



**DEPARTAMENTO DE FÍSICA APLICADA E INGENIERÍA  
DE MATERIALES**

# **GUIÓN DE PRÁCTICA DE FÍSICA PRIMER CURSO**

**PRÁCTICA Nº 1: MEDIDA DE LA ACELERACIÓN DE LA  
GRAVEDAD**

PROFESORES GITI: D<sup>a</sup> María Fe Laguna Heras (coordinadora de prácticas)  
D. Juan Antonio Porro González  
D. Rafael Muñoz  
D. Ignacio Angulo

PROFESOR GIQ y GIO: D. Marcos Díaz (coordinador de prácticas)

**MADRID, SEPTIEMBRE DE 2017**

# ÍNDICE

1. OBJETIVOS.....	3
2. PLANTEAMIENTO.....	4
2.1. Introducción .....	4
2.2. Ecuaciones del movimiento.....	5
3. MEDICIÓN.....	7
3.1. Datos de partida.....	7
4. RESULTADO .....	7
4.1. Valor de la gravedad .....	7
4.2. Incertidumbre del valor de la gravedad .....	8
ANEXO 1: MEDIDA DE LA ACELERACIÓN DE LA GRAVEDAD .....	9
ANEXO 2: PROGRAMA <i>PASCO CAPSTONE</i> .....	10
ANEXO 3: LEY DE PROPAGACIÓN DE INCERTIDUMBRES.....	15
ANEXO 4: NORMA DE EXPRESIÓN DEL RESULTADO DE UNA MEDIDA.....	17
ANEXO 5: MEDIDA DE LA ACELERACIÓN DE LA GRAVEDAD .....	19

# **GUIÓN DE PRÁCTICA DE FÍSICA**

## **MEDICIÓN DE LA ACELERACIÓN DE LA GRAVEDAD**

### **1. OBJETIVOS**

La práctica de MEDICIÓN DE LA ACELERACIÓN DE LA GRAVEDAD, se plantea con los objetivos siguientes:

1. Familiarizar al alumno con una medición de tipo físico.
2. Verificar las Leyes de la Mecánica del Movimiento Uniformemente Acelerado.
3. Aplicar una teoría de cálculo de incertidumbres a una realización práctica concreta, a nivel individual.

## 2. PLANTEAMIENTO

### 2.1. Introducción

La medida de la aceleración de la gravedad ( $g$ ) en un lugar, puede realizarse mediante el dispositivo de la figura 1 (Máquina de Atwood).

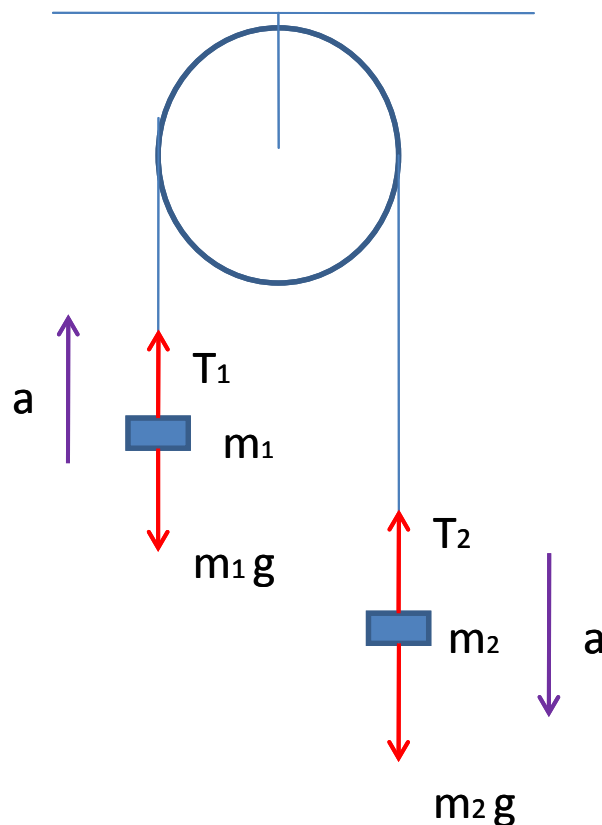


Figura 1. Máquina de Atwood

Se trata de un disco giratorio con rozamiento despreciable, del que cuelgan dos masas ( $m_1$ ,  $m_2$ ), de valor ligeramente diferente ( $m_2 > m_1$ ), mediante una cuerda resistente.

En nuestro caso se va a utilizar un dispositivo formado por dos poleas equipado con un sensor que se encuentra conectado a un ordenador mediante un puerto USB, el cual nos permite registrar, mediante un programa de adquisición de datos las medidas de las velocidades angulares.

La aplicación informática utilizada es *Pasco Capstone* (ANEXO 2).

## 2.2. Ecuaciones del movimiento

$$m_2 g - T_2 = m_2 a$$

$$T_1 - m_1 g = m_1 a$$

$$T_2 = m_2 (g - a)$$

$$T_1 = m_1 (g + a)$$

$$T_2 - T_1 = (m_2 - m_1) g - (m_2 + m_1) a$$

$$(T_2 - T_1) r = I \alpha = I \frac{a}{r}$$

Se denomina masa equivalente ( $m_e$ ), a la de un sólido que en su giro, permite expresar el momento de inercia respecto de su eje de giro, mediante la expresión simplificada:

$$I = m_e r^2$$

Con ello:

$$T_2 - T_1 = m_e a$$

$$a = \frac{T_2 - T_1}{m_e} = \frac{(m_2 - m_1) g - (m_2 + m_1) a}{m_e}$$

Donde, finalmente se obtiene:

$$g = \frac{m_1 + m_2 + m_e}{m_2 - m_1} a$$

Para la realización práctica de la experiencia, se emplean 2 masas iguales ( $m$ ) y otra mucho más pequeña ( $m'$ ), que puede situarse de forma estable sobre una de las anteriores. Con ello se tiene:

$$m_1 = m$$
$$m_2 = m + m'$$

Con lo que:

$$g = \frac{2m + m' + m_e}{m'} a = \left( 1 + \frac{2m + m_e}{m'} \right) a$$

Esta transformación permite prescindir de la situación evidente de covarianza entre las masas  $m_1$  y  $m_2$ , para trabajar con una función de transferencia:

$$g = g(m, m', m_e, a)$$

Así, las 4 variables de entrada pueden considerarse independientes, simplificándose el cálculo de la incertidumbre de la variable de salida o resultado de la medición  $g$ .

Además en el equipo hay que tener en cuenta la masa de los dos elementos soporte sobre los que se cuelgan las masas cuyo valor  $m_s = 5$  g y que, por lo tanto, hay que añadir al valor de  $m_s$  de forma que la ecuación queda de la siguiente forma:

$$g = \left( 1 + \frac{2(m + m_s) + m_e}{m'} \right) a$$

### 3. MEDICIÓN

#### 3.1. Datos de partida

Los valores de las masas que se pueden emplear en la experiencia y sus incertidumbres típicas certificadas son los siguientes:

Masa  $m = 100$  g

$U(m) (k = 2) = 48$  mg

Masa  $m' = 20$  g

$U(m') (k = 2) = 24$  mg

Masa  $m = 50$  g

$U(m) (k = 2) = 30$  mg

Masa  $m' = 10$  g

$U(m') (k = 2) = 18$  mg

Masa equivalente  $m_e = 5$  g

$U(m_e) (k = 2) = 15$  mg

Para la aceleración  $a$   
(determinada experimentalmente)

$u(a) = 30$  mm/s<sup>2</sup>

### 4. RESULTADO

#### 4.1. Valor de la gravedad

Se completa un cuadro con los valores de  $\alpha$  obtenidos experimentalmente (Anexo 1), y que se han seleccionado para calcular  $a$ , y se indica el valor resultado de  $a$ .

Se calcula  $g$  a partir de la ecuación obtenida del análisis del sistema y de los datos obtenidos en el experimento.

$$g = \left( 1 + \frac{2(m + m_s) + m_e}{m'} \right) a \quad \text{con} \quad a = \alpha \cdot r$$

Nota: La disparidad de valores que se puede obtener se debe a que en el experimento se desprecia el rozamiento.

#### 4.2. Incertidumbre del valor de la gravedad

Se calcula mediante la expresión que resulta de la particularización a nuestra máquina (Anexo 1) de la ley de propagación de incertidumbres (Anexo 3):

$$u^2(g) = \left(\frac{2a}{m'}\right)^2 u^2(m) + \left(\frac{a}{m'}\right)^2 u^2(m_e) + \left(a \frac{2(m + m_s) + m_e}{m'^2}\right)^2 u^2(m') + \left[1 + \frac{2(m + m_s) + m_e}{m'}\right]^2 u^2(a)$$

Se acepta para la incertidumbre expandida  $U(g)$  la ley de normalidad:

$$U(g) = k u(g)$$

Se completa un cuadro con el balance de incertidumbre que conduce al cálculo de  $U(g)$  introduciendo los valores de las incertidumbres típicas de cada una de las variables presentes en la expresión de  $g$ , los resultados de los cálculos de los coeficientes de sensibilidad de cada una, y los resultados de los productos entre las incertidumbres típicas y sus coeficientes de sensibilidad.

Se concluye con la identificación de la variable con contribución de incertidumbre más significativa.



**ANEXO 1**  
**PRACTICA1: MEDIDA DE LA ACELERACIÓN DE LA GRAVEDAD**

ALUMNO \_\_\_\_\_

Nº DE MATRÍCULA \_\_\_\_\_ FECHA \_\_\_\_\_

Complete con los valores seleccionados de la tabla de resultados del Data Studio:

$\alpha_i$ (rad/s <sup>2</sup> )										
-------------------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Calcule el valor más representativo de la muestra anterior (media aritmética):

$$\alpha = \quad \text{rad / s}^2 \quad \rightarrow \quad a = \quad \text{m / s}^2$$

Calcule:

$g =$	$\text{m / s}^2$
-------	------------------

Complete con los datos y cálculos correspondientes:

$x_i$ (unidades)	$u(x_i)$ (unidades)	$\left(\frac{\partial g}{\partial x_i}\right)$ (unidades)	$\left(\frac{\partial g}{\partial x_i}\right) \cdot u(x_i)$ (m/s <sup>-2</sup> )
$m (g)$			
$m' (g)$			
$m_e (g)$			
$a (m \cdot s^{-2})$			

Calcule:

$U (g) =$	$\text{m / s}^2$
-----------	------------------

Indique cual es la variable cuya incertidumbre expandida habría que reducir para mejorar  $U(g)$ :

## ANEXO 2: PROGRAMA PASCO CAPSTONE

Manejo de la aplicación:

1º: Conectar el sensor al puerto USB del ordenador, y arrancar el programa de adquisición de datos siguiendo la ruta C:\Escritorio\Práctica 2 Física I\_2016\Medida aceleración gravedad.cap. El programa reconocerá el sensor automáticamente y estará preparado para realizar las medidas.

2º: Una vez cargado el programa, aparecerá una pantalla con una tabla y una gráfica donde se registrará la velocidad angular frente al tiempo.

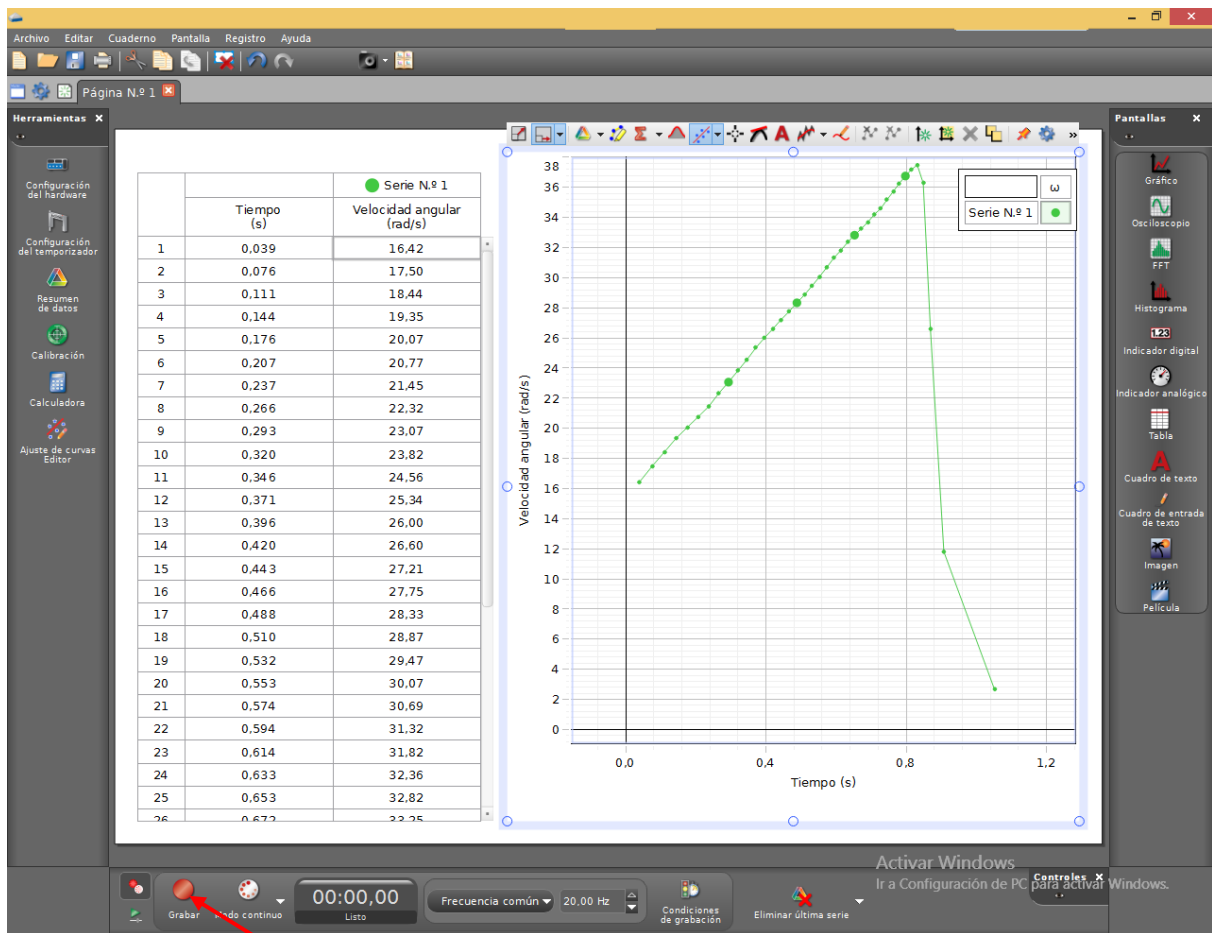
3º: A continuación se coloca el hilo con los soportes para las pesas sujetos a sus extremos sobre las poleas del dispositivo de medición.

Como queremos que el sistema se ponga en marcha añadimos una pequeña masa adicional o tara,  $m'$ , en uno de los extremos. Al colocar el soporte, la masa más pesada (masa + tara), tiene que situarse en el lado donde no golpee a la mesa. En todo momento durante el experimento se debe asegurar el libre movimiento de las masas, sin que se golpeen o rocen con la mesa o cualquier otra parte del dispositivo utilizado.

4º: Una vez colocadas las masas en los extremos y asegurándonos de que hay equilibrio estático, añadimos la masa adicional en uno de los extremos y lo sujetamos para que no se mueva.

En la pantalla del software *Pasco Capstone*, pulsamos el botón de **GRABAR** (parte inferior izquierda de la pantalla, ver fig. 1)) y un momento después dejamos de sujetarlo, vigilando que el extremo que no tiene colocada la tara no choque con la polea. Instantes antes de ese momento lo paramos sujetándolo.


El botón GRABAR pone en marcha un cronómetro y es necesario detenerlo pulsando el mismo botón de grabar (ahora pondrá **DETENER**) para que el sensor no siga registrando valores, de lo contrario la medición será errónea.



**Poner en marcha y parar escala de tiempo (INICIO – DETENER)**


Figura 1

El software habrá registrado los valores de velocidad angular,  $\omega$ , en rad/s, que podemos visualizar en la tabla o gráfica.

5º: Para ver con más detalle los valores de la gráfica, podemos variar la escala de los ejes con los botones , situados en el margen superior izquierdo, encima de la gráfica (ver fig. 1).

6º: Como necesitamos la **aceleración angular  $\alpha$  en  $\text{rad/s}^2$** , que es la pendiente de la curva velocidad angular frente a tiempo obtenida, tenemos que realizar un ajuste lineal de los puntos experimentales que se muestran en la gráfica para determinar dicha pendiente.

Para ello, se procede de la siguiente manera:

Se activa el icono o botón , situado encima de la gráfica, para seleccionar los puntos que vamos a usar para realizar el ajuste. Aparece un recuadro sombreado que se puede aumentar o disminuir de tamaño arrastrando desde una esquina con el ratón (ver fig. 2).

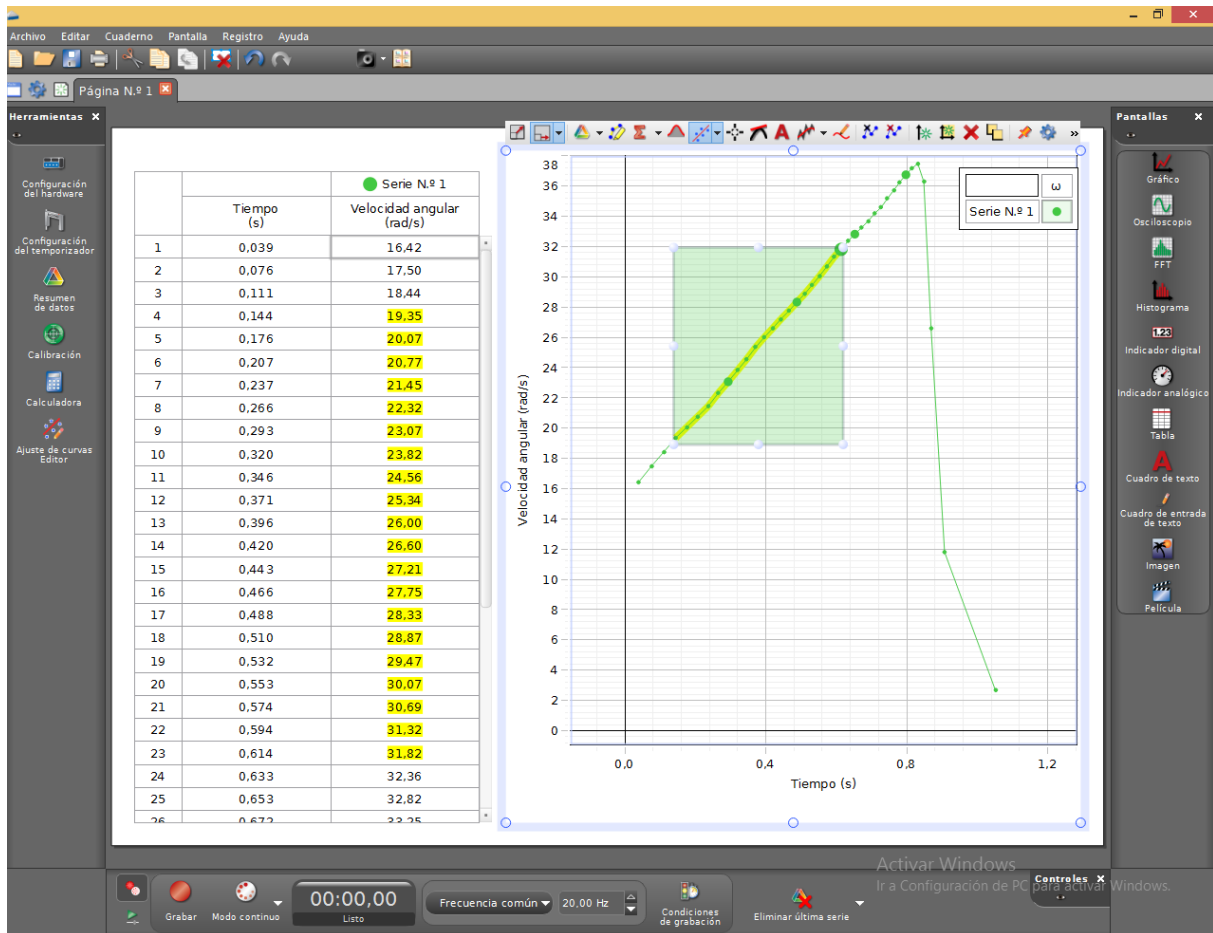



Figura 2

Seleccionaremos una cantidad suficiente de puntos en la zona central de la gráfica, desechando los primeros y los últimos, ya que éstos incluso pueden tomar valores negativos debido a que el experimento se detiene de forma manual, lo que puede producir un movimiento de retroceso en las poleas, no siendo, por tanto, válidos. Los puntos seleccionados aparecen resaltados en amarillo, tanto en la gráfica como en la tabla.

A continuación activamos el icono  y se despliega un menú con los diferentes tipos de ajustes tal y como se muestra en la figura 3. Elegimos el lineal.

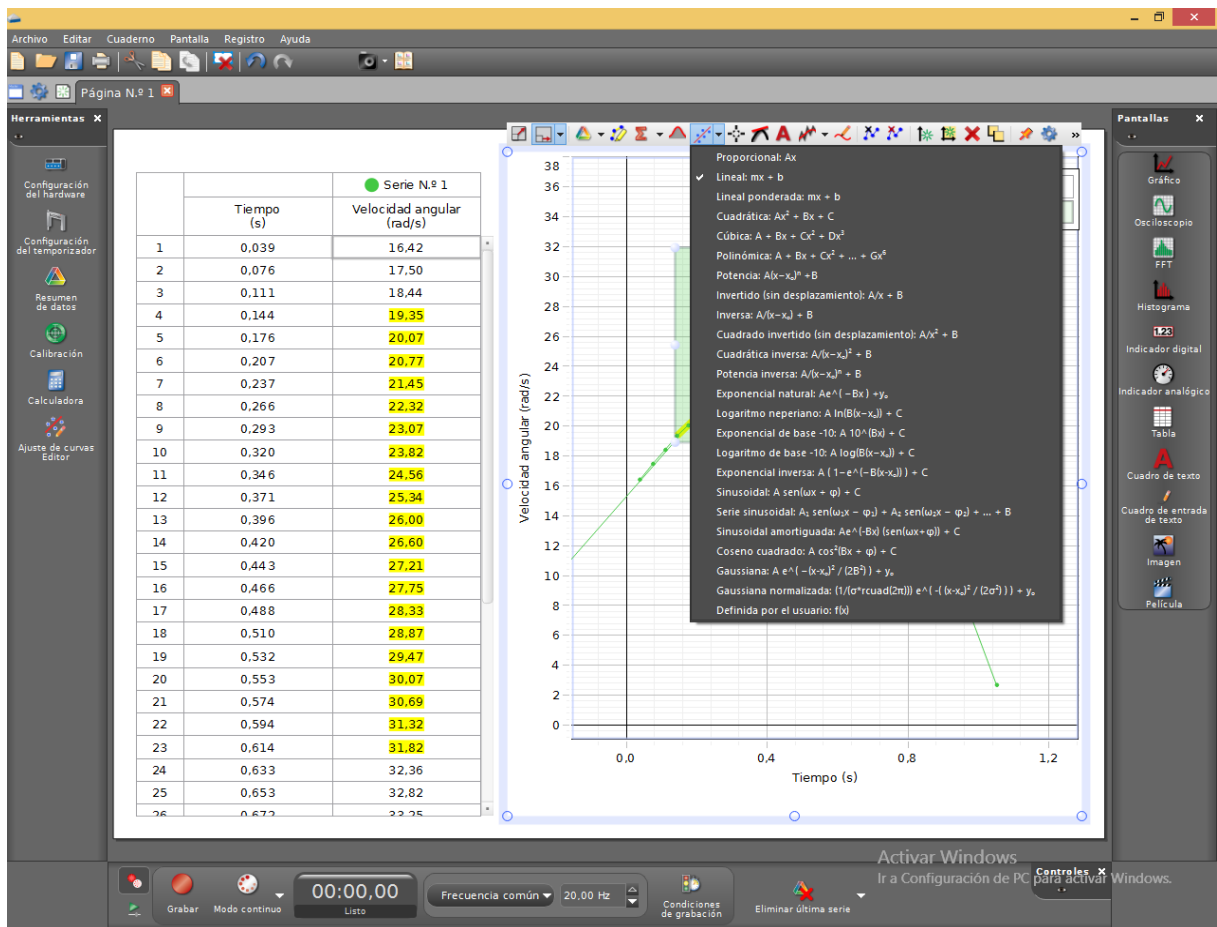


Figura 3

Seguidamente el valor de la pendiente,  $m$ , y la ordenada en el origen,  $b$ , con sus respectivos errores, así como el factor de regresión,  $r$ , aparecen en un recuadro sobrepuesto en la gráfica (ver fig. 4).

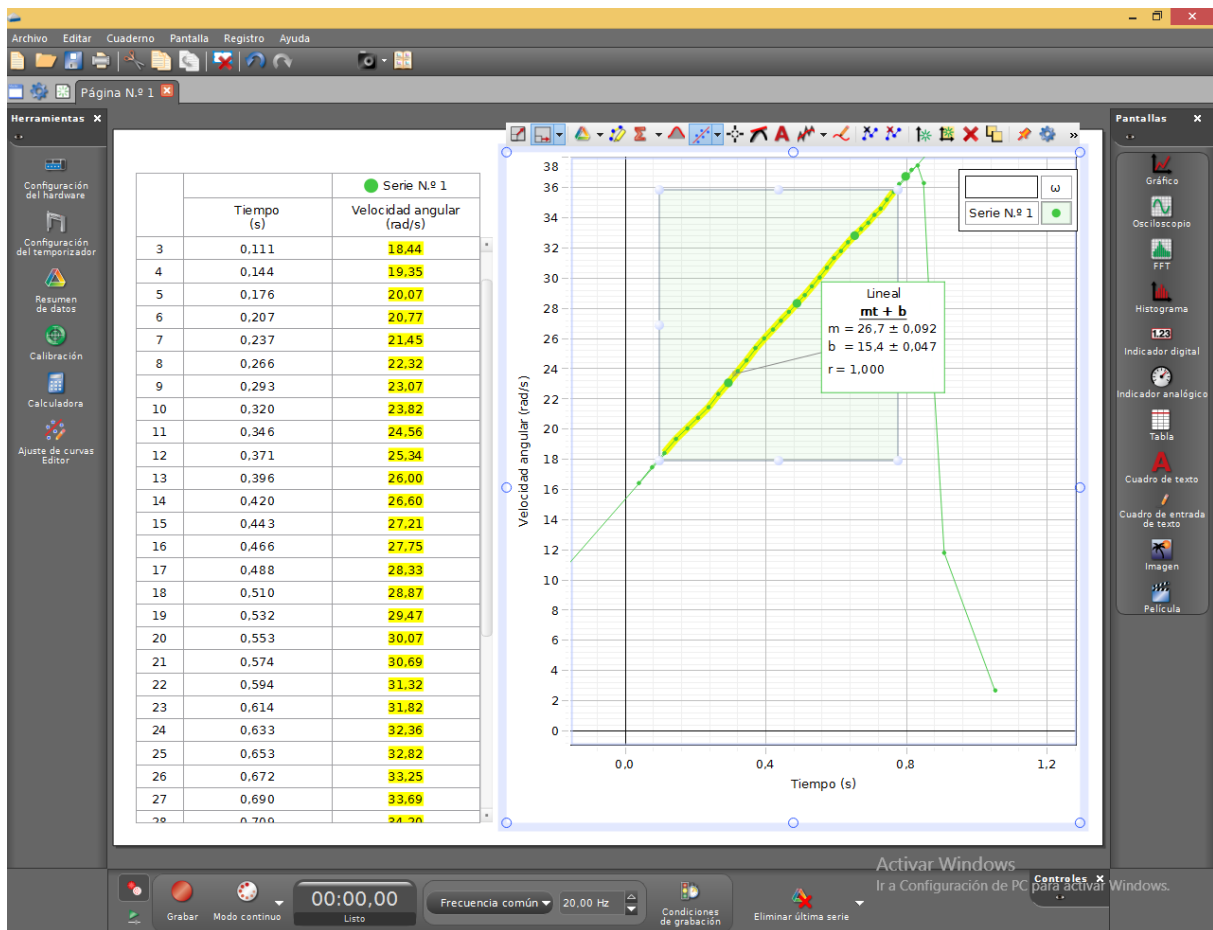


Figura 4

8º: Se anota el valor de la pendiente o aceleración angular (sin tener en cuenta el error) en el anexo 1, y se repite el experimento 10 veces, tomando finalmente la media de las diez medidas de aceleración angular.

Las medidas sucesivas se van registrando con números de serie correlativos y los puntos se representan en la gráfica con distintos símbolos y colores. Sólo aparece en la gráfica la última medida realizada, aunque si se quiere se pueden ver todas simultáneamente en la misma gráfica.

Multiplicando el valor medio de la aceleración angular,  $\alpha$ , por el radio de la polea  $r = 0,0254 \text{ m}$ , cuya incertidumbre se desprecia a efectos de esta práctica, se obtiene la aceleración lineal,  $a$ , necesaria para calcular la aceleración de la gravedad,  $g$ , según el apartado 4.

9º: También habrá que tener en cuenta la masa de los dos elementos soporte sobre los que se cuelgan las masas, que como llevan marcado

es de  $m_s = 5$  g, cuya incertidumbre se desprecia a efectos de esta práctica.

10º: Obtenidos todos los datos necesarios para conocer la aceleración de la gravedad,  $g$ , y su incertidumbre, procedemos a calcularlas con las expresiones deducidas en el guión de la práctica y adaptadas para la máquina de Atwood asociada a este software *Pasco Capstone*, según los apartados anteriores.

### ANEXO 3: LEY DE PROPAGACIÓN DE INCERTIDUMBRES

Si el resultado de una medida  $y$  de una determinada magnitud viene dado por una función de transferencia que depende de una serie de variables independientes  $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$  la incertidumbre típica de  $y$  viene dada por la siguiente expresión:

$$u_y = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left( \frac{\partial y}{\partial x_i} \right)^2 u_{x_i}^2}$$

Siendo  $u_{x_i}$  la incertidumbre típica de  $x_i$  y se denominan coeficientes

de sensibilidad de cada una de las variables  $x_i$  a  $\frac{\partial y}{\partial x_i}$

Para la medida efectuada en esta práctica  $g = f(x_i)$  donde  $i = 1$  a 4.

La función de transferencia empleada para la determinación de la gravedad ha sido

$$g = \left( 1 + \frac{2(m + m_s) + m_e}{m'} \right) a$$

por lo que aplicando la ley de propagación de incertidumbres se cumple:

$$u^2(g) = \sum_{i=1}^4 \left( \frac{\partial g}{\partial x_i} \right)^2 u^2(x_i)$$

Y operando, llegamos a:

$$u^2(g) = \left( \frac{2a}{m'} \right)^2 u^2(m) + \left( \frac{a}{m'} \right)^2 u^2(m_e) + \left( a \frac{2(m+m_s) + m_e}{m'^2} \right)^2 u^2(m') + \left[ 1 + \frac{2(m+m_s) + m_e}{m'} \right]^2 u^2(a)$$

Ya que:

$\frac{\partial g}{\partial m} = \frac{2a}{m'}$	$\frac{\partial g}{\partial m_e} = \frac{a}{m'}$	$\frac{\partial g}{\partial m'} = a \frac{2(m+m_s) + m_e}{m'^2}$
$\frac{\partial g}{\partial a} = 1 + \frac{2(m+m_s) + m_e}{m'}$		

Con lo que definitivamente:

$u^2(g) = \left( \frac{2a}{m'} \right)^2 u^2(m) + \left( \frac{a}{m'} \right)^2 u^2(m_e) + \left( a \frac{2(m+m_s) + m_e}{m'^2} \right)^2 u^2(m') +$ $+ \left[ 1 + \frac{2(m+m_s) + m_e}{m'} \right]^2 u^2(a)$
--

Y la incertidumbre expandida  $U(g)$ , correspondiente a un nivel de confianza del 95%, será:

$$U(g) = 2u(g)$$



## **ANEXO 4: NORMA DE EXPRESIÓN DEL RESULTADO DE UNA MEDIDA.**

De acuerdo con la normativa EA-4/02, el resultado completo de una medida, valor, incertidumbre y unidad, debe cumplir las reglas sencillas que se exponen a continuación.

- La incertidumbre ha de expresarse mediante una o dos cifras significativas.
- El valor ha de expresarse con las mismas cifras significativas que la incertidumbre.
- La incertidumbre se redondeará siempre por exceso, salvo que pueda redondearse por defecto en menos o igual del 5%.
- El valor se redondeará al valor más cercano y en caso de estar centrado (acabado en 5), al valor par.

**Ejemplo primero:**

$$g = 9,889\ 7\ \text{m/s}^2$$

$$U(g) = 0,254\ 821\ 4\ \text{m/s}^2$$

**Expresiones correctas:**

$$g = (9,89 \pm 0,25)\ \text{m/s}^2$$

$$g = 9,89\ \text{m/s}^2$$

$$U(g) = 0,25\ \text{m/s}^2$$

$$g = (9,9 \pm 0,3)\ \text{m/s}^2$$

$$g = 9,9\ \text{m/s}^2$$

$$U(g) = 0,3\ \text{m/s}^2$$

**Ejemplo segundo:**

$$g = 9,420\ 119\ 54\ \text{m/s}^2$$

$$U(g) = 0,307\ 668\ \text{m/s}^2$$

**Expresiones correctas:**

$$g = (9,42 \pm 0,31)\ \text{m/s}^2$$

$$g = 9,42\ \text{m/s}^2$$

$$U(g) = 0,31\ \text{m/s}^2$$

$$g = (9,4 \pm 0,3)\ \text{m/s}^2$$

$$g = 9,4\ \text{m/s}^2$$

$$U(g) = 0,3\ \text{m/s}^2$$

**ANEXO 5**  
**PRACTICA1: MEDIDA DE LA ACELERACIÓN DE LA GRAVEDAD**

ALUMNO \_\_\_\_\_

Nº DE MATRÍCULA \_\_\_\_\_ FECHA \_\_\_\_\_

Complete con los valores seleccionados de la tabla de resultados del Data Studio:

$\alpha_i$ (rad/s <sup>2</sup> )										
-------------------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Calcule el valor más representativo de la muestra anterior (media aritmética):

$$\alpha = \quad \text{rad / s}^2 \quad \rightarrow \quad a = \quad \text{m / s}^2$$

Calcule:

$g =$	$\text{m / s}^2$
-------	------------------

Complete con los datos y cálculos correspondientes:

$x_i$ (unidades)	$u(x_i)$ (unidades)	$\left(\frac{\partial g}{\partial x_i}\right)$ (unidades)	$\left(\frac{\partial g}{\partial x_i}\right) \cdot u(x_i)$ (m/s <sup>-2</sup> )
$m (g)$			
$m' (g)$			
$m_e (g)$			
$a (m \cdot s^{-2})$			

Calcule:

$U (g) =$	$\text{m / s}^2$
-----------	------------------

Indique cual es la variable cuya incertidumbre expandida habría que reducir para mejorar  $U(g)$ :

## **ANEXO 6: NORMATIVA PARA LA REALIZACIÓN DE LA PRÁCTICA.**

1. El alumno debe leer el guión antes de acudir a la realización de la práctica.
2. Una vez realizada la práctica y con los datos tomados, se cumplimentará la página del anexo 6, que es la única documentación a entregar en el plazo aproximado de 2 semanas. De esta forma, el alumno puede conservar íntegro el guión, con los datos tomados y resultados calculados, como documentación personal de interés.
3. El anexo 6 que se entregue irá cumplimentado con letra clara y legible (especialmente el N<sup>o</sup> de matrícula, con 5 dígitos), nunca a lápiz.