-127.

Éste y todos los materiales didácticos disponibles en el sitio web pueden ser distribuidos y copiados libremente con la condición de que se guarde su integridad y se indique su autoría.

Se invita a los profesores a inscribirse en la página web de manera de recibir anuncios de nuevos materiales didácticos y capacitaciones.

Responsables de proyecto:

Académicos Nicolás Mujica y Rodrigo Soto

Departamento de Física

Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas

Universidad de Chile

Autora de los guías y preparación de las experiencias:

Profesora Nieves Gómez

Nombre

.....

Institución

.....

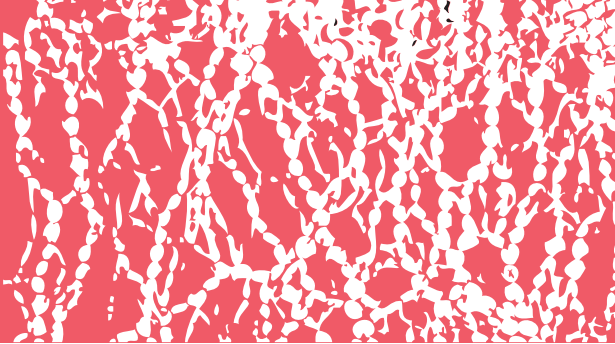
.....

.....

.....

.....

.....



Guía del Profesor

Experimento: Descarga de Silos

Área:	Física
Tema:	Descarga de Silos de Arena y Agua.
Nivel:	Tercero Medio.
OFT:	Entender aspectos del comportamiento de los fluidos y analizar la expresión de estos principios en fenómenos cotidianos.
Objetivo de la Clase:	Comparar y analizar la velocidad de descarga de dos silos: uno relleno de arena y otro de agua.

INTRODUCCIÓN

Un silo es una estructura cilíndrica que se asemeja a una torre y su función, esencialmente, es de almacenamiento. En agricultura se utilizan para almacenar granos, pero también tienen otros usos industriales, como depósitos de madera, cemento, etc.

En esta experiencia utilizaremos tubos de acrílico como silos y los rellenaremos con arena y agua para estudiar el proceso de descarga de éstos, midiendo como varía la altura de la columna de arena o de agua, según corresponda, en función del tiempo. La idea es observar lo que sucede con la velocidad de descarga del silo, que como sabemos tiene relación con la presión en la base, pero justamente es aquí donde hay una diferencia fundamental entre el agua y la arena: mientras en el agua la presión aumenta con la altura, en el caso de la arena la presión es constante.



MATERIALES

- 5 tubos de acrílico de diámetro interior 5,08 [cm] y largo 60 [cm]
- 5 tapas para pvc de 2 pulgadas de diámetro
- 1 Plumón permanente
- 1 Huincha de medir
- 1 Cronómetro
- 1 [kg] Arena
- 2 [lt] Agua

CONSTRUCCIÓN

1. Realizar perforaciones circulares en cada una de las tapas de pvc, como se indica en la figura 1.



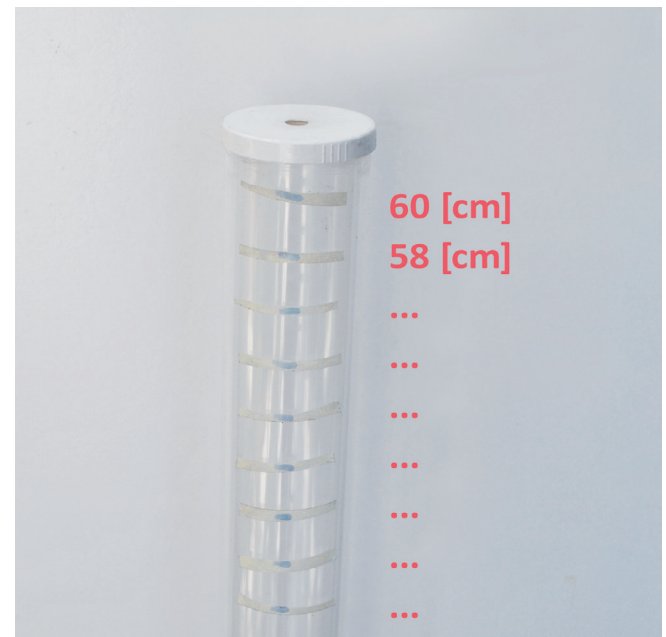
Los diámetros de las perforaciones son los siguientes:

- a. Tapa 1: 0,2 [cm]*
- b. Tapa 2: 0,5 [cm]*
- c. Tapa 3: 1 [cm]*
- d. Tapa 4: 1,5 [cm]*
- e. Tapa 5: 3 [cm]*

2. Ahora se debe pegar la tapa 1 en uno de los tubos de acrílico, luego la tapa 2 en otro tubo y así sucesivamente, hasta obtener 5 tubos con salidas de distintos diámetros.



3. Toma uno de los tubos y con un plumón permanente, realiza marcas cada 2 [cm] a lo largo del tubo, como se indica en la figura.



4. Repite el procedimiento con los tubos restantes.

Los diámetros señalados son referenciales. Lo importante es usar valores, que al realizar la descarga de agua, permitan tomar suficientes datos, es decir, que el agua no salga demasiado rápido. De la misma manera, los diámetros que se utilizarán para la descarga de arena deben permitir que ésta fluya y no se atasque. También se debe resguardar la toma de datos, si el orificio es demasiado grande, la arena saldrá demasiado rápido.

ACTIVIDAD

PARTE A

1. Analizaremos la descarga de silos, usando arena y agua, por lo que deberás repetir los pasos que se muestran a continuación con ambos materiales.

Le recomendamos que realice la descarga de arena y luego la de agua, dado que si se mojan los tubos y luego se llenan con arena, lo más probable es que ésta se humedezca y afecte el experimento.

- Toma el tubo 1 y llénalo con arena/agua, recuerda tapar la salida para que el material no se escape.
- Destapa la salida y observa lo que sucede.
- Repite el procedimiento con los tubos restantes.

2. ¿Qué observas en la descarga de arena?

La idea es que los alumnos describan lo que ven, por ejemplo, que en algunos de los tubos la arena se “atasca” y que en otros la descarga se realiza sin problemas. También deben explicar qué hacen en el caso de un atascamiento, qué sucede al darle un golpecito.

Cuando se realiza la descarga de arena debemos considerar que en un principio la situación es similar a la de descarga del agua; es decir, la fuerza que empuja a los granos a salir, es la diferencia de presión entre el interior del silo y la presión atmosférica (más adelante se explica esto con mayor detalle), por lo tanto la velocidad de salida dependerá de esta fuerza. Sin em-

bargo, dos fenómenos que debemos considerar, provocan que el resultado final sea radicalmente diferente. Estos fenómenos son el Efecto Janssen y la formación de arcos.



EFFECTO JANSSEN

La arena es un material granular, es decir, está hecha de granos sólidos, por ende tiene una propiedad que no tienen los líquidos como el agua: el roce estático. En este caso, el roce estático permite que se pueda tener una pila de arena en equilibrio estático con su superficie inclinada como ocurre en las dunas, situación que es imposible en el agua, donde la superficie estática es siempre horizontal

Debido a esta condición es que al colocar material granulado (arena) en un silo, éste no solo se apoya en la base como ocurre con el agua, sino que gracias al roce, se apoya también sobre los bordes laterales del silo. Así, las paredes de un silo deben soportar no sólo la presión hacia afuera, sino que también deben soportar el peso de los granos que se apoyan sobre ellas.



Gentileza de Robert Cross,
Profesor adjunto en Morrisville State College en Morrisville, NY.

Las siguientes imágenes muestran silos que colapsaron debido a que no fueron capaces de soportar la fuerza que ejercen los granos sobre las paredes. Este fenómeno es mucho menos frecuente en silos que contienen agua u otro líquido.

Si tenemos un silo donde la columna de arena es de baja altura, los granos están principalmente apoyados sobre la base y la presión sí depende de la altura (como en el caso del agua); en cambio cuando la columna de granos es suficientemente grande, la presión en la base ya no depende de la altura de la columna pues todo el peso se ha distribuido a las paredes, así la presión ejercida por el arena se hace constante, y en este caso no depende de la altura.

En consecuencia la velocidad de salida de los granos no depende de la altura de la columna, y ésta baja a velocidad constante, tal como se observa en la experiencia realizada.

FORMACIÓN DE ARCOS

Otro fenómeno que afecta la descarga de un silo con arena es la formación de arcos, que está relacionada con la posición de los granos y las cadenas de fuerza que éstos forman.

La formación de arcos, nuevamente, se debe al roce estático entre los granos sólidos.

Como se sabe del tiempo de los romanos, es posible formar una estructura estable en forma de arco que soporte mucho peso. El truco consiste en que el peso se distribuye en una cadena hacia los bordes que están finalmente apoyados en el suelo o en las paredes.



Cuando un silo se descarga a través de un orificio pequeño, es posible que en la salida se forme un arco que soporte, establemente, el peso de los granos que están arriba del arco. En este caso se forma un atasco y el flujo de arena se detiene. Se sabe que la probabilidad de formación de arcos en la salida aumenta al disminuir el radio de la salida. En particular, si el radio es menor que 3 a 4 granos, siempre se formará un atasco y es cosa solamente de esperar un poco de tiempo.



El tema del “atacamiento” usted puede relacionarlo con algo tan cotidiano como es el agregar sal a una ensalada. Si el salero se pone vertical sólo cae un poco de sal pues se atasca inmediatamente, por lo tanto el

Los orificios en un salero, son diseñados de tal forma que se produzcan atascos y así no se derrame toda la sal sobre nuestras comidas



salero se debe golpear continuamente para que salga sal.

Una vez que se forma un atasco es posible volver a hacer fluir el silo agitándolo un poco de manera de remover el atasco. Esto es lo que se hace en el caso del salero o en la minería subterránea, donde mediante explosivos se remueven los atascos.

3 ¿Qué puedes decir respecto de la velocidad de la descarga de arena?

Los alumnos seguramente relacionarán el diámetro del tubo con la velocidad de la descarga. Es importante guiar a los alumnos de manera que analicen la velocidad punto a punto, que en este caso es constante, es decir que por cada tramo (de 2cm) el tiempo es aproximadamente el mismo.

4. ¿Qué observas en la descarga de agua?

Al igual que en el caso de la arena, la idea es que los alumnos describan lo que observan, por ejemplo lo que sucede cuando cambian de tubo, a mayor diámetro, mayor velocidad, etc.

5. ¿Qué puedes decir respecto de la velocidad de la descarga de agua?

Es importante que en esta parte los alumnos estén especialmente atentos, ya que deben notar que la velocidad de descarga disminuye a medida que el nivel de agua va bajando. Esta característica se observa con mayor claridad en los tubos con salidas de menor

diámetro (tubos 1, 2 y 3) ya que la descarga es en sí más lenta.

Es recomendable que usted les recuerde a sus alumnos que cuando tenemos agua en un recipiente, en la base de éste, el fluido ejerce una presión proporcional a la altura de la columna, como lo indica la *Ley de Pascal*:

$$P_B = P_0 + \rho gh$$

Donde:

P_B : Presión en la base

P_0 : Presión atmosférica

ρ : densidad del fluido (en este caso del agua)

g : aceleración de gravedad

h : Altura de la columna

Usted puede relacionar la explicación de esta ley con las leyes de Newton estudiadas en años anteriores y así enlazar los contenidos, de la siguiente manera:

Sabemos que:

La densidad volumétrica de un fluido está dada por: $\rho = M/V$, luego la masa es igual a: $M = \rho V$

Si suponemos que el área de la base de nuestra columna es A y la altura h , entonces el volumen es igual a $V = Ah$

De esta manera tenemos que la masa total de agua es $M = \rho Ah$ y su peso $W = Mg = \rho Ahg$

Este peso debe ser soportado por la base del recipiente ejerciendo una fuerza igual a W . Por otro lado sa-

bemos que la presión sobre la base es igual a la fuerza dividida por el área, por lo tanto: $P = W/A = \rho gh$

Luego considerando la presión atmosférica se obtiene el resultado conocido como La Ley de Pascal: $P_B = P_0 + \rho gh$

Finalmente cuando realizamos la descarga del silo, la fuerza provoca que el agua salga por el orificio inferior es la diferencia entre la presión en la base y la presión atmosférica que hay afuera y sabemos además que esta fuerza es proporcional a la altura de la base, en consecuencia la velocidad con que sale el agua depende de la altura, haciéndose más pequeña a medida que la altura disminuye. Cuando se consideran estos efectos, se encuentra la llamada *ley de Torricelli*, la que nos indica que la velocidad de salida está dada por la expresión:

$$V_{\text{salida}} = \sqrt{2gh}$$

6. ¿Existe alguna diferencia y/o similitud entre las descargas? Explica

Los alumnos deben profundizar en esta parte, la idea es que puedan crear una hipótesis a partir de sus observaciones. Se espera que puedan conjeturar que el agua se desplaza más lento que la arena a medida que el nivel disminuye.

A diferencia de la arena, el agua se ve afectada por la presión atmosférica, es decir a menor altura, menor presión, lo que hace que la velocidad de descarga disminuya.

PARTE B

1. Toma el tubo nº3 (diámetro salida: 1 [cm]) y llénalo con arena. Luego con un cronómetro mide el tiempo que demora la arena en pasar por cada marca del tubo. Registra tus datos en la siguiente tabla:

Señálele a sus alumnos que los celulares de hoy en día cuentan con modernos cronómetros que permiten tomar el tiempo que tarda la descarga en recorrer cada segmento de 2[cm] en forma inmediata. También existe la posibilidad que graben la descarga y luego revisen la grabación para registrar los tiempos.

2. Ahora, usando el tubo nº2, repite el mismo procedimiento pero esta vez utiliza agua.

3. Realiza un gráfico de la altura en función del tiempo para cada una de las tablas.

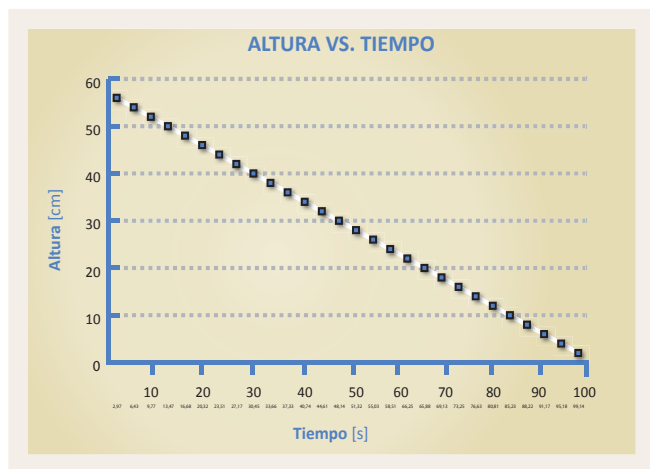


Gráfico 2: Descarga de Silo de Agua

a ¿Qué forma tiene el gráfico?

Se espera que los alumnos afirmen que es una línea recta.

Usa tres pares de puntos y calcula tres valores para la pendiente de la recta.

Los alumnos deben calcular 3 valores para la pendiente y así confirmar que el gráfico representa una recta, al obtener tres valores iguales.

b ¿Qué puedes decir de los valores calculados para la pendiente?

Los valores deben ser iguales.

c ¿Con qué magnitud podemos relacionar la pendiente?

La idea es que los alumnos relacionen la pendiente de la recta con la velocidad de descarga. En este caso como la forma del gráfico es una recta, la pendiente será la misma, es decir, la velocidad es constante durante la descarga de arena.

Además usted puede explicar este gráfico, argumentando que las variaciones de altura y tiempo son directamente proporcionales, por lo tanto, su cociente será constante; así la velocidad es constante.

$$v = h/t$$

Donde v es la velocidad,
 h la altura y t el tiempo.

Es importante señalar a los alumnos, que en este caso, la velocidad es negativa, es decir, “que va hacia abajo”.

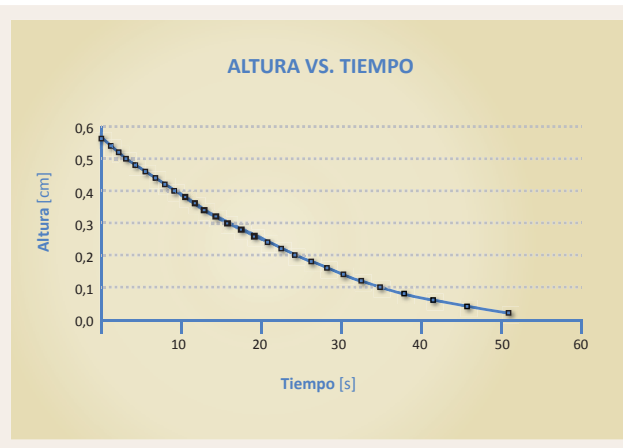


Gráfico 2: Descarga de Silo de Agua

a. ¿Qué forma tiene el gráfico?

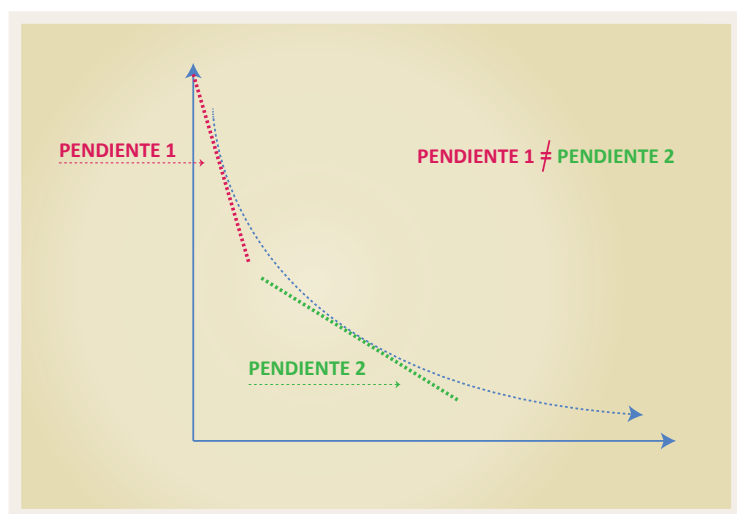
Una curva descendente

b. Usando tres pares de puntos calcula la pendiente de la recta.

La idea es evidenciar que la pendiente no es la misma

c. ¿Qué puedes decir de los valores calculados para la pendiente?

Son distintos, por lo tanto la gráfica no es una recta.

**d. ¿Con qué magnitud podemos relacionar la pendiente?**

Al igual que en el caso anterior estamos relacionando distancias con tiempo, por lo tanto, se espera que los alumnos relacionen “la pendiente de la curva” con la velocidad de descarga. De esta forma deberían identificar que la velocidad de salida del agua disminuye a medida que pasa el tiempo.

En el caso del agua, debemos considerar la presión atmosférica, variable responsable de que el agua disminuya su velocidad de salida; pues recordemos que a menor altura la presión disminuye; en consecuencia la descarga del silo es más lenta.

4. Escribe a continuación tus conclusiones, luego de comparar los gráficos y las respuestas que obtuviste en cada caso.

En esta parte se espera que los alumnos puedan explicar, con sus palabras, lo que se ha comentado anteriormente. Es importante que se realice un plenario para discutir las conclusiones, corregir posibles errores y además fortalecer aquellas ideas más débiles.

