

Resumen y objetivos

En esta sesión se estudiará la respuesta mecánica de una placa inclinada al impacto de una lluvia de garbanzos. En particular, se busca verificar la validez del modelo descrito en el *Material Teórico*, en el cual se predice que la fuerza de la superficie sobre el *pulso*¹ de garbanzos es

$$\vec{F}_{col} = (4\rho A_{\perp} g h) \cos \phi \hat{n} .$$

Para ello se hará caer una carga de garbanzos en forma vertical, se medirá la tensión del cordel que soporta el plano inclinado y se cuantificará la interacción (fuerza) entre el chorro y la superficie donde ocurren los impactos. Con esto se espera que:

- Se identifique la fuerza de un sistema disgregado como transferencia de momentum de sus constituyentes.
- Se reconozca el valor de la *fuerza media* (F_m) como cantidad física para caracterizar estos sistemas.
- Se reconozca el origen microscópico del fenómeno y su manifestación en cantidades macroscópicas medibles.
- Se valore la utilidad de definir valores medios de cantidades físicas fluctuantes.
- Se reconozca el significado de la presión como fuerza media distribuida en una superficie.

Materiales

- Placa plana rectangular;
- Soporte universal;
- Hilo (1 m);
- Caja plástica de contención;
- Sensor de fuerzas;
- Transportador;
- Huincha de medir;
- Plomada;
- Tubo (15 cm);
- Un puñado de garbanzos; y
- Programa MATLAB *Media.m* (disponible en página web del curso)

¹Entendemos por *pulso* al chorro de extensión longitudinal acotada. La duración de ellos es corta en relación a las escalas de tiempos características de las cantidades físicas a analizar.

Conocimientos indispensables

- Manejo del programa *SignalExpress* para la obtención de datos del sensor de fuerzas.
- Operación del programa *Media.m* en modo consola.

Focalización de actividades

En esta práctica se llevarán a cabo dos experiencias. La Experiencia 1 consiste en estudiar la dependencia de la fuerza media con la rapidez de impacto (altura de caída). En la Experiencia 2 se investiga la dependencia de la fuerza media con el ángulo de impacto (inclinación de la placa). De acuerdo con la predicción teórica (revisar *Material Teórico*), el comportamiento de el incremento de la tensión ($T - T_o$) por la lluvia de garbanzos estaría dada por

$$(T - T_o) = Bh ,$$

donde

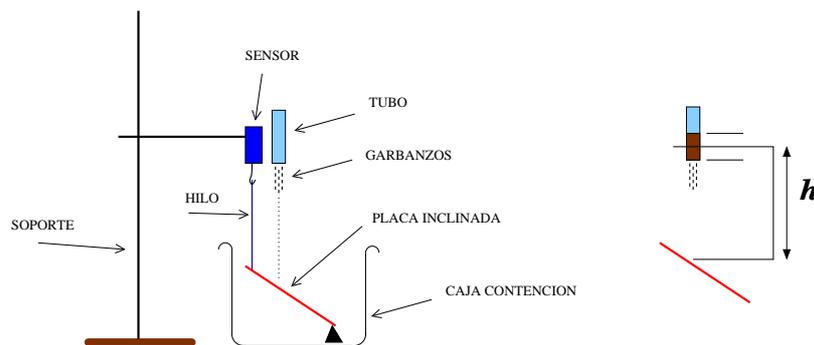
$$B = \frac{8\rho A_{\perp}g}{3} .$$

De acuerdo a esto se espera que el incremento $T - T_o$ crezca linealmente con la altura h y sea independiente del ángulo ϕ . Se examina en esta sesión el grado de validez de este comportamiento y además se busca una estimación de la constante B .

A fin de reducir la carga horaria de esta sesión, quienes estén en los mesones A, B, C, D y J se encargarán de la Experiencia 1, mientras que quienes se ubiquen en los mesones E, F, G, H e I, se encargarán de la Experiencia 2.

Disposición experimental

Disponga el soporte universal sobre el mesón de trabajo adaptando el sensor de fuerzas en el extremo de la barra horizontal (ver figura). Del sensor cuelga un extremo de la placa inclinada mediante un hilo vertical (¡verifíquelo!). La placa debe estar dentro de la caja de contención a fin de evitar la salida de garbanzos. NOTE QUE LOS GARBANZOS EN EL PISO SON UN FACTOR DE RIESGO.



En la Experiencia 1 se medirán las fuerzas medias para caídas desde {20 cm, 30 cm, 40 cm, 50 cm}; todas ellas a un ángulo fijo entre 35° y 50° de inclinación. Cada grupo escogerá (e informará) el valor que le parezca. Para cada una de estas alturas se harán 2 mediciones y se calculará el promedio de ellas.

En la Experiencia 2 se medirán las fuerzas medias para inclinaciones de $\{35^\circ, 45^\circ, 55^\circ\}$; todas ellas a una altura cercana a 40 cm (que debe ser reportada). Para cada uno de estos ángulos se harán 2 mediciones y se calculará el promedio de ellas.

Procedimiento

1. Ajuste y mida la inclinación de la placa;
2. Verifique que el hilo que sostiene la placa está **vertical**;
3. Cargue el tubo con 5 cm de garbanzos;
4. Ubíquelo en forma vertical sobre la marca;
5. Active el sensor de fuerzas y haga caer los garbanzos. Cerciórese que han impactado la placa en el lugar correcto, ubicado en la tercera parte ($L/3$) desde su extremo superior;
6. Exporte el registro de mediciones a un archivo ASCII (texto). Dele al archivo un nombre con caracteres alfanuméricos sin espacios entre ellos;
7. Ejecute el programa *Media.m* y obtenga el valor medio de la fuerza. Deseche y repita la medición si la fuerza en función del tiempo resulta demasiado ruidosa;
8. Registre las mediciones en su cuaderno de apuntes.
9.
 - Para la tabulación de los datos se sugiere la estructura siguiente (datos inventados):

Archivo	h [m]	ϕ [deg]	F_m [N]	Promedio [N]
h20q30A	40	30	1,33	1,29
h20q30B	40	30	1,25	
h20q50A	40	50	1,13	1.14
h20q50B	40	50	1,15	

- Grafique los valores promedios de F_m en función de la altura h (Experiencia 1), o del ángulo de inclinación ϕ (Experiencia 2).

Divertimento: Análisis de la constante B

Sea Δ una cantidad con dimensiones de longitud, entonces

$$B \Delta = \frac{8}{3} (\rho A_{\perp} \Delta) g .$$

La cantidad entre paréntesis tiene dimensiones de densidad \times volumen = masa. En particular, si Δ fuese la extensión longitudinal (aproximada) del pulso de garbanzos y ρ fuese más o menos uniforme, entonces $(\rho A_{\perp} \Delta)$ corresponderá a la masa M de todos los garbanzos. Así entonces,

$$\Delta = \frac{8Mg}{B} .$$

La determinación experimental de B permite inferir la extensión aproximada del pulso de garbanzos.

El informe

Para que el informe se considere completo este debe incluir

1. Tabulación de los datos de los valores medios de la fuerza en función de la altura o ángulo, según corresponda. Representar estos datos gráficamente. Tanto la tabla como el gráfico puede ser anexados en hojas separadas (CORCHETEADAS AL INFORME). Puede usar papel milimetrado.
2. El valor inferido de la constante B y una estimación de la extensión Δ del pulso.
3. Una explicación tentativa de las posibles discrepancias que se pudieran observar en el comportamiento de la fuerza en función de la variable considerada.
4. Indicar al menos dos (2) fuentes de errores en este experimento, sugiriendo como corregirlas.
5. Proponer al menos una (1) vía para mejorar el modelo colisional presentado.
6. Además de las conclusiones de su práctica, deben incluir una conclusión de la práctica que no hicieron, citando² (identificando los apellidos de los autores) al grupo del cual obtuvieron la información.

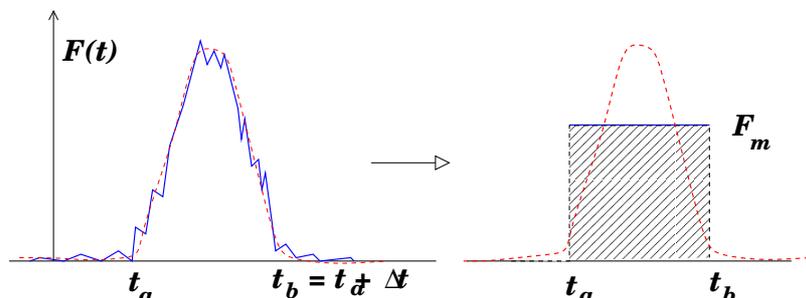
No olvide:

- Rotular debidamente sus gráficos;
- Expresar las cantidades físicas con sus unidades correspondientes;
- Asesorarse en dilemas ortográficos.

²Es siempre pertinente citar los autores de trabajos no realizados por uno.

APENDICE A: Impulso y fuerza media

En el caso de fuerzas dependientes del tiempo y de corta duración, resulta particularmente útil introducir la noción de *fuerza media*. En la figura de más abajo se ilustra una fuerza variable en el tiempo, comenzando en t_a y terminando en t_b .



Para simplificar ideas supongamos que en este intervalo se identifican N valores de la fuerza en instantes uniformemente espaciados ($\delta t_i = \delta t$), entonces definimos la fuerza media como:

$$\sum_{i=1}^N F_m \delta t_i = \sum_{i=1}^N F_i \delta t_i \Rightarrow F_m = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N F_i .$$

El significado geométrico detrás de esta definición es que el área bajo la curva $F(t)$ vs t , entre t_a y t_b , es igual a la de F_m en el mismo intervalo.

Recordando que la suma de variaciones consecutivas es igual a la variación total:

$$\sum_i \delta p_i = \Delta p = p_b - p_a ,$$

y recurriendo a la Segunda Ley de Newton:

$$F_i \delta t_i = \delta p_i \Rightarrow \sum_i F_i \delta t_i = \sum_i \delta p_i = \Delta p ,$$

obtenemos

$$\Delta p = F_m \Delta t .$$

Aquí hemos identificado $\Delta t = \sum_i \delta t_i = (t_1 - t_0) + (t_2 - t_1) + \dots + (t_N - t_{N-1}) = t_b - t_a$.

A la cantidad $J \equiv \sum_i F_i \delta t_i$ se le denomina *impulso*, que en el contexto de la Segunda Ley de Newton resulta igual al cambio de momentum. Entonces,

$$J = F_m \Delta t = \Delta p ,$$

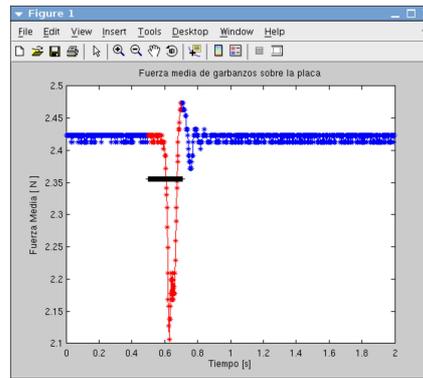
APENDICE B: Cálculo de F_m con MATLAB

Supongamos que se ha realizado una medición de fuerza en función del tiempo, la cual se guarda en un archivo de texto a dos columnas. El nombre del archivo es `colisionH45b.txt`, donde la primera columna registra el tiempo y la segunda una señal (puede ser una fuerza o voltaje). El programa `Media.m` permite, en forma interactiva, calcular el valor medio de una señal en un intervalo especificado. En modo de consola se invoca

```
>> Media('colisionH45b.txt',250,105)
```

El primer argumento va entre comillas y es para identificar el archivo a procesar. El segundo argumento es el índice correspondiente a t_a , mientras que el tercero especifica el número de puntos a considerar posterior a t_a .

Al invocar *Media.m* con los argumentos señalados se genera una figura como la siguiente



En ella se ve claramente que hay que aumentar el segundo argumento, por ejemplo 250 \rightarrow 280. Además, hay que achicar el tercer argumento 105 \rightarrow 85. Lo anterior a fin de tomar el promedio en la región en que la señal es prominente, que debe coincidir con la curva roja.

Note que en esta figura, al lado derecho se observa una oscilación amortiguada. Lo más probable es que se trate de oscilaciones de la placa luego de la caída de los garbanzos. Esa parte no cuenta para el promedio.

Se muestra a continuación la ejecución y output³ correspondiente de *Media.m*

```
>> Media('colisionH45b.txt',250,105)
```

```
FACTOR DE CONVERSION : 1.000 N/V (modifique en Media.m si es necesario)
```

```
Durac: 0.210 s
```

```
Fondo: 2.421 N
```

```
Media: 2.355 N
```

```
FzaMedia: 0.066 N
```

³La palabra *output* aparece en el Diccionario de la Real Academia de la Lengua Española: <http://www.rae.es/>