



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DEL DISEÑO

Trabajo de Fin de Grado

Caracterización de la aceleración de un juego de
poleas con una masa variable mediante el sensor de
aceleración de un Smartphone

Autor: Antonio Penadés Plá

Tutor: Juan Antonio Monsoriu Serra
Cotutor: Juan Ángel Sans Tresserras

Julio 2018



Índice general

1. Memoria.....	3
2. Pliego de condiciones	27
3. Presupuesto.....	33



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DEL DISEÑO

Trabajo de Fin de Grado

Caracterización de la aceleración de un juego de
poleas con una masa variable mediante el sensor de
aceleración de un Smartphone

1. Memoria



Índice

1. Objetivo.....	5
2. Justificación	6
3. Factores a tener en cuenta	6
3.1. Factores para la optimización del sistema	7
3.2. Factores de gestión.....	7
3.3. Factores económicos	7
3.5. Factores temporales.....	7
4. Planteamiento de opciones, posibles alternativas, construcción y montaje.....	8
4.1. Sistema experimental propuesto.....	8
4.2. Elección de sistema de obtención de datos	8
4.3. Elección del material granular de la masa variable.....	9
4.4. Elección del recipiente para el material granular	9
4.5. Diseño del recipiente cónico y fabricación	10
4.6. Sistema de sujeción del Smartphone y sus posibles modificaciones.....	12
4.7. Montaje del sistema y aplicación del Smartphone	12
5. Desarrollo teórico del experimento	16
5.1. Introducción teórica.....	16
5.2. Introducción de una masa variable en un sistema de poleas ..	16
5.3. Otras formulas dinámicas	19
5.4. Simulación matemática del sistema.....	19
6. Resultados experimentales	21
6.1. Datos y valores conocidos	22
6.2. Transferencia del archivo de datos obtenido.....	22
6.3. Estudio de los datos obtenidos.....	23
6.3.1. Cálculo de alfa mediante video.....	23
6.3.2. Cálculo de alfa mediante Smartphone.....	24
6.3.3. Comparación entre ambos métodos.....	25

1. Objetivo

El objetivo de este proyecto es la caracterización de la aceleración de un sistema de poleas con masa variable en uno de sus extremos, mediante el uso del sensor de aceleración de un teléfono móvil inteligente (Smartphone). Para ello se ha montado un sistema (**fig. 1**) con un número reducido de componentes, sin ser éstos demasiado complejos o de complicada fabricación. El objetivo es lograr un sistema que alcance un alto grado de precisión en la medición experimental de variaciones en la aceleración del sistema.

Mediante este sistema se pretende observar como varía la aceleración de nuestro sistema de poleas con una masa variable, con el tiempo. Para obtener los datos de las diferentes experiencias se usará el sensor de movimiento (acelerómetro) de un Smartphone y se registrarán estos datos de la aceleración en función del tiempo mediante una aplicación gratuita de éste.

El proyecto surge por el interés del Departamento de Física Aplicada de la Universidad Politècnica de Valencia en disponer de un sistema de este tipo en sus laboratorios y su aplicación para realizar una nueva practica de laboratorio o demostración de aula para las asignaturas de Física de los primeros cursos que se imparten en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño (ETSID), permitiendo a los alumnos, no sólo conocer la teoría, sino también, hacer uso de la diversa instrumentación de sus laboratorios.



Figura 1. Sistema de poleas con masa variable



2. Justificación

Las universidades españolas están experimentando una notable mejoría en lo que a medios técnicos se refiere, lo que permite a los alumnos no sólo conocer la teoría y ecuaciones de los sistemas físicos, sino también hacer uso de la diversa instrumentación de sus laboratorios para complementar y facilitar su estudio. Estas prácticas facilitan en gran medida la labor de los profesores para hacer llegar a los alumnos conceptos que pueden resultar complejos, así como complementar su formación en destrezas transversales a la propia medida.

En los últimos años, la enseñanza de la Física y de las ciencias en general se ha venido transformando a métodos más flexibles y abiertos, marcadas por la necesidad de sustituir las estrategias de transmisión-recepción por otras que orienten el aprendizaje como una tarea de indagación que favorezca la participación de los estudiantes en la construcción de los conocimientos. Para lograr lo anterior, se propone la necesidad de enseñar a buscar respuestas a través del análisis, la observación y la experimentación.

Una forma de llamar el interés de los alumnos es a través de aparatos electrónicos cercanos a éstos, y qué mejor que un Smartphone. Este es un dispositivo con infinidad de utilidades debido a la multitud sensores y aplicaciones que contienen, pero que la gente en general desconoce, por lo que darle otra utilidad a los Smartphone es una forma de motivar al alumno para que investigue y pueda sacar el máximo provecho.

3. Factores a tener en cuenta

Para el correcto desarrollo de este trabajo, se requiere el montaje de un sistema que permita la caracterización de las variaciones en aceleración de un sistema de poleas con masa variable en uno de sus extremos, mediante el sensor de aceleración de un Smartphone.

Esto conlleva diseñar ciertas piezas, necesarias para la realización del experimento, que no se pueden obtener de forma comercial directamente, adquirir el material necesario para fabricarlas y su propia realización. Se requiere también, una posterior investigación científica analizando la puesta a punto, el desarrollo de los experimentos, la toma de datos, la realización de posibles cálculos y que culmine en la posterior obtención de conclusiones.

Para la realización del proyecto se ha hecho uso de materiales específicos propiedad de la escuela, de diversas herramientas y acceso a espacios adecuados para ello. Para la tarea de construcción se dispondrá de un espacio facilitado por el departamento de Física Aplicada en el Laboratorio de Física de la ETSID. Los detalles sobre los materiales y las herramientas utilizadas se incluyen en el apartado Presupuesto de la memoria.

El conjunto de herramientas o maquinaria a utilizar, serán las disponibles en el departamento de Física de la ETSID.



3.1. Factores para la optimización del sistema

Dado que el sistema se va a utilizar en las prácticas del departamento de Física, y dado que el tiempo de estas está limitado por los horarios, es importante que el tiempo de montaje del sistema sea lo más limitado posible, así como tener unas instrucciones claras y concisas. Para ello se necesitan elementos de montaje y desmontaje rápido y fácil, para que los alumnos puedan dedicar el máximo tiempo posible a la realización del experimento en sí. Además, debe ser un sistema que necesite poco mantenimiento y puesta a punto para asegurar su durabilidad.

El conjunto final debe presentar una rigidez y solidez aceptables, donde las uniones entre las piezas sean suficientemente consistentes, para poder desempeñar su función repetidamente sin sufrir averías o elevado desgaste por su uso, ya que van a estar expuestas a un uso frecuente por diferentes grupos de estudiantes.

El diseño y acabado de las piezas no debe representar ningún peligro a la hora de su manipulación por los alumnos, técnicos o profesores, como puedan ser cortes u otro tipo de lesión, causada por un mal estado o acabado de alguna pieza del sistema.

Se debe tener en cuenta el peso del sistema y sus componentes para facilitar su manipulación y traslado.

Los materiales elegidos para fabricar los diferentes elementos del sistema deben ser de fácil mecanizado para que pueda ser cortado y trabajado convenientemente en los distintos procesos de fabricación, teniendo en cuenta que su construcción se va a realizar manualmente en los laboratorios de Física.

3.2. Factores de gestión

El responsable del diseño y construcción del sistema de análisis de la dependencia temporal de la aceleración de un sistema de poleas con masa variable es el autor de este proyecto, bajo la supervisión del tutor del mismo.

3.3. Factores económicos

En el caso del presente proyecto, a parte de su diseño y caracterización experimental, incluye la fabricación de parte del sistema. Existe un presupuesto concreto para el mismo, más adelante se hace el correspondiente estudio económico para comprobar la viabilidad de la construcción de éste y su coste.

3.4. Factores temporales

Existe una limitación temporal concreta para la construcción del sistema que establece como fecha máxima el inicio del curso académico 2018/2019 puesto que se pretende su aplicación y uso en prácticas de laboratorio y demostraciones de aula en las asignaturas de Física de primeros cursos de los grados que se cursan en la ETSID.

4. Planteamiento de opciones, posibles alternativas, construcción y montaje.

A la hora de escoger los pasos a seguir en el proceso de fabricación/montaje se plantean diversas opciones entre las que hay que valorar las más adecuadas en cuanto a la economía, la función o la sencillez de cada una.

A continuación, se procede a recoger aquellas alternativas más relevantes.

4.1. Sistema experimental propuesto

En base al material y espacio disponible, al desarrollo teórico llevado a cabo y las simulaciones realizadas se decidió usar el sistema representado en la **fig. 2**.



Figura 2. Sistema de poleas con masa variable

El sistema consiste en usar un juego de dos poleas sujetas a dos pies con varilla vertical. En uno de los extremos se encontraría una masa constante mientras que en el opuesto colocaríamos un objeto con una masa variable. La masa de este último objeto irá

disminuyendo con el tiempo una vez iniciado el ensayo, lo cual mostrará los valores de aceleración tomados por el objeto situado en el otro extremo.

4.2. Elección de sistema de obtención de datos

La obtención de datos en nuestro experimento es una de las partes fundamentales del sistema, si no la parte más importante. Es necesario usar un sistema que refleje la máxima precisión en la obtención de datos, disminuyendo al máximo los errores e incertidumbres inherentes a la experiencia.

Se opta en este caso por la utilización del acelerómetro de un Smartphone, gracias al uso de una aplicación. Esta aplicación nos permite obtener valores de aceleración en el Smartphone, los recopila, los representa y permite su exportación en forma de archivo a cualquier dispositivo, para si es necesario, un posterior estudio de los datos en cualquier otro programa compatible.

Este proceso de obtención de datos muestra una gran adaptabilidad a distintos tipos de sistemas, además de, teniendo en cuenta la abundancia de dispositivos de este tipo hoy en día, resultar una manera rápida y fácil de entender la toma de datos.



Figura 3. Smartphone con aplicación

4.3. Elección del material granular de la masa variable

Después de valorar las distintas opciones como material a usar como masa variable, se decidió usar azúcar en este experimento. Las razones por las que se decidió este compuesto son: su fácil adquisición en cualquier establecimiento alimenticio y propiedades parecidas a la arena y a la sal. Se descartó el uso de arena de la playa por su irregularidad dependiendo de la zona de la que se sacara la muestra y por su poca homogeneidad.

4.4. Elección del recipiente para el material granular

Para tomar la decisión sobre que recipiente u objeto utilizar, para albergar el azúcar que se va utilizar como masa, hay un número de factores determinantes. Es muy importante

que el material tuviese el menor rozamiento posible con las paredes del recipiente y que la ratio de caída del azúcar fuese constante durante todo el experimento. Para ello se debe evitar cualquier tipo de deformación, alteración, saliente etc. en el recipiente.

Se debe intentar que las fuerzas entre los granos de azúcar no entorpezcan el flujo de salida constante de material y no se bloquee o ralentice.



Figura 4. Recipiente cónico de plástico

Para ello la mejor opción fue diseñar un objeto cónico con tamaño suficiente para albergar aproximadamente 500g de azúcar (**fig. 6**).

4.5. Diseño del recipiente cónico y fabricación

Para el diseño del recipiente cónico se realizó una plantilla en papel del elemento geométrico en sí, pero sin base. La **fig. 5** representa la plantilla usada para reproducir la forma del cono en plástico blando transparente.

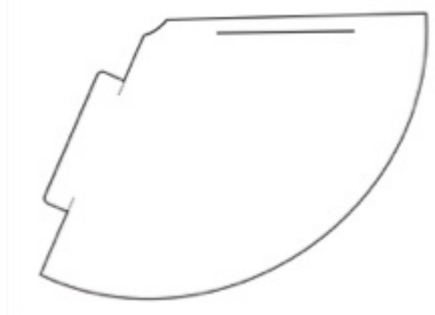


Figura 5. Plantilla cono

Se copió y se cortó el dibujo, pegándose los extremos con cinta americana en el exterior del cono, ya fabricado en plástico.

Posteriormente se realizaría el orificio de salida del azúcar conveniente para el experimento, el cual según los cálculos de las simulaciones (descritas en el apartado 5.4) debe estar en unos valores de alfa de entre 0,05 y 0,06.

Este recipiente se usa como referencia para poder ir modificándolo poco a poco hasta encontrar un valor de alfa aceptable para el experimento. Se ha usado la cinta americana para facilitar el despliegue de la pieza y poder así modificar posteriormente la plantilla con

la apertura final de la pieza. Una vez se obtenga el alfa deseado el recipiente será pegado con silicona caliente mediante una pistola de silicona eléctrica.



Figura 6. Pistola eléctrica de silicona caliente

Una vez construido el recipiente hay que ingeniar un soporte para que este pueda ir unido al juego de poleas. Se decide utilizar dos segmentos de cuerda iguales. Estos segmentos de cuerda irán unidos en su mediatriz por un nudo cuadrado el cual al mismo tiempo sujetará en su centro un gancho metálico engomado.



Figura 7. Dibujo 3D nudo cuadrado realizado



Figura 8. Gancho metálico recubierto de goma

Los cuatro extremos de cuerda, una vez bien atado el gancho metálico, serán pegados con silicona caliente, opuestos dos a dos en forma de cruz, lo cual hará que el recipiente plástico este sujeto de forma uniforme y regular en cualquier punto.



Figura 9. Recipiente cónico de plástico

4.6. Sistema de sujeción del Smartphone y sus posibles modificaciones

Para la sujeción del Smartphone en el sistema de poleas se va a utilizar un soporte de móvil comercial común para automóvil, este soporte presta una sujeción más que suficiente al Smartphone para la realización del experimento.



Figura 10. Soporte para el Smartphone

El soporte se modifica añadiendo en uno de sus extremos un gancho metálico pequeño el cual permitirá que se pueda enganchar a la cuerda del sistema de poleas.

4.7. Montaje del sistema y aplicación del Smartphone

Para el montaje completo del sistema se necesita contar con diferentes componentes, la gran mayoría se pueden obtener de forma comercial:

Pies de trípode con mástil metálico:

Se va a contar con dos pies por sistema. La disposición de estos será la mostrada en la **fig. 11**, en estos pies se colocarán posteriormente las clavijas para la sujeción de las poleas.

Es importante que la colocación de estos pies sea lo más simétrica posible para evitar cualquier tipo de desviación en el recorrido de la cuerda en las poleas. Se cuenta con dos varillas roscadas a los pies de una altura de 50 cm.



Figura 11. Pie de trípode con mástil metálico

Clavijas de sujeción:

Para poder sujetar bien las poleas a las varillas metálicas de los pies se van a usar unas clavijas con tornillo roscado para su amarre. Ofrecen una sujeción firme y segura para el transcurso del experimento y las encontramos como material común en el laboratorio.



Figura 12. Clavija de sujeción

Es importante que, a la hora de colocar las clavijas en los mástiles metálicos, estas dos se sitúen a la misma altura y lo más arriba posible en el mástil.

Poleas de laboratorio:

Se decide usar como poleas, una pareja de poleas idénticas (características, especificaciones) que se encuentran como material habitual del laboratorio de física en la escuela.



Figura 13. Polea de laboratorio

Hay que tener en cuenta a la hora de su colocación que se encuentren ambas en el mismo eje alineadas y de forma totalmente vertical. Como en la imagen.

Cuerda del sistema:

Para la cuerda del sistema de poleas, a la que van a ir sujetas ambas masas, el teléfono y el recipiente de azúcar; se utiliza el mismo tipo de cuerda usada para la sujeción del recipiente cónico. Esta vez se contará con una longitud de cuerda de 1,80m. En los extremos se realizaran dos lazos en los que poder colgar de ellos ambas masas mediante los ganchos metálicos que llevan instalados.



Figura 14. Cuerda del sistema

Recipiente para el vertido de azúcar:

Durante el transcurso del experimento, es importante que el azúcar no se derrame por los alrededores y que sea posible su reutilización durante los diferentes ensayos. Por ello se decide situar un recipiente justo debajo del eje de recorrido del recipiente cónico del azúcar.

Al finalizar cada ensayo, el azúcar vertido sobre la bandeja se pesará de nuevo, se comprobará que coincida con el peso establecido para la prueba y se volverá a utilizar para el siguiente. De no ser así se reajustará la cantidad de azúcar añadiendo el restante hasta que la masa sea correcta.



Figura 15. Recipiente para el vertido de azúcar

Aplicación del Smartphone:

Como ya se ha mencionado anteriormente, para la caracterización de la variación en aceleración del sistema de poleas con el tiempo se va a hacer uso de un Smartphone. Este Smartphone contará con una aplicación llamada *Physics ToolBox*, disponible gratuitamente en *Google Play Store* para los dispositivos Android.



Figura 16. Icono de la aplicación

Esta aplicación nos permite medir la aceleración del dispositivo móvil usando su acelerómetro, y si dispone de ello, también su giroscopio para según qué toma de medidas.

La aplicación muestra en pantalla a tiempo real una gráfica de la aceleración a la que está sometido el teléfono móvil, la gráfica puede mostrar valores de fuerza G (N) frente al tiempo (s) o la aceleración en valores en m/s^2 . Para esta segunda opción, que es la que utilizaremos en nuestro experimento se requiere que el teléfono móvil esté dotado de giroscopio.

Esta aplicación nos permite guardar los resultados de cada ensayo en un archivo con la extensión “.csv”. El cual se puede convertir en un fichero de datos Excel, en el cual, posteriormente se realizarán los debidos análisis de datos.

La **fig. 17** muestra un ejemplo de los datos recopilados por la aplicación como archivo csv.

Count	Time (ms)	X	Y	Z
1	0	0,21793	0,14982	9,83469
2	9	0,21793	0,12258	9,74494
3	19	0,17707	0,12258	9,86034
4	29	0,14982	0,12258	9,92445
5	39	0,1362	0,12258	9,86034
6	49	0,17707	0,10896	9,75776
7	59	0,1362	0,12258	9,73211
8	71	0,14982	0,08172	9,80905
9	82	0,14982	0,0681	9,74494
10	92	0,2043	0,04086	9,83469
11	105	0,23155	0,01362	9,83469
12	118	0,21793	0,01362	9,86034
13	126	0,24517	0,01362	9,82187
14	136	0,21793	-0,02724	9,86034
15	147	0,2043	-0,04086	9,80905
16	157	0,2043	-0,05448	9,80905
17	167	0,17707	-0,0681	9,73211
18	177	0,16344	-0,05448	9,69365
19	188	0,10896	-0,09534	9,80905
20	198	0,0681	-0,08172	9,77058
21	208	-0,02724	-0,08172	9,83469
22	218	-0,02724	-0,09534	9,83469
23	228	-0,05448	-0,08172	9,73211

Figura 17. Fragmento del archivo de salida de la aplicación PhysicsToolBox

5. Desarrollo teórico del experimento

En este apartado se tratará en detalle el desarrollo teórico en el cual el experimento está basado.

5.1. Introducción teórica

En este primer apartado describiremos el desarrollo teórico de un sistema con polea y dos masas constantes a los extremos:

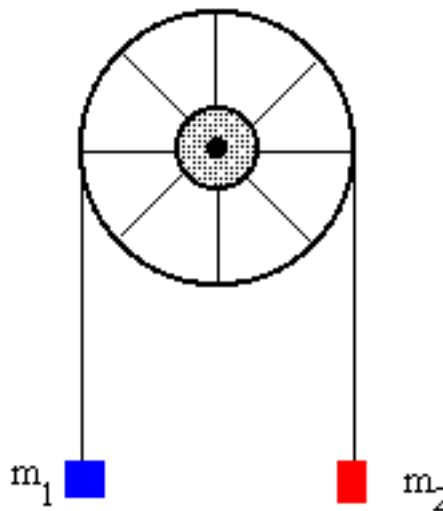


Figura 18. Dibujo esquemático polea con dos masas

Aplicaremos la segunda ley de Newton a cada cuerpo obteniendo las siguientes fórmulas:

Para el cuerpo m_1 :

$$T - m_1 g = m_1 a$$

Para el cuerpo m_2 :

$$m_2 g - T = m_2 a$$

Sabiendo que ambas tensiones son iguales, combinamos las ecuaciones de ambos cuerpos y despejamos la aceleración:

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

Una vez despejada la aceleración, conociendo los valores de las masas y la gravedad calcularíamos de forma sencilla la aceleración a la que se someten los cuerpos en el sistema.

5.2. Introducción de una masa variable en un sistema de poleas

En este apartado se explicará detalladamente el desarrollo teórico en el cual está basado el experimento del Proyecto.



En este caso se modificará el ejemplo de sistema anterior y el objeto m_2 pasará a ser de masa variable con el tiempo por lo que las ecuaciones se modificarán de la siguiente forma:

Volvemos a plantear ambas ecuaciones de la segunda ley de Newton para cada cuerpo:

Para el cuerpo m_1 :

$$T - m_1g = m_1a$$

Vemos que no se genera ningún cambio en la ecuación para el objeto m_1 de masa constante respecto al anterior caso.

Para el cuerpo m_2 :

Ahora nuestro cuerpo m_2 pasa a ser un cuerpo de masa variable por lo que su masa dependerá de la masa inicial, la ratio de caída del material granulado en función del tiempo (α) y del tiempo que discurra.

$$M = \text{Masa de azúcar inicial};$$

$$m_2 = M - \alpha t$$

donde alfa se expresa como:

$$\alpha = - \frac{dm_2}{dt}$$

Ahora mediante la ecuación del momento (P), que relaciona la masa y su velocidad, obtendremos la fuerza resultante en el cuerpo mediante su derivada:

$$P_2 = m_2v_2$$

$$\frac{dP_2}{dt} = \frac{dm_2}{dt} v_2 + m_2 \frac{dv_2}{dt} = -\alpha v + (M - \alpha t)a$$

Una vez obtenida la fuerza resultante podemos plantear la ecuación para el cuerpo m_2 :

$$(M - \alpha t)g - T = -\alpha v + (M - \alpha t)a$$

En este caso las tensiones son iguales para ambos cuerpos como en el ejemplo anterior por lo que nos dispondremos a combinar ambas ecuaciones para poder despejar la aceleración más adelante.

Ecuaciones de los dos cuerpos combinadas:

$$(M - \alpha t)g - m_1g = m_1a - \alpha v + (M - \alpha t)a$$

Derivamos la ecuación en función del tiempo para así conseguir tener la ecuación en valores de aceleración:

$$\frac{d}{dt} \Rightarrow -\alpha g = -2\alpha a + (m + M - \alpha t)\dot{a}$$

A partir de ahora usamos $m_1 = m$;

Separamos la aceleración en sus dos componentes, normal (a_n) y paralela (a_p):

$$a = a_n + a_p ;$$

$$\dot{a}_p = 0 ;$$

$$a_p = \frac{g}{2} ;$$

$$0 = -2\alpha a_n + (m + M - \alpha t)\dot{a}_n ;$$

$$2\alpha a_n = (m + M - \alpha t) \frac{da_n}{dt} ;$$

$$\int \frac{2\alpha dt}{m + M - \alpha t} = \int \frac{da_n}{a_n} ;$$

$$-2 \ln(m + M - \alpha t) = \ln a_n + C ;$$

$$a_n = \frac{C}{(m + M - \alpha t)^2}$$

Como la aceleración es el resultado de la suma de dos componentes de esta, la ecuación de la aceleración resultante del sistema será la siguiente:

$$a = \frac{g}{2} + \frac{C}{(m + M - \alpha t)^2}$$

Todavía quedará averiguar el valor de la constante C para lo cual vamos a suponer unas condiciones de $t = 0$ con $v_2 = 0$:

$$T - m_1 g = m_1 a_0$$

$$Mg - T = M a_0$$

Mediante estas ecuaciones de los cuerpos en las condiciones mencionadas anteriormente, obtenemos la ecuación de la aceleración del sistema en esas condiciones.

$$a_0 = g \frac{M - m}{m - M}$$

Conocida su ecuación de la aceleración cuando el sistema está en equilibrio en tiempo 0, podemos sustituir y proceder a obtener la ecuación de la constante C.

$$g \frac{M - m}{m + M} = \frac{g}{2} + \frac{C}{(m + M)^2}$$

Después de varios ajustes se obtiene la ecuación simplificada de C:

$$C = \frac{g}{2} (M^2 - 3m^2 - 2mM)$$

Una vez ya ha sido obtenida la ecuación de la constante C se procede a sustituir en la ecuación de la aceleración obtenida anteriormente. Realizando los ajustes pertinentes conseguimos la fórmula de la aceleración del sistema:

$$a[t] = \left(\frac{g}{2}\right) \left(1 + \frac{(M^2 - 3m^2 - 2mM)}{(m + M - \alpha t)^2}\right)$$

5.3. Otras fórmulas dinámicas

La ecuación final simplificada para el cálculo de la velocidad del sistema en función del tiempo es:

$$v[t] = -\frac{g t (2 m - 2 M + \alpha t)}{2 (m + M - \alpha t)}$$

Siendo la ecuación para el desplazamiento del sistema en función del tiempo:

$$x[t] = \frac{\left(g (\alpha t (6 m - 2 M + \alpha t) - 2 (3 m - M)(m + M)(\text{Log}[m + M] - \text{Log}[m + M - \alpha t]))\right)}{4 \alpha^2}$$

5.4. Simulación matemática del sistema

Se ha usado el programa *Mathematica* para obtener los valores teóricos esperados con los datos del sistema. El uso de este programa ha sido de gran importancia para poder analizar la factibilidad del sistema dependiendo de las masas seleccionadas.

Mediante la simulación matemática del experimento se ha podido averiguar para que valores de las masas, el experimento resultaba factible de realizar en las instalaciones de las que se dispone.

Manteniendo el valor de la masa del Smartphone y su soporte, se ha ido variando la cantidad de azúcar en el ensayo hasta obtener unos resultados óptimos para ello.

Para la elección de la masa de azúcar se ha tenido en cuenta la gráfica teórica obtenida por la simulación y que esta fuese lo suficiente descriptiva, cubriendo un rango amplio de aceleraciones. También se ha tenido en cuenta la distancia total que cada masa recorría en el sistema, ya que en ciertos casos el rango de valores de aceleración era amplio, pero resultaba imposible realizar dicho experimento por el elevado desplazamiento del sistema.

En las siguientes imágenes (**fig. 19** y **20**) se puede apreciar los resultados de una simulación para unas masas cualquiera.

```
WOLFRAM MATHEMATICA EDICIÓN PARA ESTUDIANTES Demostraciones | MathWorld | Comunidad Wolfram | Help
(* INTEGRALES *)
(* FUNCIONES *)
In[1]:= a[t_] := (g/2) (1 + (M^2 - 3m^2 - 2mM) / (m + M - t alfa)^2)
In[2]:= v[t_] := - (g t (2m - 2M + alfa t)) / (2 (m + M - alfa t))
In[3]:= x[t_] := (g (alfa t (6m - 2M + alfa t) - 2 (3m - M) (m + M) (Log[m + M] - Log[m + M - alfa t]))) / (4 alfa^2)
In[200]:= M = 0.270;
m = 0.220;
alfa = 0.0517;
g = 9.8;
Print["xmax="]
xmax = FindMaximum[x[t], {t, 2}][[1]]
Print["tv0="]
tv0 = t /. FindMaximum[x[t], {t, 2}][[2]]
Print["tmax"]
tmax = t /. FindRoot[x[t] == -xmax, {t, 3}][[1]]
xmax =
Out[200]= 0.696206
tv0 =
Out[201]= 1.93424
tmax
```

Figura 19. Desarrollo matemático en Mathematica

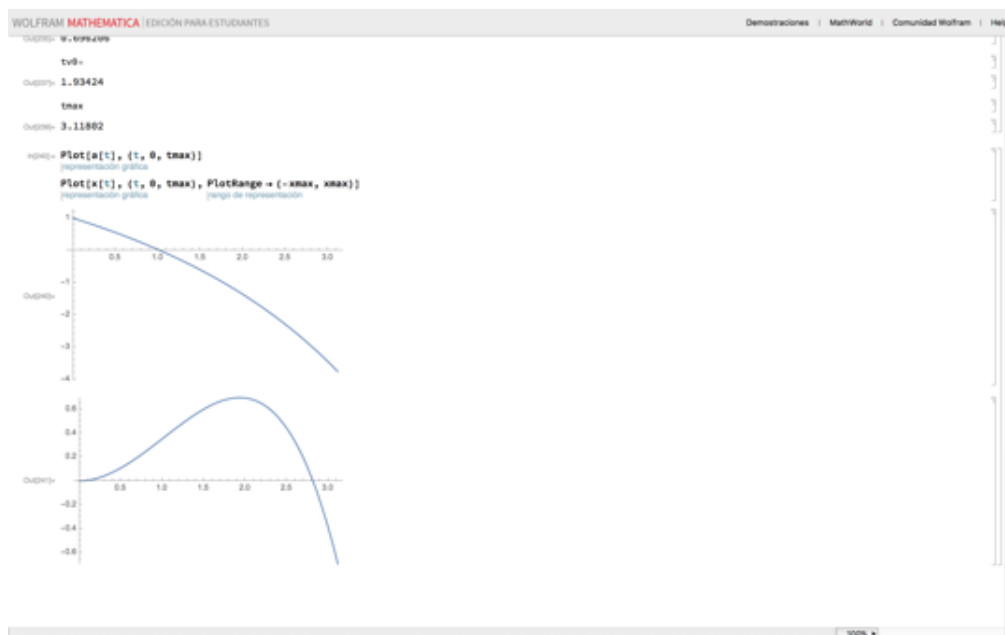


Figura 20. Resultados teóricos de la simulación



6. Resultados experimentales

Como se ha adelantado en apartados anteriores de esta memoria, se va a utilizar el sensor de movimiento (acelerómetro) de un Smartphone como sistema de adquisición de datos que nos permitirá el estudio de las variaciones de aceleración en un sistema de poleas con masa variable en un extremo. Para ello vamos a utilizar la aplicación para Smartphones llamada *Physics ToolBox*. Los datos recogidos por el acelerómetro serán ajustados mediante mínimos cuadrados para compararlos con los datos teóricos previamente calculados con el programa *Mathematica*.

Para ello se ha montado un sistema con un número reducido de componentes, sin ser éstos demasiado complejos o de complicada fabricación. Para la realización de esta prueba será necesaria la colaboración de dos estudiantes.

Los pasos diseñados para la realización correcta del experimento se describen a continuación:

- a) Se deberá colocar el teléfono móvil en el soporte correctamente centrado, se colocará en uno de los extremos de la cuerda con la aplicación en marcha.
- b) En el otro extremo deberá estar el segundo estudiante sujetando el recipiente cónico con la masa exacta de azúcar en él, se debe tener cuidado de taponar correctamente el orificio sin afectar a la instalación.
- c) Una vez ambos estudiantes estén preparados, el encargado del funcionamiento del Smartphone pondrá a grabar la toma de datos y soltará el móvil con cuidado; posteriormente se soltará también el recipiente de azúcar lo cual generará el inicio de nuestros datos válidos.
- d) El encargado del recipiente debe estar atento a cuando este llegue a la parte más alta y frenarlo a tiempo para evitar que el azúcar se vierta por los alrededores o que se dañe la instalación de alguna manera.
- e) El recipiente llega a la parte alta donde se encuentra la polea a una velocidad considerable por lo que la atención del encargado es importante.



Figura 21. Montaje del sistema

En la imagen anterior (**fig. 21**) se muestra un ejemplo de un ensayo del experimento llevado a cabo en una de las pruebas de calibración de masas.

6.1. Datos y valores conocidos

Partimos de masas conocidas para la realización de este experimento:

$M = 0.250 \text{ kg};$

$m = 0.200 \text{ kg};$

Como se ha explicado en apartados anteriores de esta memoria, la estimación aproximada de estas masas ha sido realizada a través de un análisis matemático previo mediante simulación teórica, asegurando que se cumplen los requerimientos de la práctica de laboratorio.

6.2. Transferencia del archivo de datos obtenido

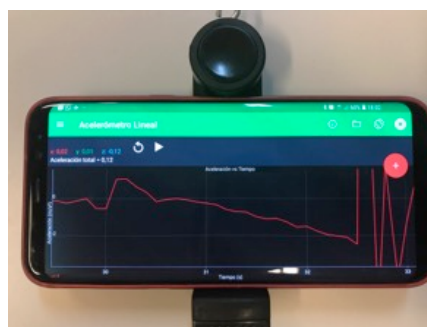


Figura 22. Smartphone con aplicación

Una vez realizado cada ensayo de la prueba y haber pulsado el botón rojo para pausar la grabación de datos, la aplicación genera automáticamente un archivo con los datos numéricos tomados. Como se ha mencionado anteriormente el archivo es de extensión .csv por lo que luego habrá que prestar atención a la hora de traspasar los datos al



programa de análisis (en este caso *Sigmaplot*) y cambiar la separación de las cifras decimales de comas a puntos para que el programa sea capaz de leer los datos correctamente.

6.3. Estudio de los datos obtenidos

En el siguiente apartado de la memoria se van a describir los dos métodos experimentales de obtención del alfa del recipiente cónico usados, a parte de la simulación numérica, para evaluar la validez del sistema propuesto. Se puede obtener el valor de alfa mediante un método de grabación y análisis de video y, mediante el uso de los datos obtenidos en el experimento por el Smartphone.

6.3.1. Cálculo de alfa mediante video

Para el cálculo del valor del alfa del recipiente cónico mediante videograbación la técnica usada fue la descrita a continuación:

- Se coloca un recipiente sobre la báscula de laboratorio en el cual verter el azúcar.
- Se ajusta a cero la báscula quitando la tara que corresponda al recipiente.
- Se llena el recipiente cónico con una cantidad considerable de azúcar y se obstruye el orificio inferior con el dedo.
- Se utiliza un teléfono móvil o una cámara de alta calidad para la grabación.
- El teléfono móvil se va a encargar de grabar los valores que va mostrando la báscula.
- Se deja caer el azúcar en la báscula mientras se realiza la grabación de los valores,
- Una vez realizado el video se analiza *frame a frame* y se van sacando puntos tomando valores del segundo de cada *frame* y de los gramos de azúcar que hay sobre la báscula en ese mismo momento.
- Estos datos se representan posteriormente en una tabla Excel y se representa una gráfica, la pendiente de la cual será el valor de alfa.
- En el caso del experimento el valor de alfa es de $(0,0517 \pm 0,002)$ kg/s.

6.3.2. Cálculo de alfa mediante Smartphone

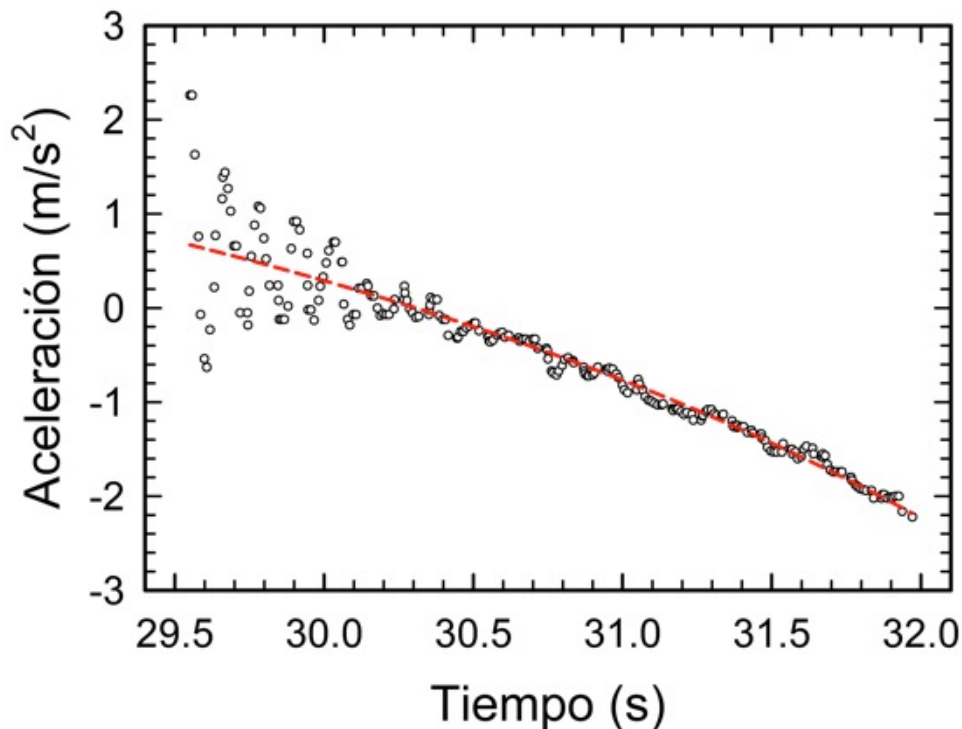


Figura 23. Ajuste no lineal de los datos experimentales

El cálculo del valor de alfa mediante el uso del Smartphone se realiza llevando a cabo el montaje experimental planteado en este trabajo.

Como ya se ha explicado a lo largo de la memoria una vez realizado cada ensayo se genera un archivo por parte de la aplicación del Smartphone y éste se transfiere a un programa de análisis de datos, como *Sigmaplot* en nuestro caso.

Se grafican los datos de aceleración frente al tiempo con dicho programa y se realiza un ajuste de la medida a la ecuación de la aceleración hallada mediante el procedimiento teórico.

En esta gráfica (**fig. 23**) podemos observar una buena correlación entre los valores experimentales y ajustados, además de un gran acuerdo con la gráfica teórica obtenida mediante las formulas en el programa matemático *Mathematica*.

En este ajuste no lineal se fijan los valores de las masas iniciales del sistema. El ajuste de los datos obtenidos por el Smartphone y ayudándonos de su representación, hallamos el valor experimental de alfa. Para ello, se utiliza la ecuación teórica de la aceleración descrita anteriormente en el apartado de desarrollo teórico del experimento, para ajustar los datos obtenidos y con ella poder hallar el valor de alfa.



Fijando $g=9,8 \text{ m/s}^2$; $m=0,2 \text{ kg}$ y $M= 0,25 \text{ kg}$, se obtienen mediante ajuste no lineal por mínimos cuadrados los parámetros $t_0 = 31,498 \text{ s}$ y un valor de alfa = $(0,052 \pm 0,018) \text{ kg/s}$

6.3.3. Comparación entre ambos métodos

La comparación de los valores de alfa obtenidos por ambos métodos (video y Smartphone) ofrece valores con gran precisión si prestamos atención a las incertidumbres obtenidas y las dificultades experimentales a las que nos hemos enfrentado.

La discrepancia entre ambos resultados es prácticamente nula (1%) y demuestra la capacidad real del sistema experimental desarrollado en este proyecto. La correlación entre los resultados obtenidos con un método semi-clásico, como el videometraje, la simulación teórica y el experimento descrito en este trabajo, demuestra la validez científica de esta experiencia.

Así, se ha diseñado una nueva práctica de laboratorio que es más intuitiva para los alumnos y cuya validez científica queda refrendada por la comparación con los resultados obtenidos por los distintos métodos.



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DEL DISEÑO

Trabajo de Fin de Grado

Caracterización de la aceleración de un juego de
poleas con una masa mediante el sensor de
aceleración de un Smartphone

2. Pliego de condiciones



Índice

1. Pliego de Condiciones Técnicas.....	28
1.1. Objeto.....	28
1.2. Condiciones de funcionamiento del sistema.....	28
1.3. Condiciones de ejecución.....	28
1.4. Condiciones de mantenimiento.....	29
2. Condiciones facultativas.....	29
2.1. Obligaciones y derechos del proyectista.....	29
2.2. Obligaciones y derechos del Departamento.....	30
3. Condiciones económicas.....	30
3.1. Presupuesto de trabajos no previstos.....	30
4. Condiciones legales.....	30
4.1. Arbitrajes.....	30
4.2. Responsabilidades del Departamento.....	31
4.3. Causas de rescisión del contrato.....	31



1. Pliego de Condiciones Técnicas

1.1. Objeto

La presente especificación técnica trata sobre el estudio previo a la fabricación del sistema para la caracterización de las variaciones en aceleración de un sistema de poleas con masa variable en uno de sus extremos, descrito en la memoria del mismo proyecto y a las diferentes normas de carácter general y de obligado cumplimiento para cualquier tipo de proyecto mecánico.

1.2. Condiciones de funcionamiento del sistema

Para un correcto funcionamiento del sistema, se deben cumplir una serie de requisitos mínimos. Solo bajo estos requisitos se garantizará una toma óptima de datos:

- El sistema debe ser ensamblado en un entorno cerrado sin corrientes de viento.
- Comprobar que los amarres que sujetan las poleas se encuentren bien sujetos.
- Conocer el funcionamiento de la aplicación Physics ToolBox.
- Mantener despejada la zona por la que las masas del sistema van a moverse.
- Manipular el sistema con delicadeza para evitar vibraciones y errores en las medidas.
- Colocar la cuerda correctamente en ambas poleas antes de cada prueba.
- Limpiar la superficie una vez finalizado el uso por si se haya podido derramar azúcar.

1.3. Condiciones de ejecución

Para iniciar el funcionamiento se deben seguir los siguientes pasos:

- Disponer los soportes del sistema sobre una superficie plana.
- Ajustar, si fuera necesario, la altura y colocación simétrica de las abrazaderas de clavija y de las del sistema.
- Colocar la cuerda principal del sistema de forma correcta entre las poleas.
- Colocar el soporte del teléfono móvil en un extremo y el recipiente plástico en otro, sujetando el sistema en equilibrio.
- Fijar el teléfono móvil a su soporte y verter la masa de azúcar en el recipiente tapando el orificio inferior de salida con el dedo.
- Poner en marcha la aplicación y soltar el teléfono móvil con delicadeza para no producir oscilaciones en la cuerda o vibraciones de cualquier tipo.
- De forma cautelosa y despacio, situar el cono de azúcar (tapando el orificio) a una altura en la que su parte inferior se encuentre a la altura de la mesa.
- Una vez llegado a ese punto, soltar de forma delicada el recipiente, destapando el orificio y dejarlo libre.
- Prestar atención al movimiento del sistema y sujetar el recipiente antes de que llegue a la altura máxima y no choque con la polea.
- Vigilar a su vez que no se vierta azúcar por los alrededores y si fuese el caso limpiar el azúcar vertido.



1.4. Condiciones de mantenimiento

- Una vez finalizado el experimento, desmontar sistema y limpiar y guardar sus componentes correctamente.
- Si se realizase algún tipo de modificación en el sistema, sería necesaria una revisión de la aplicación por parte del proyectista con el fin de adecuar el sistema a las nuevas condiciones.

2. Condiciones facultativas

En la consecución final de este tipo de proyecto intervienen las siguientes personas físicas o jurídicas:

- Departamento de Física Aplicada: es quien elige al proyectista para la ejecución del proyecto.
- Proyectista: es el autor del proyecto, que posee pleno conocimiento del mismo y de las circunstancias que le rodean.

En lo que respecta a las condiciones facultativas, el cliente tiene una serie de obligaciones:

- El cliente debe conocer las diferentes normativas aplicables.
- Debe conocer el Proyecto en su totalidad.
- El cliente debe disponer de los medios técnicos precisos para la ejecución del proyecto.

El cliente a su vez dispone también de una serie de derechos sobre el Proyecto:

- Tiene completo derecho a recibir información puntual sobre el desarrollo y la evolución del Proyecto y lo que le envuelve.
- Tiene derecho a revisar el Proyecto en su totalidad y comentar cualquiera de los aspectos que pueda considerar no satisfagan las exigencias mínimas requeridas.

2.1. Obligaciones y derechos del proyectista

La persona encargada de desarrollar el proyecto queda sujeta a una serie de obligaciones y derechos, que, en caso de no cumplir, puede ser motivo para la anulación del mismo.

- El proyectista realizará el estudio para el Proyecto tal y como se decida por el departamento.
- El proyectista está obligado a guardar la confidencialidad de la información que el Departamento de Física Aplicada pueda suministrarle, así como toda aquella que resulta de los análisis del sistema.
- El proyectista estará obligado a conocer las normas utilizadas en la ejecución del proyecto, ya sea para la simulación como para los posibles ensayos a realizar.
- Participar en los momentos del desarrollo del proyecto que se necesite su participación.
- Asumir la responsabilidad como la máxima autoridad técnica en el proyecto.
- Mantener informado al departamento sobre la marcha del proyecto y de contratiempos que puedan surgir y puedan afectar al diseño y a las prestaciones del sistema.



2.2. Obligaciones y derechos del Departamento

- El departamento está obligado a cumplir con las condiciones que se acuerden con el proyectista.
- El departamento respetará el trabajo del proyectista y no se impondrá en el estudio que lleve a cabo.
- El departamento tiene derecho a ser informado de todos los avances que se hagan en el Proyecto.
- El departamento debe conocer la normativa aplicable.
- El departamento y sus responsables deben también conocer el proyecto en todas sus partes.
- Tienen la obligación de seguir en todo momento las indicaciones del proyectista.
- La obligación de disponer de todos los medios que fuesen necesarios para garantizar el correcto desarrollo del proyecto.
- Aceptación del proyectista como máxima autoridad técnica del proyecto.

3. Condiciones económicas

En este apartado se describen y regulan las relaciones económicas entre el *Departamento de Física Aplicada* de la *Universidad Politécnica de Valencia* y el proyectista.

3.1. Presupuesto de trabajos no previstos

Toda mejora o modificación que se produzca por deseo expreso del Departamento correrá a su cargo. Si se estimase oportuno realizar cambios o modificaciones en el diseño original para uso propio, deberá informarse debidamente al proyectista, teniendo en cuenta su opinión y valoración en dichas modificaciones.

4. Condiciones legales

4.1. Arbitrajes

En caso de disputa entre el departamento de Física Aplicada y el proyectista sobre el funcionamiento y las características técnicas del producto, se requerirá la presencia y opinión de un tercer ingeniero debidamente cualificado que valorará la funcionalidad del dispositivo.

Los gastos por los servicios prestados de dicho ingeniero externo recaerán sobre el departamento.

El ingeniero emitirá un informe sobre la calidad del diseño. Si una vez recibido el informe ambas partes, no se llega a ningún acuerdo se recurrirá a la justicia ordinaria.



4.2. Responsabilidades del Departamento

El departamento está obligado al cumplimiento de todo lo convenido en el *Pliego de Condiciones facultativas*, de la calidad de los materiales utilizados, de las normativas, de las actividades llevadas a cabo y de la situación legal del personal contratado.

4.3. Causas de rescisión del contrato

Serán motivo de rescisión instantánea del contrato las siguientes situaciones:

- Por mutuo acuerdo.
- Cese de la actividad del departamento.
- Fallecimiento del proyectista.
- Por causas administrativas.
- Debido a una demora excesiva sobre los plazos estipulados.
- Abandono del proyecto.



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DEL DISEÑO

Trabajo de Fin de Grado

Caracterización de la aceleración de un juego de
poleas con una masa mediante el sensor de
aceleración de un Smartphone

3. Presupuesto



Índice

1. Precios unitarios	35
2. Precios descompuestos	36
3. Resumen presupuesto	37



1. Precios unitarios

Ref.	Ud.	Descripción	Precio (€)
d1		Materiales	
1	Ud.	Polea de laboratorio	0,50
2	Ud.	Pie de trípode con varilla metálica	5,00
3	Ud.	Clavija de sujeción	1,00
4	Ud.	Cinta americana	5,20
5	Ud.	Lámina de plástico A1	2,35
6	Ud.	Gancho metálico engomado	1,45
7	Ud.	Soporte para dispositivo móvil	1,00
8	Ud.	2,5m de cuerda	2,25
9	Ud.	Barra de silicona	4,70
10	Ud.	Paquete 1kg de azúcar	0,72
11	Ud.	Recipiente de vertido	1,00
d2	Ud.	Herramientas	
12	Ud.	Pistola eléctrica de silicona	7,49
13	Ud.	Cúter	1,99
14	h.	Bascula de laboratorio	150,00
d3		Hardware & Software	
15	Ud.	Ordenador	800,00
16	Ud.	Licencia SigmaPlot	776,57
17	Ud.	Licencia Mathematica	
d4		Mano de obra	
18	h.	Ingeniero Mecánico	15

2. Precios descompuestos

Ref.	Ud.	Descripción	Precio unitario (€)	Cantidad	Total (€)
d1		Materiales			
1	Ud.	Polea de laboratorio	0,50	2	1,00
2	Ud.	Pie de trípode con varilla metálica	5,00	2	10,00
3	Ud.	Clavija de sujeción	1,00	2	2,00
4	Ud.	Cinta americana	5,20	0,05	0,26
5	Ud.	Lámina de plástico A1	2,35	1	2,35
6	Ud.	Gancho metálico engomado	1,45	0,25	0,37
7	Ud.	Soporte para dispositivo móvil	1,00	1	1,00
8	Ud.	2,5m de cuerda	2,25	1	2,25
9	Ud.	Barra de silicona	4,70	0,2	0,94
10	Ud.	Paquete 1kg de azúcar	0,72	1	0,72
11	Ud.	Recipiente de vertido	1,00	1	1,00
		Total Materiales			21,86
		Total Materiales con IVA (21%)			26,46
d2	Ud.	Herramientas			
12	Ud.	Pistola eléctrica de silicona	7,49	1	7,49
13	Ud.	Cúter	1,99	1	1,99
14	h.	Bascula de laboratorio	150.00	1/6	25
		Total herramientas			34,48
		Total herramientas con IVA (21%)			41,72
d3		Hardware & Software			
15	Ud.	Ordenador	800,00	1/6	133,33
16	Ud.	Licencia SigmaPlot	776,57	1/6	129,43
17	Ud.	Licencia Mathematica	480	1/6	80
		Total hardware & software			342,76
		Total hardware & software con IVA (21%)			414,74

d4		Mano de obra			
18	h.	Ingeniero Mecánico	15	20	300
		Total mano de obra			300
		Total mano de obra con IVA (21%)			363



3. Resumen presupuesto

Ref.	Descripción	Precio (€)
d1	Materiales	26,46
d2	Herramientas	41,72
d3	Hardware & Software	414,74
d4	Mano de obra	363
	Total	845,92

Para herramientas como la balanza de laboratorio y el uso de hardware y software para el desarrollo del proyecto se ha contabilizado un precio de amortización de dos años y se ha contabilizado la parte proporcional a su uso.

Teniendo en cuenta que la construcción del sistema se ha llevado a cabo íntegramente en las instalaciones propias de la Universitat Politècnica de València, se evitan los gastos asociados tanto a la mano de obra directa como a los costes de utilización de los equipos.

De este modo el presupuesto total del dispositivo se debería únicamente a la parte del coste de los materiales. Considerando que la Universitat Politècnica de València disponía de todos los materiales.

En conclusión, en el mercado existen sistemas que pueden proporcionar en parte las necesidades de nuestro proyecto, aunque con precios elevados, siendo por tanto el sistema elaborado en este proyecto el que mejor se adecua a los requerimientos y necesidades del laboratorio de física al cual va destinado el producto.