

## TRABAJO PRÁCTICO EXPERIMENTAL N° 2

### 1. Tema: Cinemática y Dinámica

En este TPE trabajaremos con el movimiento rectilíneo uniformemente variado de un cuerpo que se desliza sobre un sistema de rodamientos en un plano inclinado al cual le iremos cambiando la pendiente. A partir del registro de la posición instantánea del móvil para muchos tiempos, construiremos las funciones de movimiento para cada caso. A partir de la determinación de la aceleración para la caída en cada pendiente, intentaremos averiguar la relación entre esas dos variables (aceleración y pendiente). Los registros permitirán también conocer la energía cinética y potencial del móvil en diferentes puntos durante la caída y podremos evaluar el principio de conservación de la energía mecánica. Aplicaremos, en todo momento, lo aprendido en el TPE 1 sobre las mediciones en el laboratorio.

### 2. Objetivos

Los objetivos de este trabajo práctico son: obtener las funciones de movimiento de un móvil que recorre un plano inclinado, determinar cómo varía la aceleración del móvil en función de la pendiente del plano inclinado y corroborar experimentalmente la conservación de la energía mecánica a lo largo del descenso por el plano inclinado.

### 3. Consideraciones Teóricas

#### 3.1. Con respecto a la unidad de cinemática

Un cuerpo que se desliza sobre un plano inclinado, siempre que el rozamiento sea despreciable, experimenta una aceleración que responde a la expresión:

$$a = g \operatorname{sen} \alpha \quad (1)$$

donde "g" es la aceleración de la gravedad y "α" el ángulo que forma el plano inclinado con la horizontal. Esta expresión fue deducida experimentalmente por Galileo y luego se confirmó totalmente con las formulaciones de Newton.

La Figura 1 muestra un esquema representativo de la caída de un móvil en un plano inclinado. Si el rozamiento es despreciable, el cuerpo se mueve con aceleración constante durante su caída (una determinada aceleración para cada ángulo α) por lo tanto son aplicables las fórmulas del MRUV. Para medir la aceleración que experimenta el cuerpo durante la caída, se puede utilizar la función posición:

$$x = x_0 + v_0(t - t_0) + \frac{1}{2} a(t - t_0)^2 \quad (2)$$

en la cual "x<sub>0</sub>" es la posición y "v<sub>0</sub>" la velocidad que el cuerpo posee en el instante de tiempo t<sub>0</sub> = 0 s. Suponiendo que parte del estado de reposo (v<sub>0</sub> = 0 m/s) en t<sub>0</sub>, y que llamamos "t<sub>1</sub>" al instante de tiempo en el cuál el móvil pasa por "x<sub>1</sub>", la expresión (2) se transforma en:

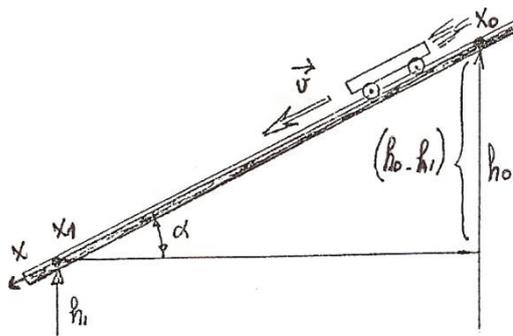


Figura 1. Dibujo esquemático de un carrito que cae en un plano inclinado.

$$x_1 = x_0 + \frac{1}{2} a (t_1 - t_0)^2$$

Por su parte, para la aceleración se obtiene:

$$a = \frac{2(x_1 - x_0)}{(t_1 - t_0)^2} \quad (3)$$

expresión que nos permite calcular experimentalmente la aceleración "a" del carrito para un cuerpo que se desplaza por un plano inclinado, midiendo el tiempo de caída de un móvil entre las posiciones "x<sub>0</sub>" y "x<sub>1</sub>" indicadas.

Ahora bien, si disponemos de instrumentos de precisión que pueden medir el instante de tiempo en el cual el carrito pasa por una determinada posición y si esas mediciones difieren en intervalos de tiempo pequeños, podemos calcular la velocidad en distintos puntos con la expresión que sigue:

$$v_i = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{(x_f - x_i)}{(t_f - t_i)} \quad (4)$$

dónde las posiciones "inicial" y "final" serán dos cualesquiera que consideremos de toda la información que nos provee el instrumento de precisión. Esta velocidad "media" (debido a que toma información entre dos puntos separados por el intervalo Δt) puede considerarse instantánea o casi instantánea si hacemos Δt muy pequeño. Así podemos calcular varios valores de velocidad.

Luego, tomando dos valores de velocidad consecutivos, podemos calcular el valor de aceleración medio entre los instantes de tiempo a los cuales corresponden los valores de velocidad. Los valores de aceleración los podemos calcular con la expresión que sigue, con el mismo criterio para considera a una velocidad como inicial y a otra como final:

$$a_i = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{(v_f - v_i)}{(t_f - t_i)} \quad (5)$$

Este valor de aceleración, así calculado, corresponde a un valor medio entre los instantes "inicial" y "final". También en este caso, acercando el instante que consideramos final "t<sub>f</sub>" al inicial "t<sub>i</sub>", podemos considerar al valor de aceleración como instantánea o casi instantánea.

Con los errores absolutos asociados a los valores de posición y tiempo, aplicando la teoría de propagación de las incertezas pueden obtenerse los errores asociados a los valores calculados de velocidad y de aceleración. Por ejemplo, para la velocidad resulta:

$$\frac{\Delta v}{v} = \frac{2\Delta x}{(x_f - x_i)} + \frac{2\Delta t}{(t_f - t_i)} \quad (6)$$

dónde se denomina Δx al error asociado al valor de "x" y se ha considerado Δx<sub>f</sub> = Δx<sub>i</sub> = Δx. Lo mismo vale para Δt.

Para la aceleración se obtiene

$$\frac{\Delta a}{a} = \frac{2\Delta v}{(v_f - v_i)} + \frac{2\Delta t}{(t_f - t_i)} \quad (7)$$

dónde se denomina Δv al error asociado al valor de "v" y se ha considerado Δv<sub>f</sub> = Δv<sub>i</sub> = Δv. Lo mismo vale para Δt.

### 3.2. Con respecto a la unidad de dinámica

El principio de la conservación de la energía, aplicable a los sistemas que no pierden energía mientras transcurren los movimientos, establece: "**la energía no puede ser creada ni destruida**". Cuando nos referimos a energía mecánica traducimos este principio en "la energía mecánica inicial ( $E_0$ ) debe ser igual a la energía mecánica final ( $E_f$ ), por lo tanto es una constante". Dicha energía mecánica es igual a la suma de la energía potencial ( $E_p$ ) y cinética ( $E_c$ ) en el punto considerado. Dado que no se especifica la posición del carrito a la que denominamos final, ésta puede ser cualquiera. Por ejemplo, la posición que indicamos con  $x_1$  en la Figura 2. Cualquier otra sobre la pista, será equivalente a  $x_1$  en relación a todo lo que sigue. Resumiendo, la energía mecánica total del carrito deberá mantenerse constante (el mismo valor) en todos los puntos de la pista, mientras transcurre la caída del carrito.

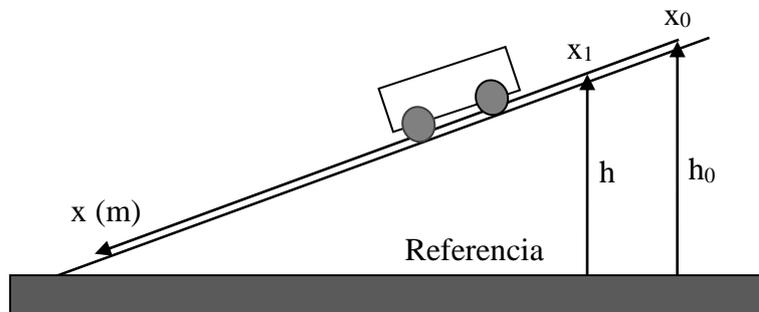


Figura 2. Plano inclinado del laboratorio.

Por ejemplo, entre las posiciones caracterizadas con  $x_0$  y  $x_1$ , se cumple

$$E_0 = E_1 \quad (8)$$

Considerando que la energía mecánica total de un cuerpo es la suma de su energía potencial con su energía cinética en dicho punto, resulta

$$E_{c0} + E_{p0} = E_{c1} + E_{p1} \quad (9)$$

Reemplazando en (9) por las expresiones correspondientes de energía potencial y de energía cinética, se obtiene

$$mgh_0 + \frac{1}{2}mv_0^2 = mgh_1 + \frac{1}{2}mv_1^2 \quad (10)$$

La expresión (10) indica que conociendo la altura "h" de distintas posiciones de la pista y la velocidad del carrito cuando pasa por dicha posición, puede calcularse en cada punto el valor de energía potencial y de energía cinética y, en consecuencia, el valor de la energía mecánica total del cuerpo. Comparando estos valores de energía mecánica total en los distintos puntos, puede analizarse si se cumple el principio de conservación de la energía mecánica.

## 4. Equipo

- 1 pista (plano inclinado)
- 1 cinta métrica
- 1 PASCO Airlink. Instrumento que registra datos de tiempo y posición
- 1 carrito
- 1 sensor de posición ultrasónico
- 1 celular con la aplicación SPARKvue
- 1 balanza

### 4.1. Equipo de recolección de datos

Antes de detallar el procedimiento, debemos familiarizarnos con el equipamiento hasta ahora desconocido, el PASCO Airlink.

#### 4.1.1. ¿Qué es el Airlink?

El instrumento PASCO Airlink se presenta en la Figura 3. El Airlink es un equipo de adquisición de datos, que puede analizar los datos recogidos y enviarlos mediante conexión Bluetooth o cableada a un celular, Tablet o computadora con la que se encuentre conectado. Para poder establecer la conexión es necesario contar con la aplicación SPARKvue (disponible de forma gratuita para teléfonos Android o IOS). El aplicativo permite realizar representaciones gráficas, visualizar la tabla de datos, ver información en tiempo real, etc., y fue diseñado para estudiantes y educadores de ciencias. La adquisición y registro de datos es realizada para determinados instantes de tiempo, de manera automática y de acuerdo a como se programe la frecuencia de recolección de datos. El Airlink admite diferentes sensores PASPORT, elementos sensibles a distintas magnitudes físicas (por ejemplo presión, temperatura, intensidad de corriente eléctrica, distancia, etc.) que producen una señal eléctrica, que el Airlink puede “entender” y en consecuencia procesar. Resumiendo, puede entregar datos de las magnitudes para la cual se haya conectado el sensor adecuado en distintos instantes de tiempo. Por ejemplo, si conectamos al Airlink un detector de temperatura, el instrumento mostrará en su pantalla una tabla de datos o en una representación gráfica, con los distintos pares ordenados “temperatura vs tiempo”, sobre los cuales puede realizar un análisis estadístico.



Figura 3. Conector Bluetooth PASCO Airlink

#### 4.1.2. ¿Cómo utilizaremos el Airlink?

En este TPE utilizaremos el Airlink con un sensor ultrasónico de posiciones. Se trabajará con una pista de movimiento como la que muestra la Figura 4, la cual tendrá una cierta inclinación. Por la misma se dejará caer un carrito. A lo largo de la pista, en uno de sus laterales, hay una cinta métrica fija que permite ubicar visualmente la posición del carrito, y en uno de sus extremos estará el sensor de posición que se ilustra en la Figura 5.



Figura 4. Pista (plano inclinado) y accesorios.

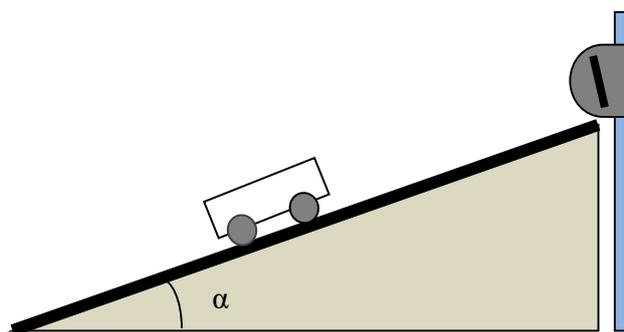
El sensor de posición, opera con una señal de ultrasonido (mayor que la frecuencia audible) y por un sistema similar a la de un radar. Emite un pulso ultrasónico, y mide el tiempo que tarda desde que dicho pulso sale del sensor hasta que regresa al mismo luego de haber rebotado en algún objeto. Con este dato del tiempo y el valor de la velocidad del sonido, el aparato calcula automáticamente la distancia a la cual se encuentra el objeto.



Figura 5. Foto de un sensor ultrasónico de posición.

Este sensor, en un extremo de la pista, tendrá su emisor-detector apuntando hacia el carrito y a través de un cable enviará la información al Airlink.

Esquemáticamente, la situación se ilustra en la Figura 6. En ella se observa, en el extremo derecho, el sensor de movimiento, la pista o plano inclinado y el carrito que cae. Si bien el Airlink tiene programadas distintas funciones, y las variables pueden ser registradas de distinta manera, se ha de configurar el instrumento de manera que tome 50 datos por segundo, y como explicaremos a continuación, se tomará como referencia un punto del carrito para medir su posición en la cinta métrica de la pista, de manera que esta lectura coincida con la del Airlink.



**Figura 6.** Esquema del montaje que utilizará durante la práctica experimental.

## 5. Procedimiento

### 5.1. Determinación de la pendiente del plano inclinado

- Monte la pista de manera que forme un plano inclinado usando el soporte adecuadamente. Identifique dos puntos extremos en la cinta métrica de la pista (" $x_0$ " y " $x_1$ "), tal como lo indica la Figura 1, y registre los valores con su incertidumbre. Utilice una cinta métrica para medir las alturas  $h_0$  y  $h_1$ , de los puntos " $x_0$ " y " $x_1$ ", registre dichas alturas con sus incertidumbres. Para expresar la pendiente del plano usaremos la función seno, es decir que no expresaremos el ángulo, sino su seno; seguido de la incertidumbre del seno:

$$\text{sen}(\alpha) = \frac{(h_0 - h_1)}{(x_1 - x_0)} \quad (11)$$

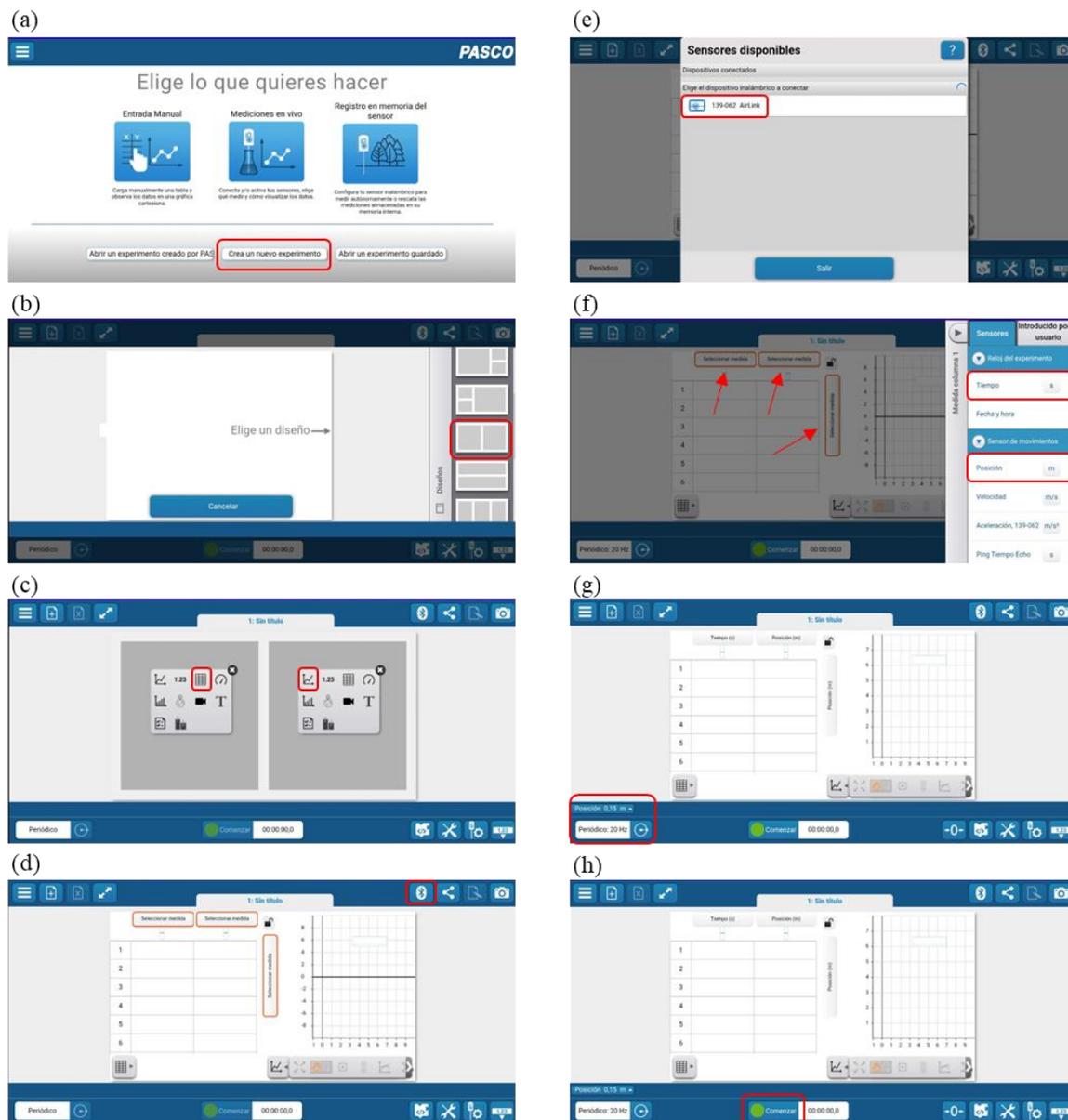
- El error  $\Delta \text{sen } \alpha$  resultará de calcular

$$\frac{\Delta(\text{sen } \alpha)}{\text{sen } \alpha} = \frac{2\Delta h}{(h_0 - h_1)} + \frac{2\Delta x}{(x_1 - x_0)} \quad (12)$$

### 5.2. Calibración del Airlink con SPARKvue

- Verifique que el sensor de movimiento esté ajustado con la llave de dos posiciones que se encuentra en su parte superior, en la posición "carrito".
- Coloque el carrito con su extremo trasero aproximadamente en la posición 0,15 m indicada por la cinta métrica de la pista. Para que no se mueva coloque algún elemento sobre la pista que lo frene. El sensor presenta una limitación y no puede medir distancias menores a los 0,15 m, por lo que nunca se trabajará con una posición inferior a esa.
- Retire todos los elementos que pueda haber colocado, próximos a la pista. El sensor emite un pulso ultrasónico que debe rebotar en el carrito y no en un cuaderno, en una cartera o en el brazo de un alumno.
- Con el Airlink encendido, abra la aplicación SPARKvue en su celular. Inicie un nuevo experimento, seleccione para visualizar dos ventanas verticales en paralelo y luego configure a la de la izquierda para visualizar la tabla de datos y a la de la derecha para

visualizar un gráfico (Figura 7a-c).



**Figura 7.** Pasos para la configuración de la aplicación SPARKvue.

- e. Conecte el Airlink con su celular. Para ello oprima en el símbolo de Bluetooth (Figura 7d) y luego seleccione su dispositivo (Figura 7e, preste especial atención a la numeración para escoger el correcto ya que seguramente también aparecerán los sensores que están usando sus compañeros).
- f. Seleccione las variables de interés a representar, en este caso tiempo y posición (Figura 7f).
- g. La pantalla del SPARKvue le indicará en el extremo inferior izquierdo la distancia que está midiendo, aunque no estará registrando datos en su memoria (Figura 7g). Sin mover el carrito deberá identificar en la cinta métrica el mismo valor que indica la pantalla y realizar una marca en la cinta de papel adherida al carrito que coincida con ese punto de la cinta métrica. Al hacer esto, usted está decidiendo que punto del carro usará para determinar su posición, y se hace de esta forma, para que la indicación de la regla coincida con la del sensor. A partir de ese momento todas las posiciones del carrito que se midan sobre la cinta métrica deberán estar dadas por esa marca.

- h. Mueva el carrito a lo largo de la pista corroborando que el sensor de posición le va indicando los mismos valores que puede leer en la cinta métrica usando esa marca de referencia. Si los valores no son correctos es posible que el sensor tenga una inclinación inadecuada, use la perilla lateral para inclinarlo hasta lograr que el sensor y la cinta métrica indiquen el mismo valor a lo largo de toda la pista.
- i. Si el montaje ha superado la prueba que realizó en el punto anterior, puede comenzar con el proceso de medición propiamente dicho.

### 5.3. Medición de prueba con el Airlink

- a. Primero corrobore la configuración del equipo. En el extremo inferior izquierdo podrá seleccionar la frecuencia de medición (Figura 7g). Seleccione 50 Hz.
- b. Realice una medición de prueba. Inicie la toma y registro de datos (posición, tiempo) con la tecla “Comenzar” (Figura 7h). Es conveniente que primero arranque el sensor de movimiento y luego destrabe o suelte el carrito de la posición inicial (recuerde que debe ser mayor a 0,15 m). Cuando el carrito llegue al extremo inferior de la pista, detenga la toma de datos pulsando la tecla “Parar”. No es importante el momento en que detiene la toma de datos, ya que luego puede desechar los valores que advierte no le resultan útiles por no pertenecer al movimiento bajo estudio.
- c. La apreciación del instrumento es de una unidad en la última cifra significativa de la derecha del valor reportado por el equipo. La prueba realizada en el inciso 5.2.h. puede ayudarlo a justificar una estimación de incertidumbre diferente a la apreciación.
- d. Ahora podrá visualizar en la ventana izquierda la tabla todos los pares ordenados  $(t,x)$  correspondientes al registro de datos durante la caída del carrito, mientras que en la derecha una representación gráfica de dicha corrida.

### 5.4. Medición definitiva con el GLX

- a. Inicie un nuevo experimento para borrar los datos generados en la aplicación. Configure nuevamente y disponga la pista en la primera medida de inclinación.
- b. Coloque el carrito en la posición de partida (15 cm), inicie el registro de datos, libere el carrito, cuando llegue al final de la pista detenga el registro de datos.
- c. Observe la tabla de datos y asegúrese de que se visualizan ambas variables (tiempo y posición)
- d. Extraiga la tabla de valores de la aplicación seleccionando la opción compartir . Podrá enviar el archivo de datos en formato csv a un compañero, ya sea por correo electrónico u otra aplicación de mensajería. También es posible descargar los datos en el propio celular. Tome registro del nombre del archivo correspondiente a la corrida.
- e. Ha obtenido una tabla con los valores de posición y tiempo, correspondiente a una inclinación de la pista (similar a la que se **Tabla 1.** Pares ordenados posición tiempo.

Punto	Tiempos t [s]	Posición X [m]
-----	0,500	0,132
-----	0,520	0,132
-----	0,540	0,132
-----	0,560	0,132
-----	0,580	0,132
-----	0,600	0,132
$(x_0,t_0)$	0,620	0,132
$(x_1,t_1)$	0,640	0,133
$(x_2,t_2)$	0,660	0,133
$(x_3,t_3)$	0,680	0,134
$(x_4,t_4)$	0,700	0,135
$(x_5,t_5)$	0,720	0,136
$(x_6,t_6)$	0,740	0,138
$(x_7,t_7)$	0,760	0,139
$(x_8,t_8)$	0,780	0,141
$(x_9,t_9)$	0,800	0,143
$(x_{10},t_{10})$	0,820	0,146
$(x_{11},t_{11})$	0,840	0,148
$(x_{12},t_{12})$	0,860	0,151
$(x_{13},t_{13})$	0,880	0,154
$(x_{14},t_{14})$	0,900	0,157
$(x_{15},t_{15})$	0,920	0,161
$(x_{16},t_{16})$	0,940	0,165
$(x_{17},t_{17})$	0,960	0,169

observa en la Tabla 1). Como usted observará en la 

$(x_{18}, t_{18})$	0,980	0,173
--------------------	-------	-------

 tabla, los tiempos se miden con un error de  $\Delta t=0,001s$  y las posiciones con un error  $\Delta x=0,001m$ . Note que el primer valor de tiempo no es cero porque el carrito estuvo quieto desde que se inició el registro hasta que fue liberado, y todos esos datos deben eliminarse. La posición inicial tampoco es cero, debido a que siempre debe iniciarse en 15 cm aproximadamente.

### 5.5. Cambio de inclinación

Se debe incrementar la pendiente empleando el soporte de madera provisto por el docente y repetir los pasos 5.1. (determinación de la pendiente), 5.2. (Calibración, para asegurar que al cambiar la inclinación el sensor sigue midiendo bien a lo largo de toda la pista), 5.4. (medición con Airlink y exportación de los datos).

Deberá trabajar con un total ideal de 5 pendientes diferentes, y como mínimo 3. Cuando ya haya registrado los datos de la tercera inclinación del plano, conserve la posición de la pista y pase al punto 5.6.; luego, si le queda tiempo, continúe realizando las mediciones para completar las 5 inclinaciones.

### 5.6. Toma de datos para calcular la energía

Parte de este trabajo consiste en el análisis de la energía del carro durante su caída. Usted deberá contar con todos los datos necesarios para poder calcular la energía cinética y potencial para 5 puntos del recorrido. Para poder calcular la energía cinética y potencial deberá saber, además de la masa del carro, la velocidad que tenía y su altura en cada punto. Para asegurarse que tendrá estos datos realice los pasos enumerados a continuación.

- Visualice en su celular la tabla correspondiente a la tercera inclinación (puede hacerlo también en una computadora) y observe los datos registrados. Identifique 5 posiciones en las cuales se puedan calcular velocidades instantáneas correspondientes a posiciones bien distribuidas a lo largo de la pista. Usará esas 5 velocidades para calcular energía cinética en ese instante.
- Ubique el carro en cada una de estas 5 posiciones de la pista y mida la altura de éste en cada punto (para medir la altura puede usar como referencia el punto marcado sobre el carro). Con esas alturas calculará la energía potencial en cada uno de esos 5 instantes.
- Registre la masa del carrito y su incertidumbre.

Si todavía resta tiempo de la clase, trabaje para obtener los datos de posición en el tiempo para caídas con 2 pendientes más.

### 5.7. Transformación de los datos registrados.

- Abra los archivos exportados del Airlink en una computadora en el software Excel o similar. Preste atención al uso de comas o puntos requerido por su computadora para separar los decimales. Si es necesario cambiarlo en el archivo original para poder abrirlo correctamente en Excel, ábralo previamente en un block de notas, edítelo modificando puntos por comas o viceversa según corresponda (esto se hace automáticamente utilizando la opción reemplazar), y luego ábralo nuevamente en Excel.
- En cada una de las tablas obtenidas deberá eliminar los datos que no corresponden a la caída en el plano inclinado, es decir todos los datos anteriores al comienzo del movimiento y todos los datos posteriores a la llegada del carrito al extremo de la pista.

- c. Solicite al programa un gráfico de dispersión para la posición en función del tiempo. Los puntos deben formar una parábola y esto puede permitirle corroborar que la eliminación de datos realizada en el punto anterior haya sido correcta.
- d. Calcule, para todos los tiempos posibles, el valor de velocidad instantánea (o casi instantánea ya que  $\Delta t$  es pequeño, pero no tiende a cero) de la siguiente manera (la Tabla 2, ilustra sobre este procedimiento):

$$v_i = \frac{(x_{i+1} - x_{i-1})}{(t_{i+1} - t_{i-1})} \quad (13)$$

para valores  $i = 0, 4, 8, 12 \dots$ , dónde “i” indica el par ordenado  $(t, x)$  correspondiente.

- e. Solicite al programa un gráfico de dispersión de velocidad en función del tiempo. Los puntos deben formar una línea recta con pendiente positiva.
- f. Luego, calcule para todos los tiempos posibles, los valores de aceleración como se indica a continuación (la Tabla 2 ilustra sobre el procedimiento):

$$a_i = \frac{(v_{i+1} - v_{i-1})}{(t_{i+1} - t_{i-1})} \quad (14)$$

El valor calculado lo consideramos como “casi instantáneo”.

- g. Solicite al programa un gráfico de dispersión para la aceleración en función del tiempo. Los puntos deben formar una línea recta horizontal con un valor de aceleración constante y positiva.
- h. Use todos los valores de aceleración que pudo obtener para una misma pendiente y calcule el valor promedio, el error medio cuadrático de las lecturas y el error medio cuadrático de los promedios.
- i. Es altamente probable que los gráficos no muestren el resultado esperado, observándose una forma de serrucho en el gráfico de velocidad en función del tiempo y cambios bruscos en la aceleración en función del tiempo. Esto se debe a que se configuró el Airlink para tomar 50 datos por segundo, y para algunas velocidades esto significa que el error del equipo es mayor que el cambio de posición del carrito en tiempos tan breves entre medición y medición. Entonces se debe corregir este efecto negativo ampliando el rango de tiempos para el cual se calcula la velocidad, sin ampliarlo tanto como para que la velocidad “casi” instantánea no llegue a ser una velocidad media. Para eso se va corrigiendo en la planilla de cálculo el rango considerado, paso a paso:

$$v_i = \frac{(x_{i+2} - x_{i-2})}{(t_{i+2} - t_{i-2})} \quad (14)$$

Los gráficos, el promedio de las aceleraciones, y los errores estadísticos se irán corrigiendo de a poco a medida que ampliamos ese rango. Cuando los gráficos tengan la forma esperada de acuerdo con las funciones de movimiento, dejaremos de ampliar el rango.

Punto	Tiempo (s)	Posición (m)	Velocidad (m/s)	Aceleración (m/s <sup>2</sup> )
1	T <sub>1</sub>	X <sub>1</sub>	no se puede calcular	no se puede calcular
2	T <sub>2</sub>	X <sub>2</sub>	$v_2 = \frac{X_3 - X_1}{t_3 - t_1}$	no se puede calcular
3	T <sub>3</sub>	X <sub>3</sub>	$v_3 = \frac{X_4 - X_2}{t_4 - t_2}$	$a_3 = \frac{v_4 - v_2}{t_4 - t_2}$
4	T <sub>4</sub>	X <sub>4</sub>	$v_4 = \frac{X_5 - X_3}{t_5 - t_3}$	$a_4 = \frac{v_5 - v_3}{t_5 - t_3}$
...	...	...	...	...
215	T <sub>215</sub>	X <sub>215</sub>	$v_{215} = \frac{X_{216} - X_{214}}{t_{216} - t_{214}}$	$a_{215} = \frac{v_{216} - v_{214}}{t_{216} - t_{214}}$
216	T <sub>216</sub>	X <sub>216</sub>	$v_{216} = \frac{X_{217} - X_{215}}{t_{217} - t_{215}}$	no se puede calcular
217	T <sub>217</sub>	X <sub>217</sub>	no se puede calcular	no se puede calcular

**Tabla 2.** Cálculo de velocidad casi instantánea y aceleración

## 5.8. Análisis de datos

### 5.8.1. Con respecto a la relación entre aceleración y pendiente

Con la transformación descrita en el inciso anterior, estamos en condiciones de completar la siguiente tabla:

Inclinación	$\text{sen } \alpha \pm \Delta \text{ sen } \alpha$	$\bar{a} \pm E_a$
1		
2		
3		
4		
5		

- En un sistema de coordenadas, representar gráficamente los 6 pares ordenados que obtuvo en la tabla, es decir aceleración en función de la pendiente; con esta última expresada como el seno del ángulo. Incluya las barras de error. Describa cómo es la relación entre estas dos variables, argumente si la aceleración depende o no depende de la inclinación del plano.
- Tomando información del gráfico, determine cuál es el valor del parámetro que correlaciona “ $\bar{a}$  con  $\text{sen } \alpha$ ”.

### 5.8.2. Con respecto al principio de conservación de la energía

Luego de la recolección de datos de la tercera pendiente, usted analizó los datos de manera de poder calcular y medir la velocidad y altura, respectivamente, para 5 instantes. También registró la masa del carrito. Por lo que está en condiciones de calcular para cada uno de esos 5 instantes la energía cinética, la energía potencial y la energía mecánica del carrito obteniendo por propagación las incertidumbres asociadas a cada una de ellas.

Grafique en 3 series del mismo gráfico las 3 energías en función del tiempo y argumente si se cumple principio de conservación de la energía.

## 6. Preguntas, discusión, conclusiones

Las siguientes preguntas deben guiar su pensamiento a la hora de trabajar la redacción del reporte en el desarrollo de la discusión de los resultados y las conclusiones. No deben repetirse las preguntas en el texto, tampoco debe haber una respuesta después de la otra sin articulación, tampoco sin justificación. Estas preguntas son orientativas para ayudar a reflexionar sobre todo lo que este TPE nos enseña.

### 6.1. Con respecto a los resultados y el cumplimiento de los objetivos.

- ¿Qué tipo de movimiento tiene el carrito cuando cae por el plano inclinado? Fundamente la respuesta de acuerdo con las representaciones gráficas obtenidas y su descripción.
- El parámetro que correlaciona " $\bar{a}$  con  $\sin \alpha$ " ¿demuestra alguna expresión teórica presentada en el marco teórico?
- ¿se cumple el principio de conservación de la energía? ¿O la energía mecánica decae? Si percibe un decaimiento ¿es significativo? ¿por qué? Sea significativo o no, ¿a qué puede deberse?
- Si hubiese calculado la energía mecánica total en otras posiciones, le hubiese dado ¿el mismo valor?, ¿un valor parecido? ¿qué tan parecido?

### 6.2. Con respecto a la calidad de las mediciones

- ¿Usted cree que la distancia recorrida por el carrito entre dos tomas de datos consecutivas del GLX, es igual o distinta (mayor o menor) cuando el carrito se acerca en la parte inferior de la pista, en comparación a cuando se encuentra en la parte superior de la misma?
- ¿Por qué en algún punto anterior hablamos de velocidad "casi instantánea", en lugar de velocidad instantánea?
- ¿Qué hubiese ocurrido con la representación de los valores de energía mecánica total en los distintos tiempos, si entre la pista y el carrito existiese un considerable rozamiento?
- Si existe el rozamiento que señalamos en el punto anterior, que va a cambiar respecto de los valores que calculó en tabla, ¿los valores de energía cinética o los valores de energía potencial?
- ¿Puede ajustar algún aspecto de la práctica experimental, para lograr una velocidad instantánea?
- ¿Cómo haría para mejorar la calidad de la medición? o ¿qué magnitud mediría con mayor cuidado?

## 7. Bibliografía

- Cromer, A., 1978. *Física para las Ciencias de la Vida*. Editorial Reverté. Páginas: 541
- Jou, D.; Llebot, J. y García, C., 1995. *Física para las Ciencias de la Vida*. Editorial Mc Graw Hill, Madrid, España. Páginas 526.
- Guía de Estudio de la Cátedra de Física I, para alumnos de las carreras de Ciencias Biológicas.
- Hecht, E., 1998. *Física y (Álgebra y Trigonometría), Tomo I*. Editorial Thomson. México. Páginas: 735.
- Kane, J. y Sternheim, M., 1998. *Física*. Editorial Reverté, Segunda Edición. Páginas: 795.
- MacDonald, S. y Burns, D., 1975. *Física para las Ciencias de la Vida y de la Salud*. Editorial Fondo Educativo Interamericano. Páginas, 589.
- Maiztegui, A. y Gleiser, R., 1985. *Introducción a las Mediciones en el Laboratorio*. Editorial Kapelusz. Buenos Aires, Argentina. Páginas 101.
- PASCO S.A., 2009. *Manual de PASCO del Xplorer*. EEUU. Páginas, 161.