



## COMPARACIÓN DE CUATRO VARIANTES DE INSTRUMENTACIÓN PARA LA PRÁCTICA DE LABORATORIO “SEGUNDA LEY DE NEWTON”

### COMPARISON OF FOUR INSTRUMENTATION VARIANTS FOR THE LABORATORY PRACTICE “NEWTON’S SECOND LAW”

Arcelio Aramis Hernández Fereira<sup>1\*</sup>

E-mail: [aramishdez@gmail.com](mailto:aramishdez@gmail.com)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8234-9422>

Yunieski Hernández Ramírez<sup>1</sup>

E-mail: [neskyhr@gmail.com](mailto:neskyhr@gmail.com)

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-4595-3436>

Emanuel Quintana Cabrera<sup>1</sup>

E-mail: [emanuel.adiestrado@gmail.com](mailto:emanuel.adiestrado@gmail.com)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1818-734X>

<sup>1</sup>Universidad de Cienfuegos “Carlos Rafael Rodríguez”, Cienfuegos. Cuba.

\*Autor para correspondencia

#### Cita sugerida (APA, séptima edición)

Hernández Fereira, A.A., Hernández Ramírez, Y., y Quintana Cabrera, E. (2025). Comparación de cuatro variantes de instrumentación para la práctica de laboratorio “Segunda Ley de Newton”. *Revista Conrado*, 20(104), e4317.

#### RESUMEN

Se exponen los resultados obtenidos durante el análisis de tres montajes experimentales (1.7, 1.8 y 1.9) del capítulo “Mecánica” en el sistema de prácticas de laboratorio asistido por computadora (SPLAC) HPCI-1. Se usan los mismos montajes experimentales propuestos en estos, ahora empleando contadores digitales con sus fotocompuertas analógicas el software Tracker para analizar los videos filmados con un teléfono móvil del movimiento sobre la pista de aire. Se toman como referencia los resultados del HPCI-1 obtenidos en la determinación de los valores de las magnitudes físicas en cada uno de estos experimentos para la comprobación del objetivo de cada una de estas prácticas para compararlos con las otras variantes propuestas. Haciendo uso del Excel de Microsoft se elaboraron las gráficas correspondientes a las relaciones buscadas, sus ecuaciones de ajuste y el coeficiente  $R^2$  para comparar los resultados. Todo esto permitió realizar un análisis de las ventajas y desventajas en cada variante utilizada. Las tres alternativas evaluadas para suplir la instrumentación de los experimentos del sistema de prácticas de laboratorio de Física asistidas por computadora HPCI-1 resultaron válidas y permitieron obtener los resultados planteados por los fabricantes del HPCI-1 para dichos experimentos con la misma calidad.

#### Palabras clave:

Alternativas de instrumentación, Prácticas de laboratorio asistidas por computadora, Sistema HPCI-1, Prácticas de Física I.

#### ABSTRACT

The results obtained during the analysis of three experimental setups (1.7, 1.8 and 1.9) of the chapter “Mechanics” in the computer-assisted laboratory practice system (CALPS) HPCI-1 are presented. The same experimental setups proposed in these are used, now using digital counters with their analog photogates and the Tracker software to analyze the videos filmed with a mobile phone of the movement on the air track. The results of the HPCI-1 obtained in the determination of the values of the physical magnitudes in each of these experiments are taken as a reference to verify the objective of each of these practices to compare them with the other proposed variants. Using Microsoft Excel, the graphs corresponding to the relationships sought, their adjustment equations and the  $R^2$  coefficient were prepared to compare the results. All this allowed an analysis of the advantages and disadvantages in each variant used. The three alternatives, evaluated to replace the instrumentation of the experiments of the HPCI-1 computer-assisted physics laboratory practice system, were valid and allowed obtaining the results proposed by the HPCI-1 manufacturers for said experiments with the same quality.

#### Keywords:

Instrumentation alternatives, Computer-assisted laboratory practices, HPCI-1 system, Physics I lab practices.



Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0.

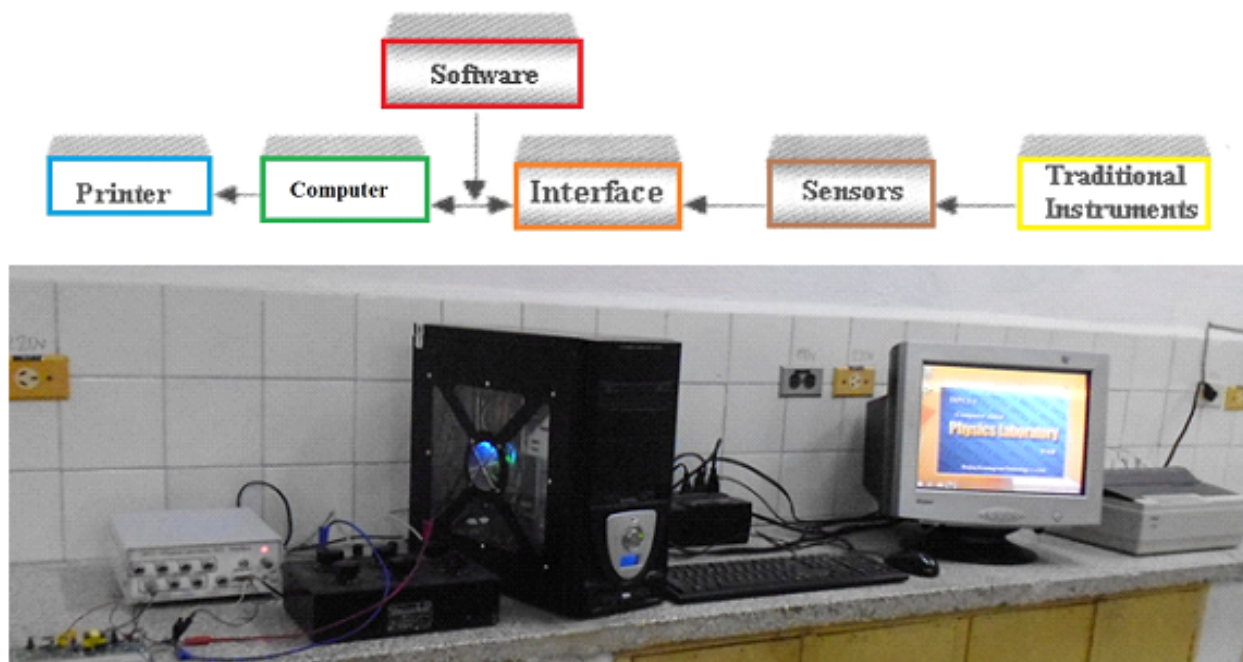
Vol 21 | No.104 | mayo-junio | 2025  
Publicación continua  
e4317



## INTRODUCCIÓN

El uso de sistema de prácticas de laboratorio asistido por computadora (SPLAC) para la obtención y procesamiento de datos durante las prácticas de laboratorio de Física ha permitido disminuir posibles errores a la hora de realizar las mediciones y reduce al menor valor posible las incertidumbres. Todo esto es posible producto del desarrollo tecnológico alcanzado en la producción de sensores de medición, en específico los que pueden ser intercalados en los montajes experimentales y conectarlos a la computadora a través de una interfaz que realiza la adecuación de la señal proveniente del sensor para su introducción a la computadora. En la computadora se ejecuta un software que guía el proceso de efectuar las mediciones y finalmente las procesa y presenta en la forma conveniente. Todo esto está debidamente integrado en un sistema como se muestra en la Figura 1.

Fig. 1: Esquema mostrando los componentes de un SPLAC y foto del HPCI-1



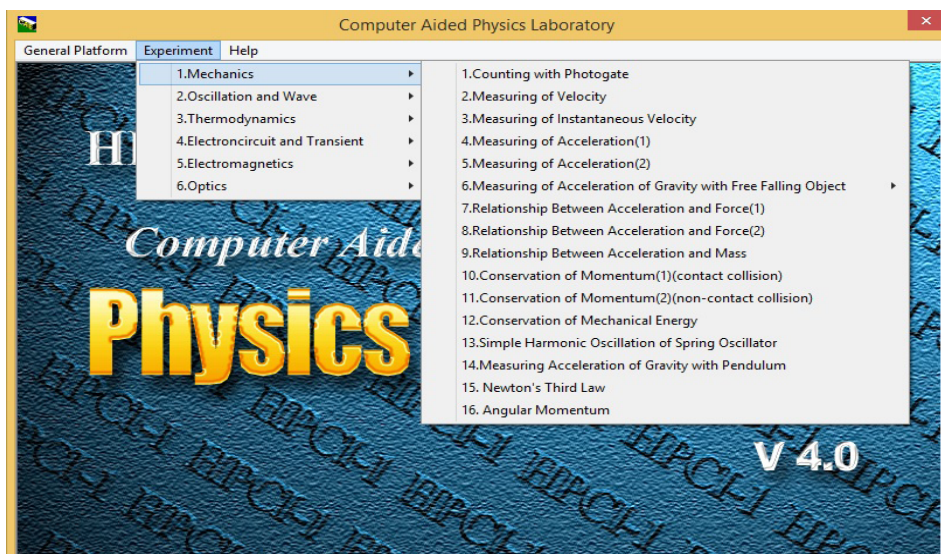
Fuente: Elaboración de los autores usando el Manual de experimentos del HPCI-1 y foto de los equipos

De esta forma se garantiza una significativa simplificación de todo el proceso de medición y el procesamiento de datos aumentando la exactitud y precisión de las mediciones.

Por lo antes expuesto, en la comparación de los resultados alcanzados con las variantes de experimentación utilizadas, se toma como referencia el obtenido con el HPCI-1, Versión 4.0 contenidos en el HPCI-1 Computer Aided Physics Laboratory. Experiment Manual. Version 4. de la firma U-Star Sensor Technology Co., Ltd. (2005). Este es un sistema de prácticas de laboratorio asistidas por computadoras (SPLAC) de Física (Computer Aided Physics Laboratory) que fue adquirido por el MES para las universidades cubanas.

Básicamente, este sistema consta de los elementos antes expuestos. Al ejecutar su software muestra un menú que permite seleccionar el experimento a realizar (figura 2), efectuar las mediciones previstas para dicho trabajo, realizar un procesamiento estadístico de las mismas y brindar los resultados de forma conveniente para su análisis.

Fig. 2: Captura de pantalla mostrando el menú de Experimentos del capítulo de Mecánica del HPCI-1



Fuente: Elaboración de los autores usando el software del HPCI-1

La configuración estándar incluye 17 sensores, un banco óptico con un láser semiconductor, una pista de aire con su soplador, 4 circuitos y algunos accesorios, se pueden realizar 49 trabajos de laboratorio distribuidos por las siguientes temáticas: Mecánica 16, Oscilaciones y Ondas 7, Termodinámica 4, Circuitos electrónicos y transientes 11, Electromagnetismo 7 y Óptica 4.

En nuestra universidad se recibió el HPCI-1 en el año 2009 y desde entonces fue objeto de estudio y uso en nuestro Departamento. Los resultados obtenidos fueron divulgados en revistas y eventos por (Hernández, 2021a; Hernández, 2021b; Hernández y Espinosa, 2021; Hernández, 2022). Sin embargo, no se han seguido utilizando por roturas de las computadoras del laboratorio necesarias para el funcionamiento de su instrumentación y procesamiento de las mediciones.

Es por ello que en este trabajo se realizó un proceso de evaluación de tres alternativas para suplir la instrumentación original del HPCI-1. Se seleccionaron el uso de dos modelos de contadores digitales con las fotocompuertas que los acompañan y del software libre Tracker para analizar los videos filmados por los estudiantes con sus móviles de los fenómenos a estudiar. La idea es proporcionar a los docentes de las distintas universidades estas alternativas de manera que puedan disponer de las mismas para incluir estos montajes en sus sistemas de prácticas de laboratorio.

Los experimentos seleccionados pertenecen al capítulo de Mecánica, que es el más extenso del HPCI-1 y que prácticamente cubre los contenidos del programa de Física I del Plan de estudios E de las carreras de ingeniería. Dichos experimentos están basados en los fundamentos que exponen los libros de texto de (Halliday et al., 2001; Young y Freedman, 2013; Serway y Jewett, 2004; Radi y Rasmussen, 2013), cuando presentan este material a saber: calcular la aceleración cuando una fuerza resultante de magnitud variable es ejercida sobre un cuerpo de masa constante, o cuando una fuerza de magnitud constante actúa sobre un cuerpo de masa variable.

## MATERIALES Y MÉTODOS

De acuerdo a los esquemas de los montajes del HPCI-1 se pueden reemplazar la interfaz, las fotocompuertas digitales y la computadora, por dos modelos de contadores digitales universales y las fotocompuertas analógicas asociadas a los mismos. Para estas variantes los datos deben ser tomados de las lecturas de los contadores y deben ser procesados de forma conveniente usando Excel para obtener los valores de las magnitudes previstas como propósito en las prácticas.

Por su parte, la variante de uso de Tracker permite, a partir del video filmado del fenómeno objeto de estudio precisar, para los fenómenos mecánicos que constituye el objetivo principal de este trabajo, el conjunto de las posiciones de

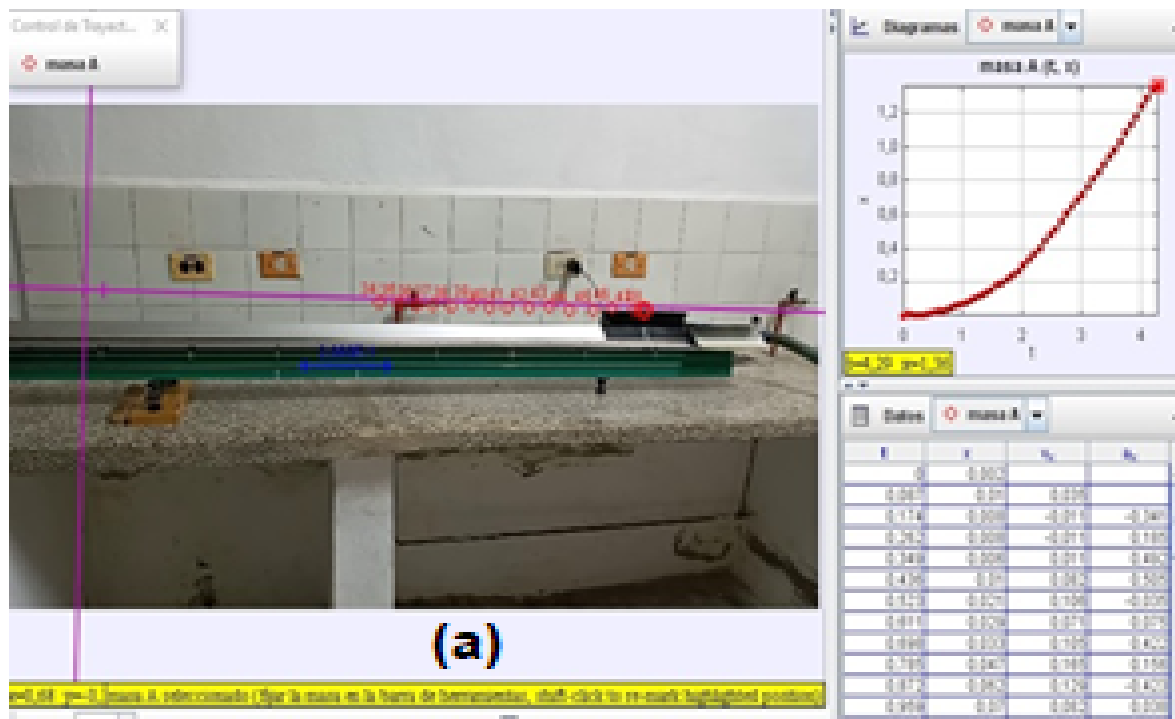
los cuerpos en los distintos instantes de tiempo como información primaria. A partir de estos datos se pueden obtener las magnitudes físicas necesarias principalmente la aceleración que es la más utilizada en los experimentos contemplados en el HPCI-1.

Para el uso de la cuarta variante (Tracker) se siguen los siguientes pasos en el procesamiento de los videos:

- Delimitar la porción del video objeto de análisis (instantes inicial y final)
- Establecer el eje de coordenadas en que se efectúa el movimiento.
- Establecer la vara de calibración para darle referencia de las longitudes (el tiempo los obtiene a partir de los cuadros del video)
- Definir la masa puntual (cuerpo en movimiento).
- Realizar la selección de las posiciones en los cuadros del video que se hayan previstos (con ayuda de shift+clic izquierdo del mouse).

Ejecutados estos pasos el software muestra la gráfica de la posición del cuerpo en función del tiempo y la tabla de sus valores la cual puede ser exportada a Excel. En la Figura 3 se muestra la captura de pantalla de un caso para determinar aceleración.

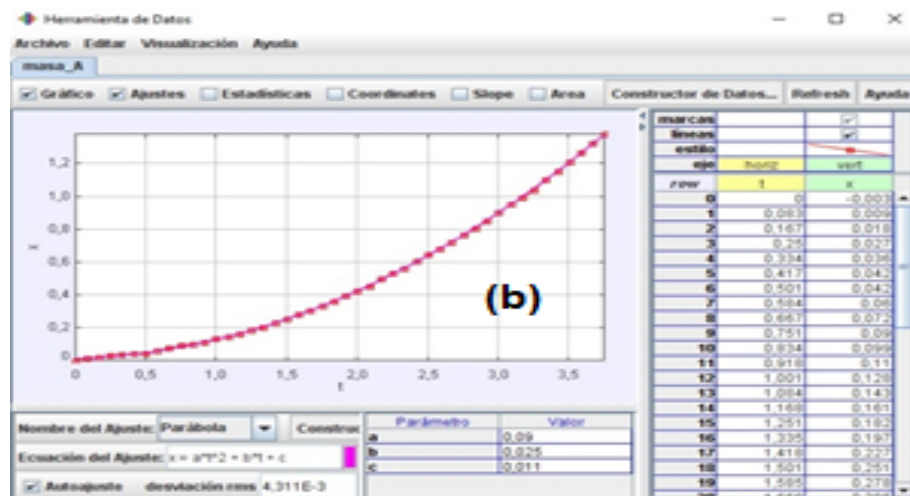
Fig. 3: Captura de pantalla del Tracker de un movimiento sobre una pista de aire inclinada



Fuente: Elaboración de los autores usando software Tracker.

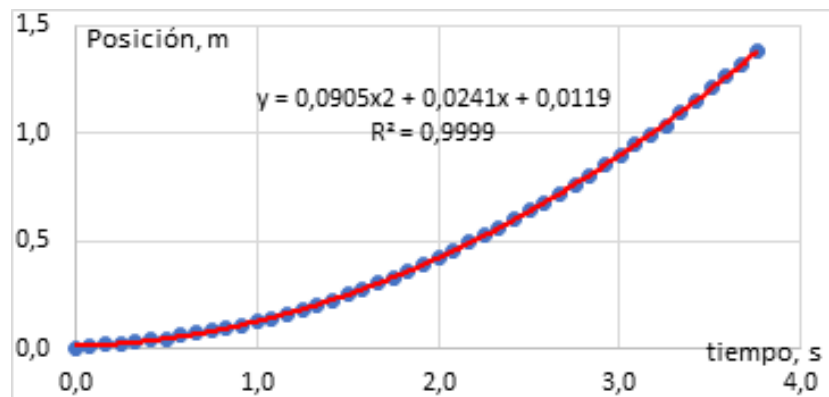
Dando doble clic sobre la gráfica aparece la Herramienta de Datos que muestra la gráfica más ampliada y permite ajustarla según varias dependencias (lineal, parabólica, sinusoidal, etc.) para obtener la ecuación de ajuste con sus parámetros y la incertidumbre de cada uno. En la Figura 4 se ilustran para un ajuste parabólico. También se puede exportar la tabla de datos a Excel y obtener esos mismos resultados mediante una gráfica de dispersión y un ajuste polinómico de orden 2, como se observa en la Figura 5.

Fig. 4: Captura de pantalla de la Herramienta de Datos mostrando una gráfica con ajuste parabólico y sus parámetros característicos e incertidumbres.



Fuente: Elaboración de los autores usando software Tracker.

Fig. 5: Gráfica de dispersión con ecuación de ajuste polinómico de orden 2 en Excel.



Fuente: Elaboración de los autores.

En la literatura sólo se encontró un trabajo de Ponce et al. (2015) en que se usaba el HPCI -1 para ejecutar el experimento 1.7 en una práctica de laboratorio usando el procedimiento descrito por los fabricantes en el Manual de experimentos.

## RESULTADOS-DISCUSIÓN

A continuación, se exponen los resultados alcanzados con el uso de las cuatro variantes de instrumentación para los experimentos relativos al tema Dinámica de la Partícula (Segunda Ley de Newton) del capítulo de Mecánica del HPCI-1.

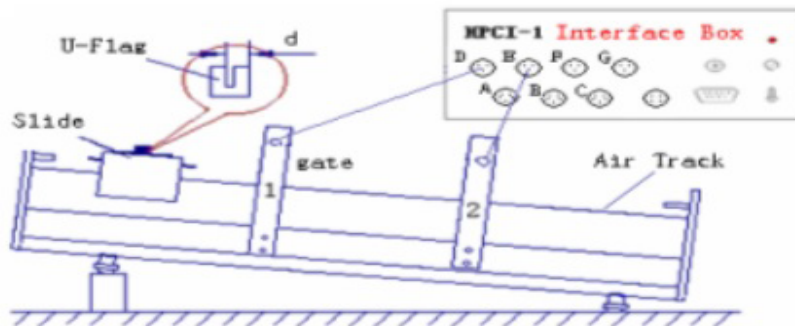
### Experimento 1.7. Relación entre aceleración y fuerza (I).

El montaje previsto es el que se ilustra en la Figura 6. Tiene como propósito determinar la relación entre la fuerza resultante que se ejerce sobre un cuerpo y la aceleración que la misma le provoca (segunda ley de Newton). En este montaje se varía la altura H a que se eleva el extremo izquierdo de la pista colocando objetos de espesores conocidos



debajo del soporte de la pista y midiendo la aceleración en el tramo comprendido entre el punto en que se libera el carro deslizante sobre el soporte elevado de la pista y la segunda fotoc compuerta de longitud  $L$ .

Fig. 6: Esquema del montaje del experimento 1.7



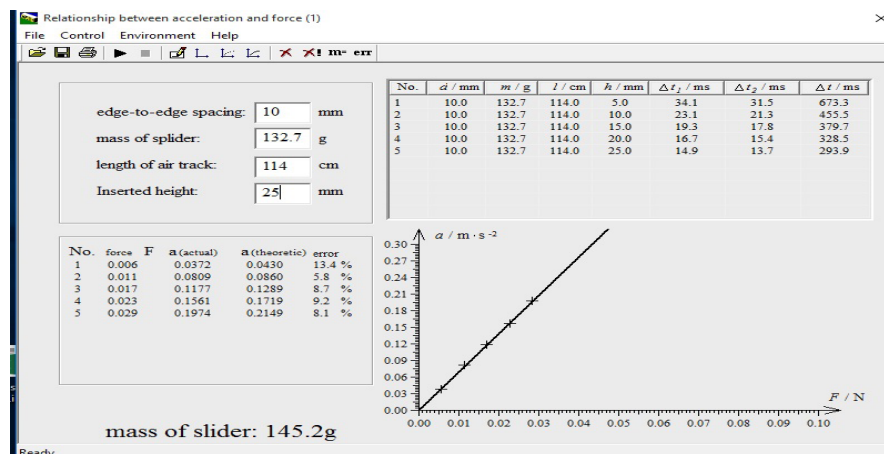
Fuente: Manual de experimentos del HPCI-1

Tiene como propósito determinar la aceleración constante con que se mueve el carro deslizante partiendo del reposo. Para ello determina la velocidad del mismo al paso por las dos fotoc compuertas y el intervalo de tiempo que media entre ellos y determina la aceleración media que coincide en este caso con la instantánea. El sistema construye la gráfica de aceleración contra la fuerza aplicada, dada en este caso por

$$F = mg \operatorname{sen} \theta = mg \frac{H}{L} L \quad (1).$$

Los resultados que se muestran en la Figura 7 fueron obtenidos por los autores. La pendiente de la recta mostrada resulta ser el inverso de la masa del carro deslizante y el sistema reporta el valor de 145,2 g cuando teóricamente debía ser 132,7 g para una incertidumbre relativa porcentual de 9,4% respecto al valor teórico.

Fig. 7: Captura de pantalla del HPCI-1 mostrando los resultados para el experimento 1.7

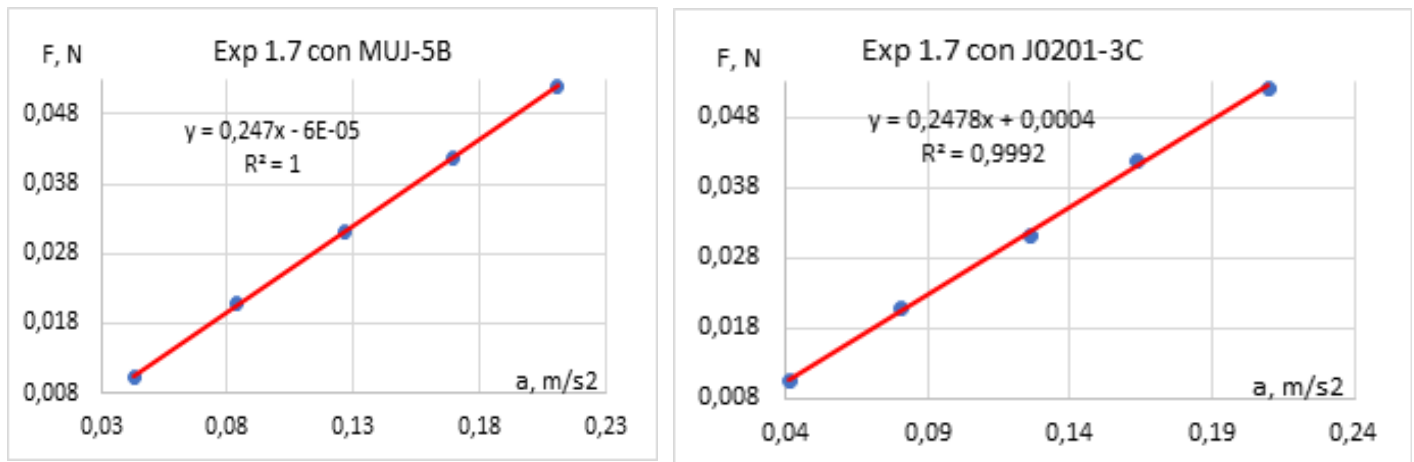


Fuente: Elaboración de los autores usando el software del HPCI-1

Resultados similares se obtuvieron con los contadores digitales multipropósito MUJ-5B y J0201-3C con sus dos fotoc compuertas analógicas usando la función aceleración. En la Figura 8 se muestran las gráficas de dispersión de la fuerza vs aceleración con sus correspondientes ecuaciones de ajuste lineal. En este caso se usó un carro deslizante con masa 243 g (0,243 kg) que debe ser el valor teórico de la pendiente en la ecuación de ajuste de las gráficas de

fuerza contra aceleración. Las incertidumbres relativas porcentuales de los valores experimentales respecto a los teóricos resultaron ser 1.6% para el MUJ-5B y 1.9 % para el JO205-3C, ambas inferiores a las obtenidas con el HPCI-1.

Fig. 8: Gráficas de dispersión de fuerza vs aceleración para los contadores digitales en Excel

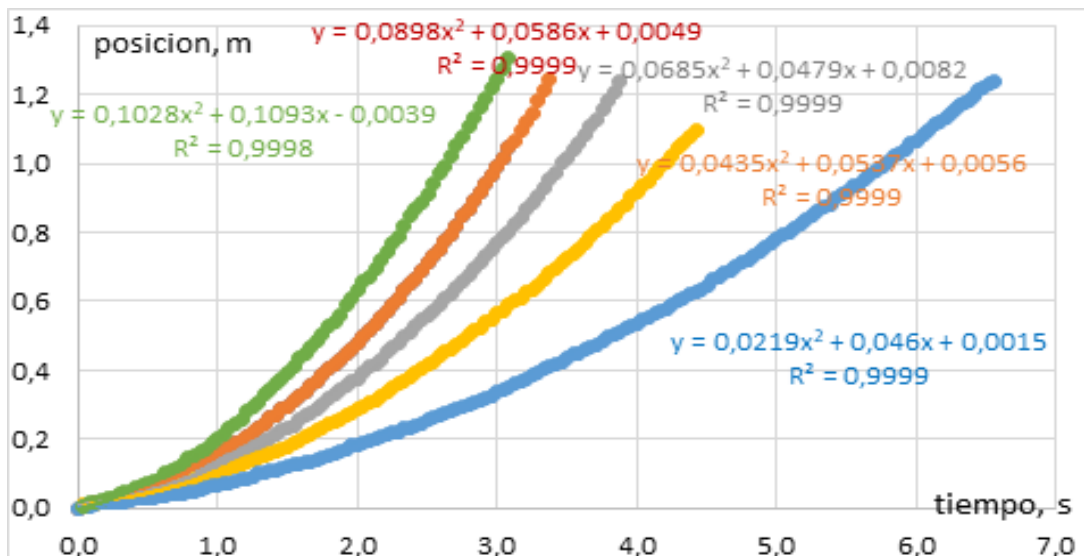


Fuente: Elaboración de los autores

De igual manera, con el procedimiento descrito empleando el Tracker, se pueden construir la gráfica  $S(t)$  contra  $t$  y determinar la aceleración para cada altura  $H$ , que es quien determina el valor de la fuerza aplicada. En la figura 8 se muestran las gráficas obtenidas para la posición contra tiempo de las cuales, al encontrar la ecuación de ajuste parabólico es posible obtener las aceleraciones de los cuerpos para cada inclinación de la pista.

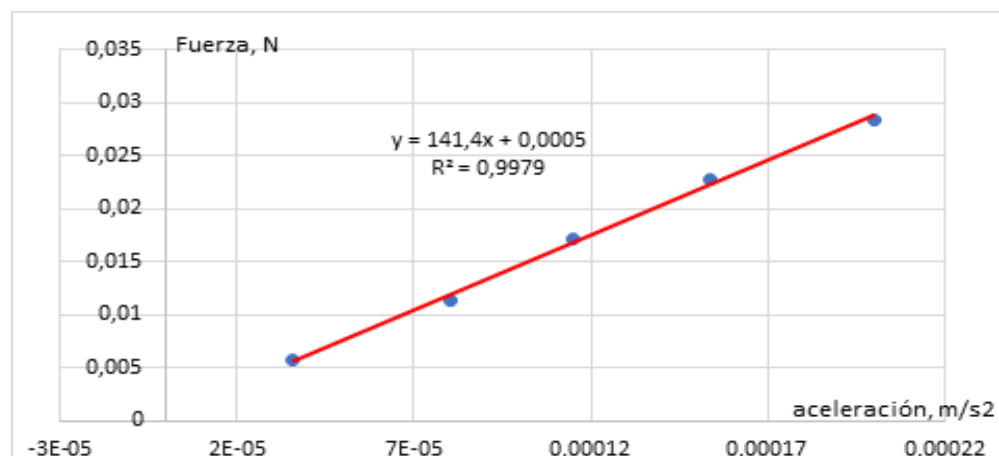
Con los valores de las aceleraciones se construyó la gráfica de fuerza contra aceleración mostrada en la Figura 9 cuya pendiente obtenida de la ecuación de ajuste es el valor experimental de la masa del carro deslizante, en este caso 141,4 g cuando teóricamente debía ser 132,7 g para una incertidumbre relativa porcentual de 6,5% respecto al valor teórico, inferior a la obtenida con el HPCI-1.

Fig. 9: Gráficas de dispersión de posición vs tiempo con sus ecuaciones de ajuste en Excel para 5 elevaciones de la pista



Fuente: Elaboración de los autores

Fig. 10: Gráfica de dispersión de fuerza vs aceleración con su ecuación de ajuste en Excel



Fuente: Elaboración de los autores

### Experimento 1.8. Relación entre aceleración y fuerza (II).

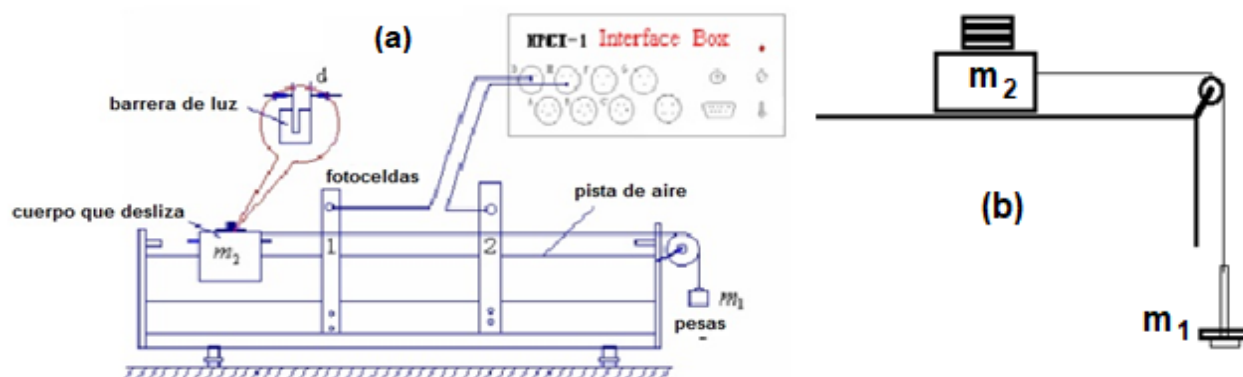
El montaje previsto es el que se ilustra en la Figura 10. El mismo está integrado por una pista de aire horizontal en cuyo extremo se encontraba una polea de momento de inercia despreciable con poca fricción sobre su eje que conectaba un cuerpo que deslizaba sobre la pista y el otro que descendía verticalmente mediante un hilo casi inextensible de masa despreciable. En este caso se considera que la fuerza de fricción es despreciable porque el carro se desliza sobre el colchón de aire suministrado por la pista. Su propósito es determinar la relación entre la fuerza resultante que se ejerce sobre un cuerpo y la aceleración que la misma le provoca (segunda ley de Newton).

La aplicación de la segunda ley de Newton al sistema empleado, cuyo esquema se muestra en la figura 11, nos conduce a la ecuación:

$$F_{ext} = m_1 g = (m_1 + m_2) a \quad (2)$$

que expresa que la magnitud de la fuerza de gravedad ejercida por las pesas de conjunto con el gancho será directamente proporcionales al producto de la masa total del sistema por las aceleraciones que provocan en el cuerpo sobre el que actúa. (Siempre y cuando se mantenga constante la masa del sistema). El propósito es determinar las aceleraciones del sistema integrado por los dos cuerpos para diferentes valores de la masa del cuerpo que colgaba, manteniendo constante la masa total del sistema.

Fig. 11: Esquema del montaje del experimento 1.8 del HPCI-1. (b) Esquema del sistema empleado para aplicar la Segunda ley de Newton

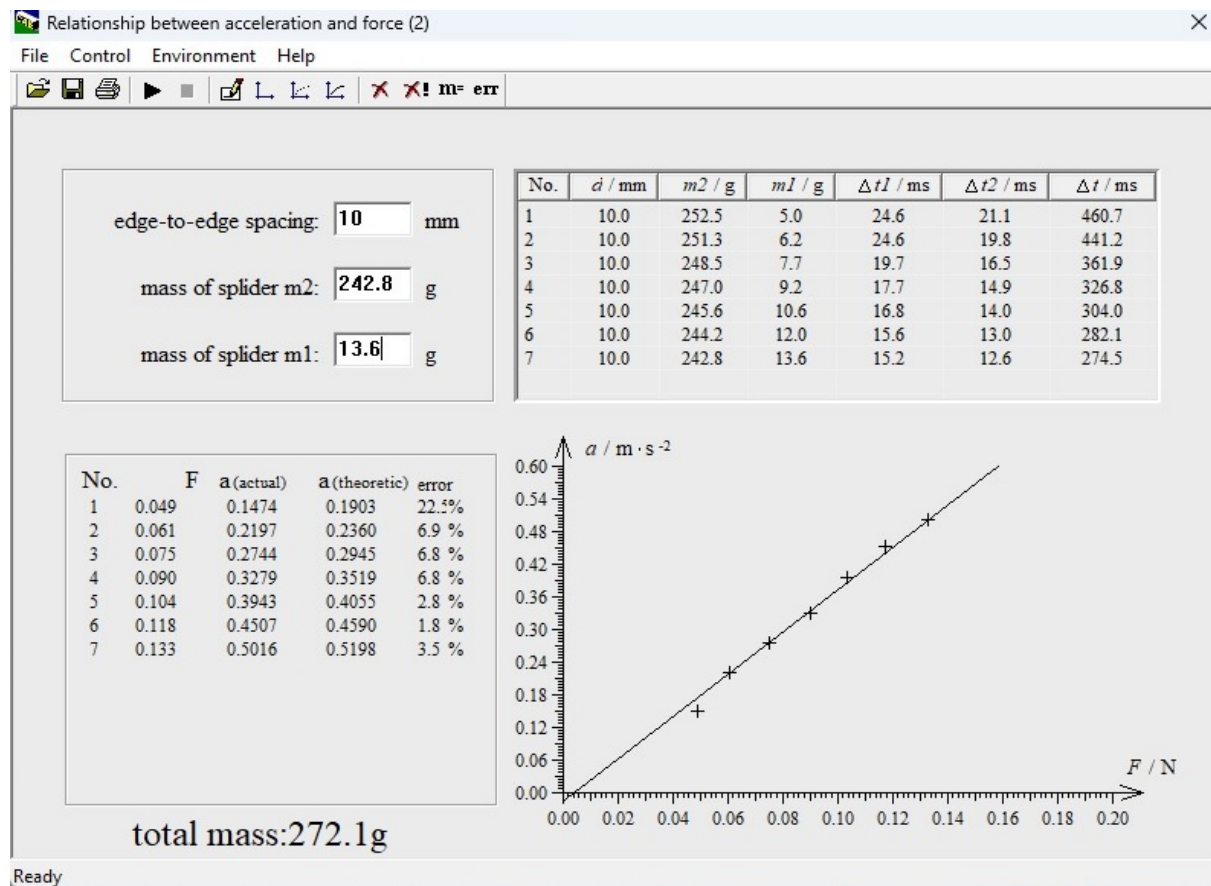


Fuente: Elaboración de los autores usando el Manual de experimentos del HPCI-1 y Paint.



En la Figura 12 aparece la captura de pantalla que ofrece el HPCI-1 cuando se ejecuta el Experimento 1.8.

Fig. 12: Captura de pantalla del HPCI-1 mostrando los resultados para el experimento 1.8



Fuente: Elaboración de los autores usando el software del HPCI-1

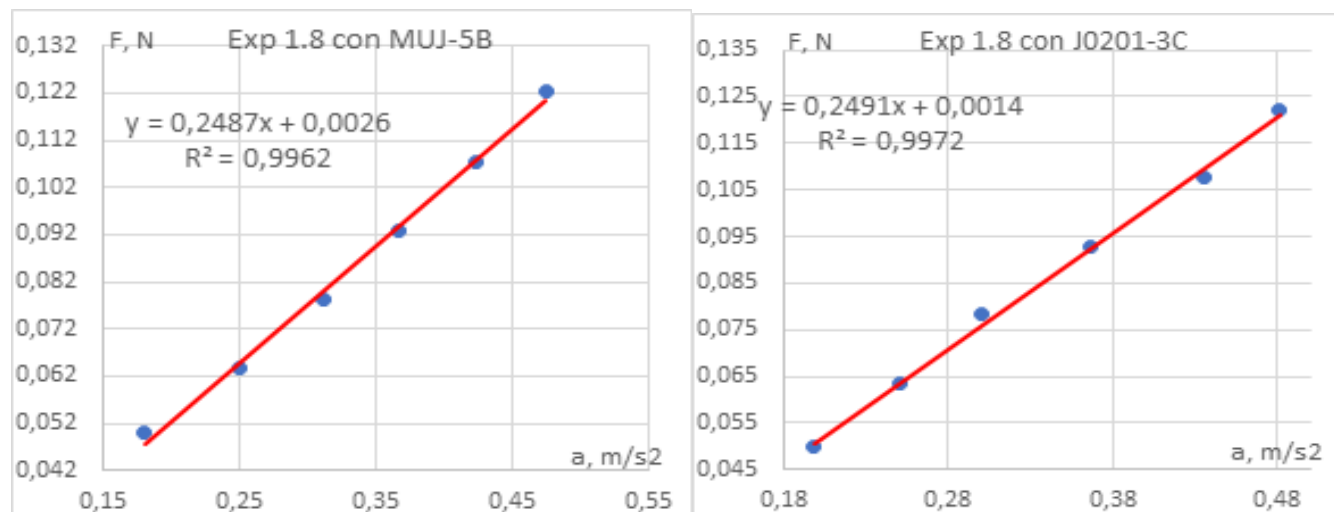
Teóricamente, la pendiente de esta gráfica corresponde al inverso de la masa total del sistema, cuyo valor experimental 272,1 g aparece debajo, mientras que el valor teórico esperado debía ser 257,5 g. Esto permitió una estimación de la desviación de los resultados del experimento respecto a lo previsto teóricamente. Para ello calculamos la incertidumbre relativa de valor experimental respecto al teórico de la masa total del sistema

$$\varepsilon_M (\%) = \frac{M_{exp} - M_{teo}}{M_{teo}} \quad (3)$$

que resultó igual a 5,67 %.

Una vez más, como en el experimento anterior, resultados similares se pudieron obtener con los contadores digitales multipropósito MUJ-5B y J0201-3C con sus dos fotocompuertas analógicas usando la función aceleración y se construyeron las gráficas de dispersión en Excel de aceleración contra masa Figura 13. En este caso se usó un carro deslizante con masa 243 g (0,243 kg) que debe ser el valor teórico de la pendiente en la ecuación de ajuste de las gráficas de fuerza contra aceleración. Las incertidumbres relativas porcentuales de los valores experimentales respecto a los teóricos resultaron ser 2,7 % para el MUJ-5B y 2,5 % para el J0205-3C, ambas inferiores a las obtenidas con el HPCI-1.

Fig.13: Gráficas de dispersión de fuerza vs aceleración para los contadores digitales en Excel

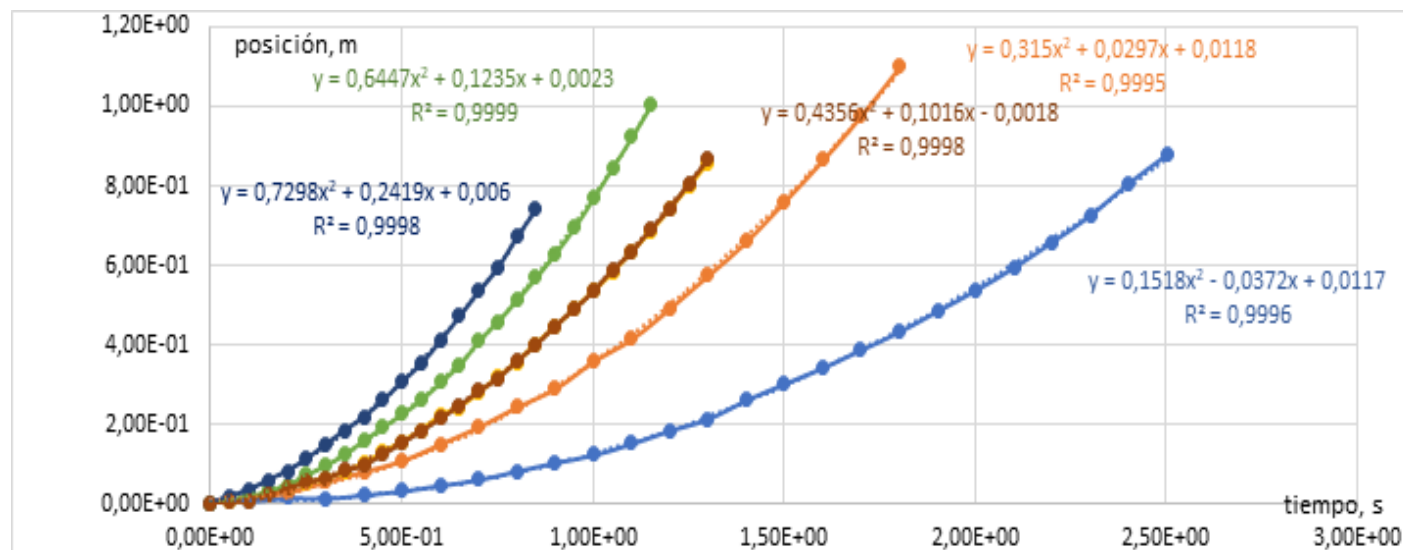


Fuente: Elaboración de los autores

Para el procesamiento con Tracker se siguieron los pasos explicados en el análisis de los videos filmados del movimiento del sistema cuando se variaba la masa  $m_1$  del cuerpo colgante trasladando pesas del cuerpo deslizando de masa  $m_2$  de forma que la masa del sistema permanecía constante. Aquí se determinaron las posiciones del carro deslizando  $X(t)$  para cada instante de tiempo  $t$  correspondiente a cada cuadro del video y con la herramienta de datos se obtuvo la aceleración.

Este procedimiento se repitió para los cinco videos y se determinaron las ecuaciones de ajuste que ofrece el Tracker y la del procesamiento con Excel y se obtuvieron las cinco aceleraciones correspondientes.

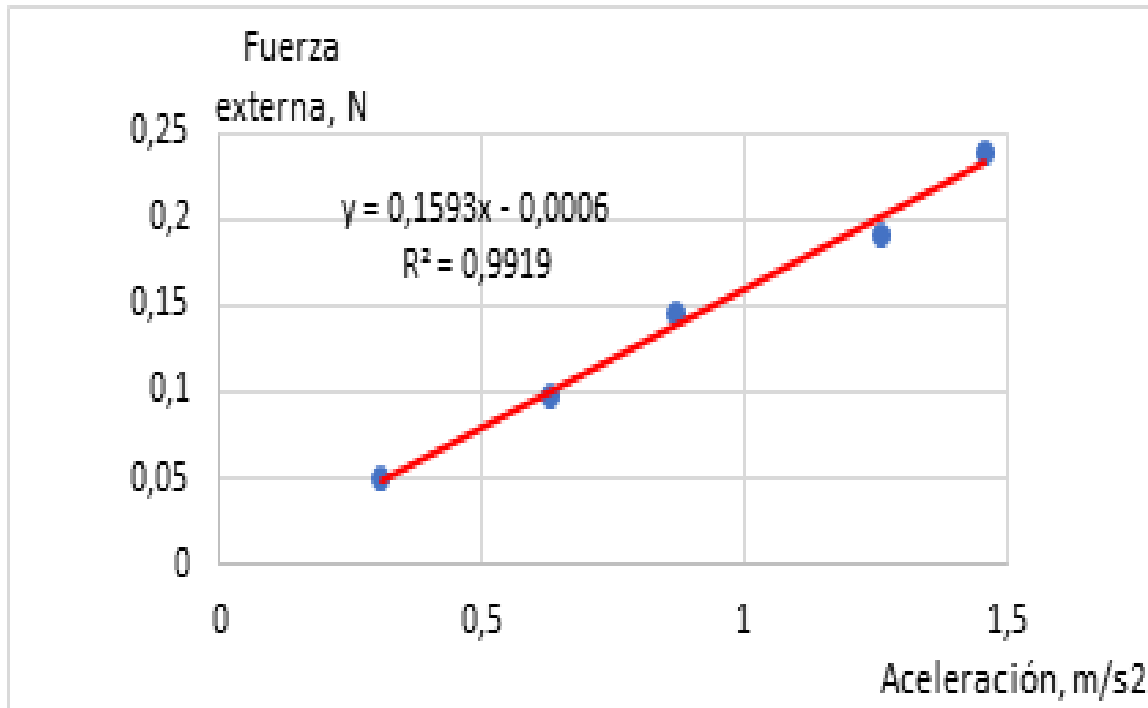
En la Figura 14 se muestran las gráficas de dispersión de la posición vs tiempo con sus correspondientes ecuaciones de ajuste polinómico de grado 2 en Excel de las cuales se obtuvieron los valores de las cinco aceleraciones.

Fig. 14: Gráficas de dispersión de posición vs tiempo con sus ecuaciones de ajuste según polinomio de grado 2 en Excel para 5 valores de la masa  $m_1$  del cuerpo colgante

Fuente: Elaboración de los autores

Con los valores de las masas del gancho con las pesas ( $m_1$ ) se calcularon las magnitudes de la fuerza externa ( $m_1g$ ) y con los valores de las aceleraciones obtenidas de las gráficas de la figura 11 se construyó la gráfica de dispersión de la dependencia entre ellas de acuerdo con la expresión (2) que se muestra en la Figura 15 con su correspondiente ecuación de ajuste.

Fig. 15: Gráfica de dispersión de fuerza vs aceleración con su ecuación de ajuste en Excel



Fuente: Elaboración de los autores

Como se puede observar, la relación entre la fuerza externa y la aceleración que ella provoca es lineal como establece la segunda ley de Newton y el coeficiente de proporcionalidad es la masa total del sistema correspondiente en este

$$\varepsilon_M(\%) = \frac{M_{exp} - M_{teo}}{M_{teo}} \times 100$$

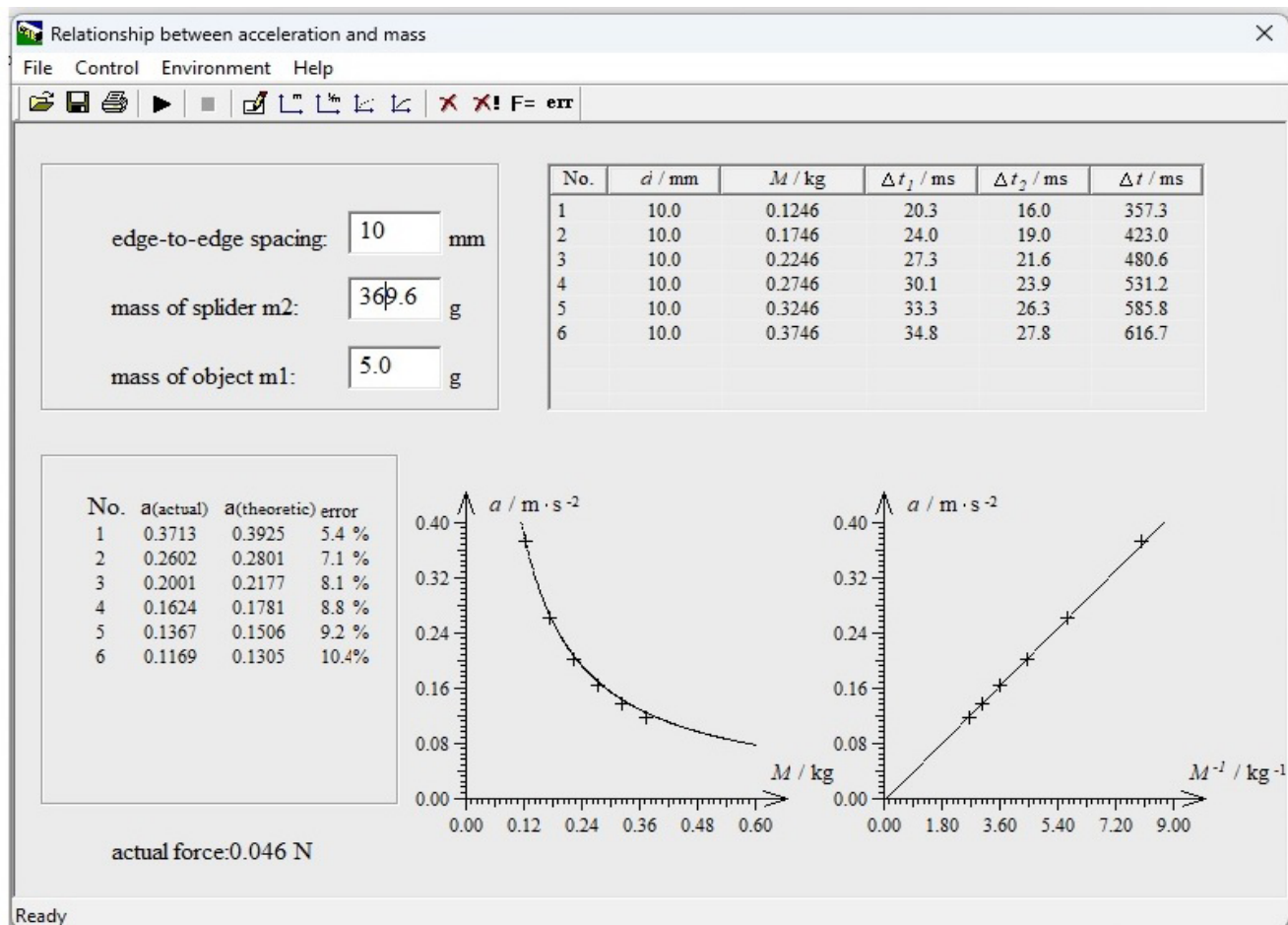
caso a la pendiente de la recta de ajuste. La masa del carro deslizante era de 135 g y la suma de las masas del gancho y las pesas era de 24,9 g por lo que su valor total es de 159,9 g (0,1599 kg). Se calculó con la ecuación (3) la incertidumbre relativa de la masa total experimental respecto a la teórica:

que resultó ser 0,37 %, muy inferior a la del HPCI-1.

### Experimento 1.9. Relación entre aceleración y masa (III).

El montaje es el mismo que se ilustra en la Figura 10. En este experimento para diferentes valores de la masa del cuerpo que deslizaba, se mantenía constante la masa del cuerpo que colgaba. Se deseaba verificar la relación lineal entre la aceleración del sistema y el inverso de la masa total del mismo. Para ello se colocaban pesas de 50 g sobre el cuerpo que deslizaba y se mantenía sólo el gancho en calidad de cuerpo de masa  $m_1$ . En este caso la masa  $M$  total del sistema no permanecía constante. En la Figura 16 aparece la captura de pantalla que ofrece el HPCI-1 cuando se ejecuta el Experimento 1.9.

Fig. 16: Captura de pantalla del HPCI-1 mostrando los resultados para el experimento 1.9



**Fuente:** Elaboración de los autores usando el software del HPCI-1

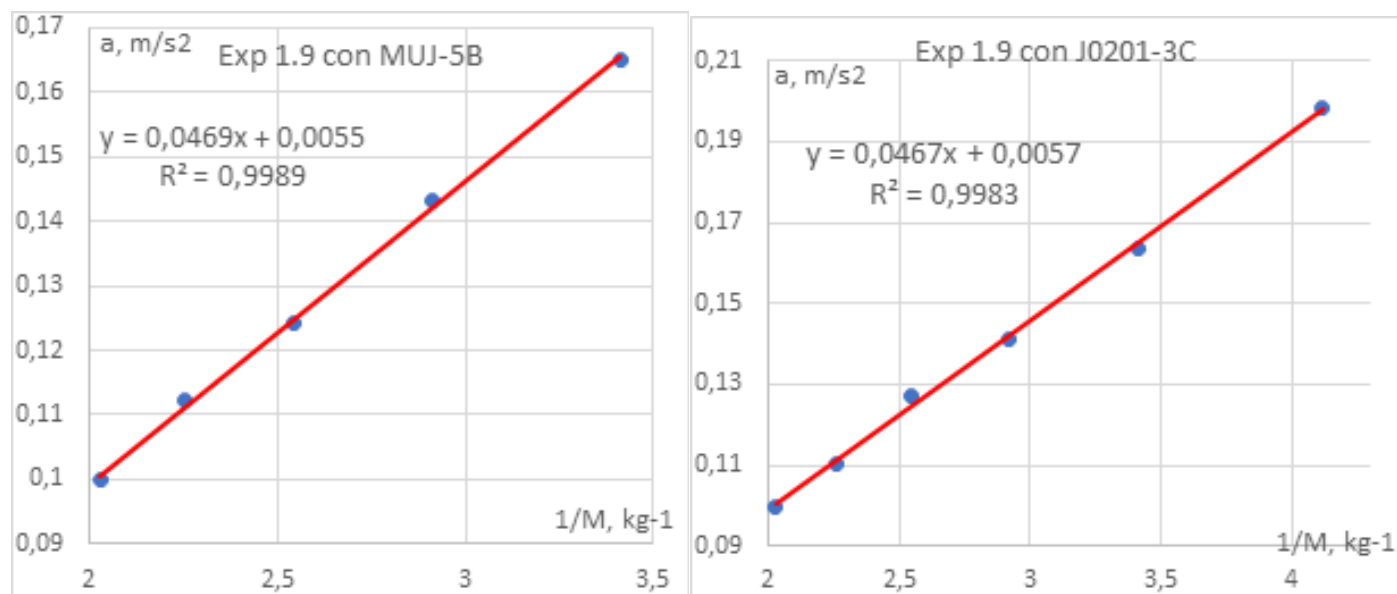
Teóricamente, la pendiente de la segunda gráfica corresponde al valor de la fuerza constante actuando que resulta ser la masa del gancho por la aceleración gravitatoria de valor 0,046 N que aparece debajo. Esto permitió una estimación de la desviación de los resultados del experimento respecto a lo previsto teóricamente. Para ello calculamos la incertidumbre relativa de valor experimental respecto al teórico de la fuerza actuante

$$\varepsilon_{F_{exp}}(\%) = \frac{F_{exp} - F_{teo}}{F_{teo}} \times 100 \quad (4)$$

que resultó igual a 6,1 %.

De nuevo, al igual que en los experimentos anteriores, resultados similares se pudieron obtener con los contadores digitales multipropósito MUJ-5B y J0201-3C con sus dos fotocompuertas analógicas usando la función aceleración y se construyeron las gráficas de dispersión aceleración contra inverso de la masa y sus ecuaciones de ajuste empleando Excel Figura 17.

Fig.17: Gráficas de dispersión de fuerza vs aceleración para los contadores digitales en Excel



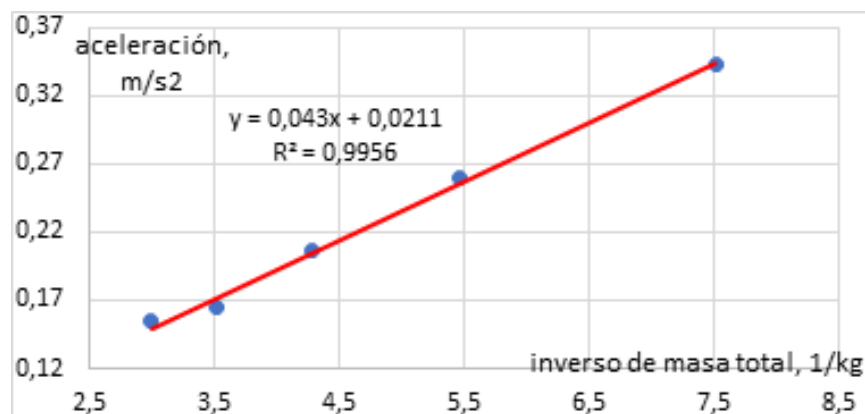
Fuente: Elaboración de los autores

Durante el procesamiento con Tracker se siguió el mismo procedimiento que en el experimento anterior, pero ahora con los videos filmados del movimiento del sistema cuando se variaba la masa  $m_2$  del cuerpo deslizando manteniendo constante masa  $m_1$  del cuerpo colgante. Aquí se determinaron las posiciones del carro deslizando  $X(t)$  para cada instante de tiempo  $t$  correspondiente a cada cuadro del video y las aceleraciones se obtuvieron de la herramienta de datos.

Este procedimiento se repitió para los cinco videos y se determinaron las ecuaciones de ajuste que ofrece el Tracker y la del procesamiento con Excel y se obtuvieron las cinco aceleraciones correspondientes de forma similar a como se mostraron en la Figura 14.

Con los valores de las aceleraciones obtenidas y los inversos de la masa total se construyó la gráfica de dispersión de la dependencia entre ellas que se muestra en la Figura 18 con su correspondiente ecuación de ajuste.

Fig. 18: Gráfica de dispersión de fuerza vs aceleración con su ecuación de ajuste en Excel



Fuente: Elaboración de los autores



Como se puede observar, la relación entre la aceleración y el inverso de la masa total del sistema es lineal como se deduce de la segunda ley de Newton y el coeficiente de proporcionalidad es la fuerza constante que actúa sobre el sistema, dada en este caso por la pendiente de la recta de ajuste. La fuerza viene dada por el producto de la masa del gancho por la aceleración gravitatoria local, o sea,  $F=0,0049 \text{ kg} \cdot 9,78 \text{ m/s}^2= 0,048 \text{ N}$ . Usando el mismo criterio que con el HPCI-1 se calculó con la ecuación (4) la incertidumbre relativa de la fuerza actuante experimental respecto a la teórica que resultó ser 10% algo superior a la del HPCI-1.

Los resultados se han estado aplicando durante dos cursos en nuestra universidad. Estos montajes se han introducido en el sistema de prácticas de laboratorio de la disciplina Física de las carreras que la tienen incluida en su plan de estudio y para ello se escribieron las correspondientes guías para la preparación de los estudiantes. Su aplicación puede extenderse a todas las universidades del país con la consiguiente elevación de la calidad del proceso de formación de los estudiantes. Los mismos han sido presentados para su divulgación en eventos nacionales e internacionales y se han publicado en artículos tanto en revistas como en memorias de eventos.

## CONCLUSIONES

Las tres alternativas evaluadas para suplir la instrumentación de los experimentos del sistema de prácticas de laboratorio de Física asistidas por computadora HPCI-1 resultaron válidas y permitieron obtener los resultados similares a los planteados por los fabricantes para dichos experimentos y en la mayoría de los casos, con mejor calidad (menor incertidumbre relativa porcentual).

Las alternativas con el uso de los contadores digitales y las fotocompuertas analógicas que los acompañan presupone poseer los contadores que formaron parte de los módulos de equipos adquiridos por el MES y suministrados a las universidades cubanas.

La alternativa del uso del Tracker para procesar los videos filmados por los estudiantes con sus teléfonos móviles puede ser usada siempre y tiene como ventaja que el estudiante puede simultáneamente ver el video del movimiento del sistema físico real y la gráfica que muestra la variación de su posición en el tiempo y puede hallar la ecuación de ajuste de la misma.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Halliday, D., Resnick, R., y Krane, K. S. (2001). *Física Versión ampliada Vol.2*. Compañía Editorial Continental, S. A. de C.V.

Hernández Ferreira, A. (2021a). Ampliación de las posibilidades del sistema HPCI-1 para el estudio del movimiento de un péndulo simple real en oscilaciones pequeñas. *Revista Cubana de Física*, 38 (2), 120-127. <https://go.gale.com/ps/logout.do?userGroupName=anon~3ef7cd8d&page=true&prodId=AONE>

Hernández Ferreira, A. (2021b). Ampliación de las posibilidades del sistema HPCI-1 para el estudio de los circuitos de corriente alterna. *Revista Cubana de Física*, 38, (2), 112-119. [https://www.academia.edu/120168342/AMPLIACION\\_DE\\_LAS\\_POSSIBILIDADES\\_DEL\\_SISTEMA\\_HPCI\\_1\\_PARA\\_EL\\_ESTUDIO\\_DE\\_LOS\\_CIRCUITOS\\_DE\\_CORRIENTE\\_ALTERNA\\_EXPANDING\\_THE\\_POSSIBILITIES\\_OF\\_THE\\_HPCI\\_1\\_SYSTEM\\_FOR\\_THE\\_STUDY\\_OF\\_ALTERNATING\\_CURRENT\\_CIRCUITS](https://www.academia.edu/120168342/AMPLIACION_DE_LAS_POSSIBILIDADES_DEL_SISTEMA_HPCI_1_PARA_EL_ESTUDIO_DE_LOS_CIRCUITOS_DE_CORRIENTE_ALTERNA_EXPANDING_THE_POSSIBILITIES_OF_THE_HPCI_1_SYSTEM_FOR_THE_STUDY_OF_ALTERNATING_CURRENT_CIRCUITS)

Hernández Ferreira, A. (2022). Fundamentos para una propuesta innovadora de la práctica de laboratorio "Estudio de péndulo simple" usando las posibilidades del sistema de prácticas de laboratorios asistidas por computadoras HPCI-1. *Revista Cubana de Física*, 39 (1), 21-26.

Hernández Ferreira, A. y Espinosa Valdés, O. (2021). Las prácticas de laboratorio asistidas por computadoras. Experiencias y proyecciones para una contribución más efectiva a la formación del profesional. En libro VIII Taller Iberoamericano de Enseñanza de la Física Universitaria (Tibero). Editorial UH: La Habana. ISBN-e: 978-959-7265-01-6. Calzadilla, Octavio y Vidal, Julio (coordinadores). 439 – 450.

Ponce, Y., Martínez, Y., Rega, D., y Herrera, A. (2015). *El uso del HPCI-1 en las prácticas de laboratorio de Física*. III Conferencia Científica Internacional de la UNISS Yayabo Ciencia 2015. Sancti Spiritus, Cuba.

Radi, H. A., y Rasmussen, J. O. (2013). *Principles of Physics for Scientists and Engineers, Undergraduate Lecture Notes in Physics*. Springer-Verlag. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-642-23026-4>

Serway, R. A., y Jewett, J. W. (2004) *Physics for Scientists and Engineers*. Thomson Brooks/Cole.

U-Star Sensor Technology Co., Ltd. (2005) *HPCI-1 Computer Aided Physics Laboratory. Experiment Manual. Version 4.0*.

Young, H.D., y Freedman, R. A. (2013) *Física Universitaria con Física Moderna Vol. 2*. Pearson.