

EXPERIENCIA: CAÍDA LIBRE COMPLETA

Rev: 1.0 (Julio/2019)

Autores: Javier Garcia Zubía (zubia@labsland.com)

Unai Hernández (unai@labsland.com)

Luis Rodríguez Gil (luis@labsland.com)

Contenido

Objetivos	3
Resultados de aprendizaje	3
Estructura del documento	3
Introducción	4
Desarrollo del experimento y teoría	5
Toma de medidas y graficación del experimento	6
Análisis de resultados del experimento y evaluación	9
Comentarios para el profesor	12

I. Objetivos

Los objetivos a desarrollar a lo largo de este experimento son:

- Entender la caída libre de un objeto.
- Entender el concepto de lineal y no lineal.
- Comprender y observar el comportamiento de las variables de un experimento.

II. Resultados de aprendizaje

Gracias a este experimento, el estudiante será capaz de:

- Analizar el comportamiento de la caída de un objeto.
- Caracterizar y medir en un experimento no lineal.
- Calcular la constante g .
- Organizar el trabajo experimental.
- Comenzar a familiarizarse con el método científico.
- Tomar datos y representarlos gráficamente.
- Analizar datos y elaborar conclusiones.

III. Estructura del documento

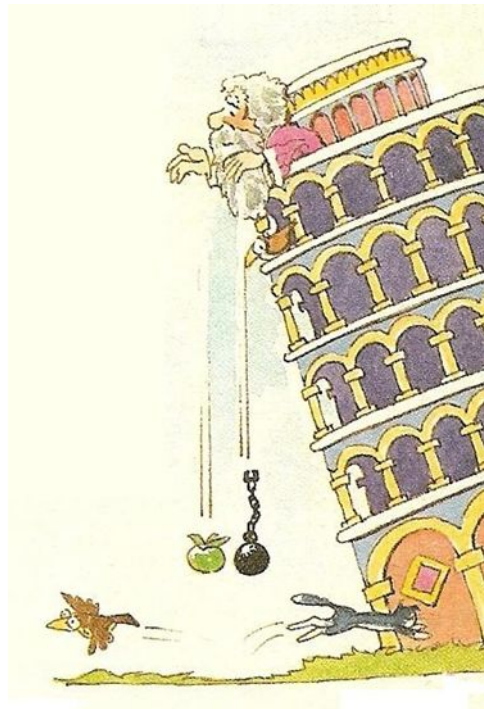
Este documento está estructurado de la siguiente manera:

1. Introducción. Página 4.
2. Experimento. Página 5.
3. Toma de medidas y graficación del experimento. Páginas 6 a 8.
4. Evaluación y preguntas abiertas. Página 9 a 11.
5. Comentarios para el profesor. Página 12.

1. Introducción

Galileo vivió entre los siglos XVI y XVII y tiene un lugar eminente entre los científicos no solo por sus descubrimientos sino también por la forma de demostrarlos o explicarlos. Galileo utilizó y encumbró el método científico unido a las matemáticas. Llevaba a cabo experimentos, medía las variables y analizaba los resultados.

Aristóteles, en siglo IV a.C., teorizó sobre el comportamiento de la Naturaleza, dedicando parte de sus trabajos al movimiento. Una de sus propuestas fue que un objeto caía tanto más rápido cuanto mayor fuera su masa. Así, según él, una piedra caía antes que una bola de trapo y una bola de cañón antes que una pluma de ave.



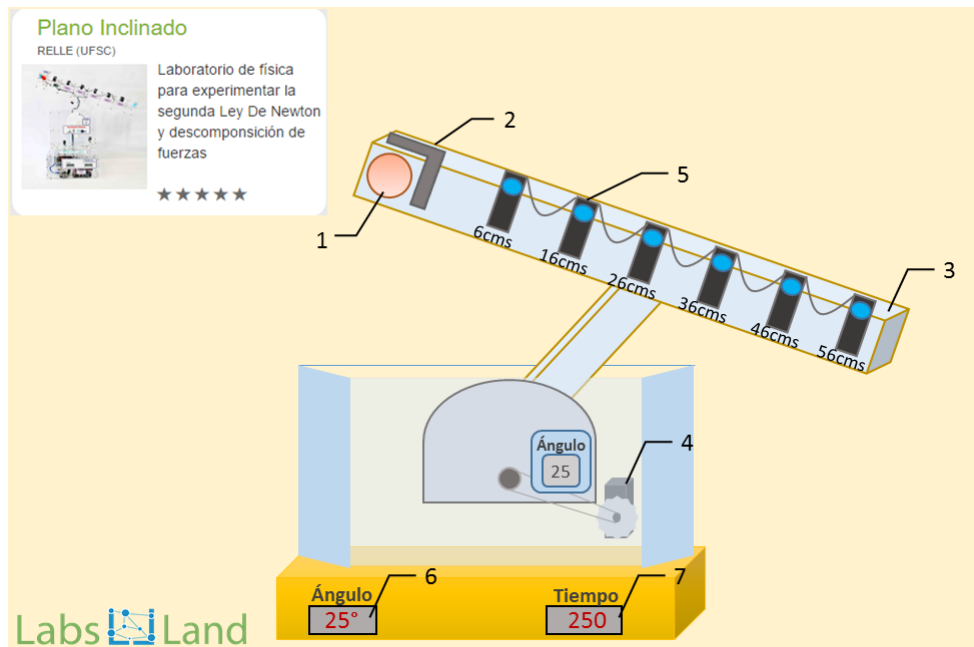
Galileo estaba de acuerdo con el planteamiento de Aristóteles, pero decía que hacía falta un experimento que lo comprobara. Como Galileo vivía en Pisa, vio que la torre inclinada de esta ciudad era un lugar perfecto para completar un experimento que confirmara científicamente lo anterior. Subió a la torre, lanzó dos objetos distintos y midió el tiempo de caída. Esa fue para él la parte difícil. Comprobó que este tiempo era idéntico en ambos casos, pero le pareció que algo había hecho mal y lo repitió. Sin embargo, ocurrió lo mismo: distintos objetos proporcionaban los mismos tiempos de caída. ¿Qué estaba pasando?

Posteriormente dedicó tiempo a la caída de objetos por planos inclinados ya que le permitían medir mejor el tiempo. En esos experimentos encontró resultados que afirmaban sus teorías, pero también encontró otros que no.

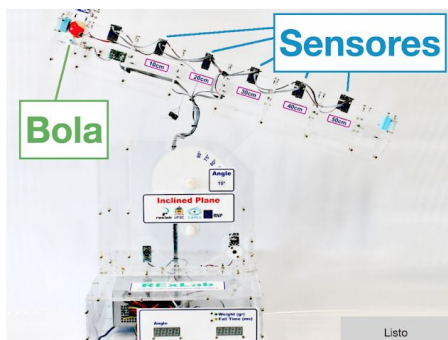
¿Te animas a investigar un poco sobre la caída de objetos?

2. Desarrollo del experimento y teoría

El experimento es bien sencillo: situar un objeto en un plano, inclinarlo unos grados, lanzar el objeto y medir el tiempo que tarda en bajar por el plano. El experimento cuenta con varios sensores de manera que indique cuánto tiempo ha pasado desde que el objeto comienza a caer hasta que pasa frente a cada sensor.



Plano Inclinado



Vista previa de configuración



Arrastra el control del anillo superior para controlar el ángulo del plano.

Empezar experimento ahora

Una vez elegido un ángulo, haz click en el botón de EMPEZAR EXPERIMENTO y el experimento comenzará.

Por otra parte, la Física nos indica que para un Movimiento Rectilíneo Uniformemente Acelerado (MRUA) el espacio recorrido por un objeto al ser soltado es:

$$h = e(t) = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$$

Donde a es la aceleración que soporta el objeto al ser soltado. En el caso de Galileo el objeto fue soltado y atraído por la fuerza de la gravedad, lo cual

acelera el objeto con un valor a . ¿Cuánto es g ? Vamos a calcular g y vamos a establecer otras conclusiones.

3. Toma de medidas y graficación del experimento

Medidas de la caída libre de un objeto y cálculo de la aceleración g

Simplemente elegimos un ángulo de 90° , lanzamos el objeto y anotamos los resultados. En este caso vamos a repetir el experimento tres veces para intentar atenuar los errores del experimento. En clase cada grupo de alumnos puede hacer un experimento y luego compartir entre todos los resultados. Además, si un resultado difiere mucho de los otros, entonces sus resultados pueden ser eliminados. Los datos deben ser analizados.

Los sensores se encuentran a seis distancias medidas en centímetros: 6, 16, 26, 46 y 56 cm.



Plano Inclinado

Vista previa de configuración

15

Arrastra el control del anillo superior para controlar el ángulo del plano.

Empezar experimento ahora

Una vez elegido un ángulo, haz click en el botón de EMPEZAR EXPERIMENTO y el experimento comenzará.

Resultados

Ángulo del plano inclinado:

Sensores	1°	2°	3°	4°	5°	6°
d (cm)	6	16	26	36	46	56
t (ms)	119	215	282	337	385	426

	0 cm	6 cm	16 cm	26 cm	36 cm	46 cm	56 cm
Exp 1	0 ms	71 ms	158 ms	220 ms	267 ms	306 ms	340 ms
Exp 2	0 ms	72 ms	158 ms	219 ms	265 ms	304 ms	338 ms
Exp 3	0 ms	78 ms	163 ms	224 ms	270 ms	309 ms	343 ms
Media	0 ms	73,67 ms	159,66 ms	221 ms	267,33 ms	306,33 ms	340,33 ms

En este momento, para analizar los datos anteriores se puede enfocar el problema matemáticamente, desde la fórmula o gráficamente. Hagámoslo de esta segunda forma.

Dist. en m	t en s	t ² en s ²
0	0	0
0,06	0,07367	0,0054272
0,16	0,15966	0,0254913
0,26	0,221	0,048841
0,36	0,26733	0,0714653
0,46	0,30633	0,0938380
0,56	0,34033	0,1158245

Los datos anteriores se pueden graficar como distancia vs tiempo, o mejor aún distancia vs tiempo al cuadrado. De esta forma vemos que la relación es lineal lo que nos permite reafirmar lo ya dicho con la fórmula, que la distancia es lineal con el cuadrado del tiempo.



¿Cuál es la pendiente de la recta anterior? Teniendo en cuenta que la recta respecto de t^2 , entonces:

$$pdte = \frac{\Delta e}{\Delta t} = \frac{0,56-0,06}{0,1158-0,0054} = 4,53 \text{ m/s}^2$$

Recuperando la fórmula y teniendo en cuenta que en caída libre la aceleración es g :

$$h = e(t) = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2, \text{ entonces } g = 2x \frac{\Delta e}{\Delta t^2}$$

$$g = 2x \frac{0,56-0,06}{0,1158-0,0054} = 9,06 \text{ m/s}^2$$

Sin embargo, si cogemos toda la tabla, desde 0 cm y 0 s, entonces

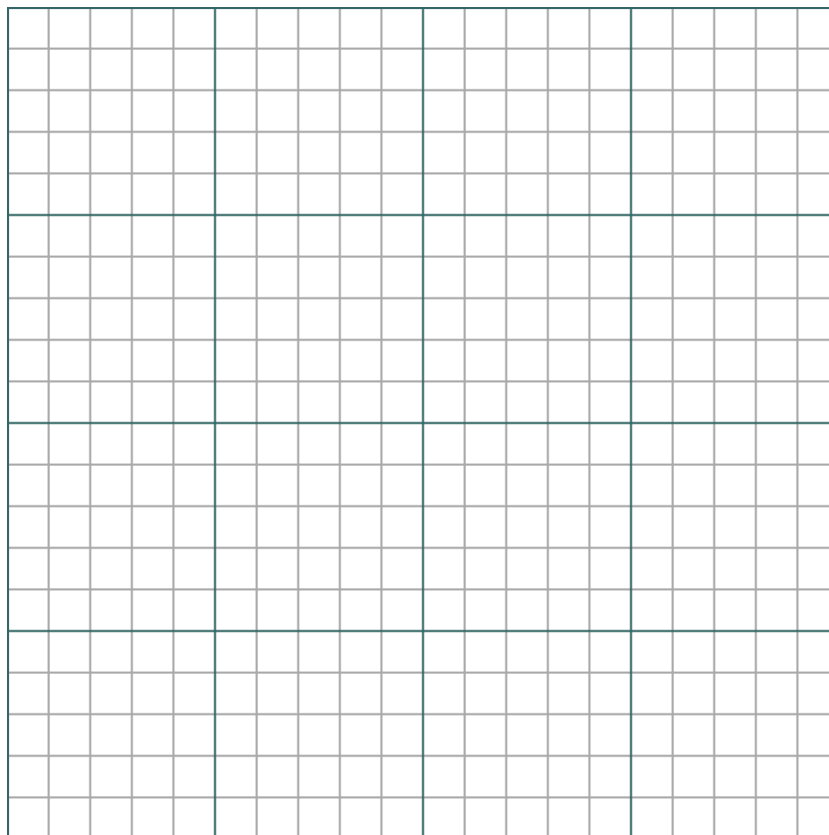
$$g = 2x \frac{0,56-0}{0,1158} = 9,67 \text{ m/s}^2$$

El resultado es bueno y se acerca en ambos casos al teórico de 9,81 m/s².

4. Análisis de resultados del experimento y evaluación

1. Completa tu tabla, dibuja tu gráfica y obtén el valor de α

	0 cm	6 cm	16 cm	26 cm	36 cm	46 cm	56 cm
Exp 1	0 ms						
Exp 2	0 ms						
Exp 3	0 ms						
Media	0 ms						
t^2	0 ms						



¿Se parece el valor obtenido al teórico de $9,81 \text{ m/s}^2$?:

2. Seguramente el valor que has obtenido de α no es exacto. Modifica el instante en el que la bola alcanza los 56 cm para que el resultado sea $9,8$

m/s^2 o un valor casi igual. O sea, haz trampas: inventa el valor de t que hace que a sea 9,81. ¿Has modificado mucho el valor de t en 56 cm? ¿cómo valoras el efecto de t en a ? ¿lo esperabas? ¿a qué se debe?

Respuesta y justificación:

3. Si la bola ha tardado 0,340 segundos en caer 56 centímetros ¿cuánto tardará en caer 112 centímetros? ¿el doble? ¿cuánto?

Respuesta y justificación:

4. ¿A qué velocidad se encuentra la bola en cada punto? Recuerda que la velocidad se obtiene por cálculo diferencial, que se puede aproximar mediante un cálculo incremental.

$$v = \frac{de}{dt} = \frac{\Delta e}{\Delta t}$$

	0 cm	0,06 m	0,16 m	0,26 m	0,36 m	0,46 m	0,56 m
Tiempo en s							
Velocidad en m/s	0 m/s						

¿Cómo has hecho el cálculo?:

5. Las expresiones siguientes expresan la velocidad para un objeto MRUA en función de la posición y del instante. ¿Puedes comprobar cuán lejos está el cálculo experimental de las velocidades calculadas según el modelo matemático?

En un instante determinado $v = a \cdot t = g \cdot t$

En una posición determinada $v = \sqrt{2 \cdot g \cdot d}$

	0 cm	0,06 m	0,16 m	0,26 m	0,36 m	0,46 m	0,56 m
Tiempo en s							
Velocidad experimental en m/s	0 m/s						
Velocidad en t en m/s							
Velocidad en d en m/s							
Error experimental I							
Error experimental II							

En la primera fórmula de v se usa el valor $9,81 \text{ m/s}^2$ para g y el valor t obtenido de forma experimental.

Para la segunda fórmula se usa el valor $9,81 \text{ m/s}^2$ para g y el valor de d de la tabla (0,06-0,16...).

6. Como puedes observar en ninguna de las actividades anteriores ha salido la masa ¿depende la velocidad de un objeto o la aceleración g de la masa del objeto en cuestión?

Accede al siguiente video: <https://youtu.be/E43-CfukEgs> ¿Es un video auténtico, o es falso? ¿Te lo crees?

En una encuesta, ante la pregunta: ¿qué cae antes, una pelota de béisbol o una canica? El 90% dijo que la pelota de béisbol, el 10% que las dos a la vez y nadie dijo que caía antes la canica. ¿En qué grupo te sitúas?

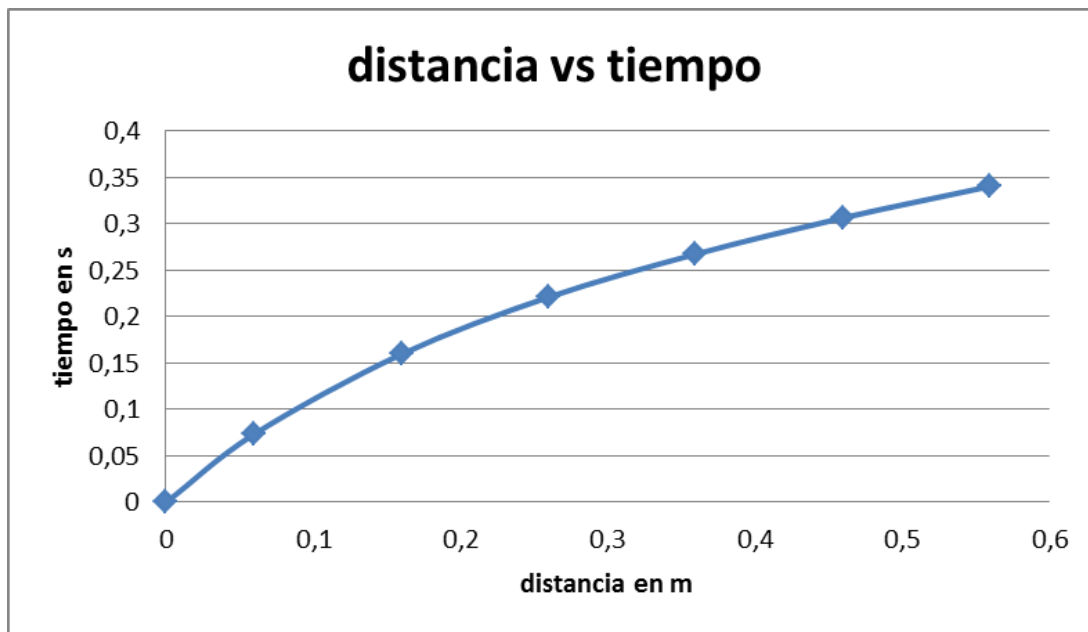
5.

Comentarios para el profesor

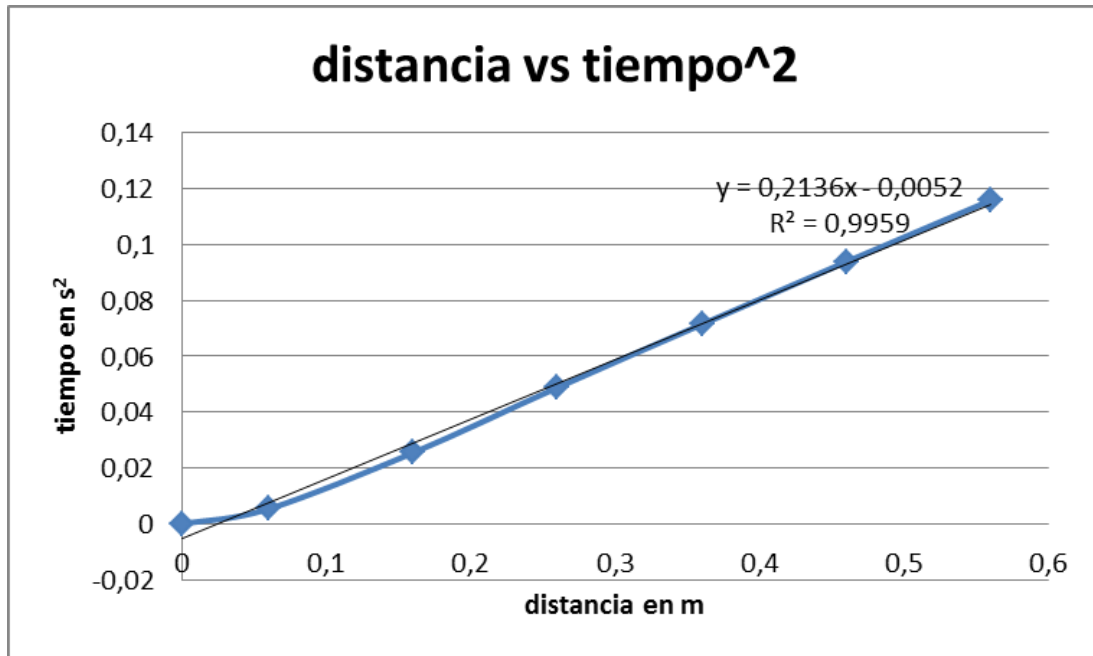
Los datos obtenidos por mí son.

	0 cm	6 cm	16 cm	26 cm	36 cm	46 cm	56 cm
Exp 1	0 ms	71 ms	158 ms	220 ms	267 ms	306 ms	340 ms
Exp 2	0 ms	72 ms	158 ms	219 ms	265 ms	304 ms	338 ms
Exp 3	0 ms	78 ms	163 ms	224 ms	270 ms	309 ms	343 ms
media en ms	0 ms	73,67 ms	159,66 ms	221 ms	267,33 ms	306,33 ms	340,33 ms
t2 en s	0	0,00544054	0,02549132	0,048841	0,07146533	0,09383807	0,11582451

Si dibujamos distancia en cm frente a tiempo en segundos.



Si dibujamos la distancia frente al tiempo al cuadrado, vemos que la relación es lineal.



Según lo anterior

$$pdte = \frac{0,56-0}{0,11582} = 4,835 \text{ m/s}^2$$

Por tanto α es 9,67 m/s², lo que es un valor muy cercano al ideal de 9,81 m/s²

$$g = 2 \cdot pdte = 9,67 \text{ m/s}^2$$

El valor de α se ha obtenido calculando el cociente incremental de todos los valores, pero también se podrían haber usado solo los últimos, o cualquier subconjunto de ellos. Por ejemplo, usando solo los últimos.

$$g = pdte \cdot 2 = \frac{0,56-0,46}{0,11582-0,093838} \cdot 2 = 9,0983 \text{ m/s}^2$$

Este valor de 9,0983 m/s² queda más alejado del ideal de 9,81 m/s².

La pregunta es ¿cuánto debe cambiar el valor de t₂ para que el valor calculado sea más cercano al ideal? Si cambiamos el tiempo final por 0,11452 entonces

$$g = pdte \cdot 2 = \frac{0,56-0,46}{0,11452-0,093838} \cdot 2 = 9,67 \text{ m/s}^2$$

Un cambio de 1,3 milisegundos ha propiciado que la α obtenida sea igual a la anterior. Esta diferencia de 1,3 ms bien puede ser vista como un error del sensor, etc.

En caer 112 cm no tardará el doble, 0,23164 s, ya que la bola está acelerada por la gravedad. En este caso hay que usar la expresión

$$h = e(t) = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2, \quad 1,12 = \frac{1}{2} \cdot 9,81 \cdot t^2, \quad t = 0,4778 \text{ s}$$

Usando nuestros datos hay que mirar al comportamiento lineal de t^2 . Puesto que es lineal ahora sí que podemos decir que la bola tardará el doble de s^2 en recorrer el doble de distancia, de 0,56 m a 1,12 m.

$$t^2 = 0,11582 \cdot 2 \text{ y por tanto } t = \sqrt{0,11582 \cdot 2} = 0,4813 \text{ s}$$

Ambos resultados son muy similares. El primero es el ideal y el segundo es extrapolado de los datos tomados en el experimento.

Para calcular la velocidad con las medidas simplemente hay que recordar que la velocidad es un cálculo diferencial que puede expresarse incrementalmente. Hay que aplicar la expresión anterior para cada tramo de 10 cm.

$$v = \frac{dx}{dt} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

	0 cm	6 cm	16 cm	26 cm	36 cm	46 cm	56 cm
Exp 1	0 ms	71 ms	158 ms	220 ms	267 ms	306 ms	340 ms
Exp 2	0 ms	72 ms	158 ms	219 ms	265 ms	304 ms	338 ms
Exp 3	0 ms	78 ms	163 ms	224 ms	270 ms	309 ms	343 ms
media en ms	0	73,67	159,66	221	267,33	306,33	340,33
t2 en s	0	0,00544054	0,02549132	0,048841	0,07146533	0,09383807	0,11582451
velocidad		0,81444279	1,16292592	1,63025758	2,15842866	2,56410256	2,94117647

Lo ideal es que esos tramos fueran de 1 cm, o mejor aún, que fueran infinitesimales. En cualquier caso se puede ver que la velocidad va aumentando al ritmo de la aceleración a

Tiene sentido observar las diferencias que hay entre la velocidad medida experimentalmente y la velocidad calculada según las dos expresiones siguientes. Ambas expresiones debían ofrecer un mismo valor, pero no lo hacen ya que usan valores experimentales para el tiempo. En la tabla se puede ver que el error se va reduciendo poco a poco según la bola se acelera más.

	0 cm	0,06 m	0,16 m	0,26 m	0,36 m	0,46 m	0,56 m
Tiempo en s	0	0,07376	0,15966	0,221	0,26733	0,30633	0,34033
Velocidad experimental en m/s		0,813449024	1,16414435	1,63025758	2,15842866	2,56410256	2,94117647
Velocidad en t en m/s	0	0,7235856	1,5662646	2,16801	2,6225073	3,0050973	3,3386373
Velocidad en d en m/s	0	1,084988479	1,77177877	2,25858363	2,65766815	3,00419706	3,31469456
Error experimental I		-0,08986342	0,40212025	0,53775242	0,46407864	0,44099474	0,39746083
Error experimental II		0,271539455	0,60763441	0,62832605	0,49923949	0,4400945	0,37351809

Como complemento al vídeo, puede ser interesante trabajar con el laboratorio virtual (no real) accesible en:

<http://go-lab.gw.utwente.nl/production/gravityDrop/build/gravityDrop.html?p=review>