

**ACTIVIDADES EXPERIMENTALES DE FÍSICA CON LA NUEVA DOTACIÓN DE  
LABORATORIO DE PREUNIVERSITARIO: SUGERENCIAS PARA SU REALIZACIÓN.**

**TESIS PRESENTADA EN OPCION AL TÍTULO  
DE LICENCIADO EN EDUCACIÓN MATEMÁTICA FÍSICA**

**Autor: Raúl Armando Pérez Suárez**

**Tutor: Profesor Titular Nelsy Perfecto Pérez Ponce de León, Dr. C.**

**HOLGUÍN 2018**



Dedicatoria:

A mi hermana, que es el motor impulsor de mis logros.

A mis padres por su dedicación, espera, paciencia y entrega total.



## Agradecimientos

El trabajo de tesis concluido, fue posible gracias a la ayuda de un gran número de personas que colaboraron a lo largo de toda la investigación de disímiles formas: sugerencias, críticas científicas y oportunas, revisión de la redacción y apoyo espiritual y material. Si por razones inherentes a este proceso alguna no mencionara sepan que les agradezco por siempre su apoyo. A todas estas personas, les reitero las gracias, en especial:

- A mis padres, que con una paciencia infinita supieron guiarme y apoyarme.
- A mi tutor, Dr. C. Nelsy P. Pérez, que más que un tutor se comportó como un padre, que me apoyó y aconsejó de una manera incondicional.
- A la Dr. C. Zaimar Domínguez Claro, por apoyarme no solo profesionalmente sino también en lo personal.
- Al Mr. C. Luis Grimaldi Romay, por ser ese maestro que más que instruir me educó y formó en mí muchos valores.
- A la Mr. Paula Reyes Céspedes, por darme su apoyo no solo como profesional sino también como amiga.
- Al Dr. C. Wilber Garcés Cecilio, por ser una figura fundamental en mi formación a lo largo de toda la carrera.
- A los profesores: Abelardo Cuenca Bajuelos, Beatriz San Juan, Diógenes Feliciano González Hernández
- A la Universidad de Ciencias Pedagógicas *José de la Luz y Caballero*, centro al que le debo toda mi formación profesional.
- A la Revolución por las facilidades que me brinda.

A todos,

MUCHAS GRACIAS



## Resumen

En el presente trabajo contiene los resultados de una investigación realizada durante dos años en los preuniversitarios Lucía Íñiguez Landín y Jesús Menéndez del municipio de Holguín, relacionada con la actividad experimental en la enseñanza-aprendizaje de la Física. La necesidad de dicha investigación surge por las limitaciones que se identifican en la realización de actividades experimentales, aunque se cuenta con nuevas dotaciones de laboratorio. A partir de la aplicación de métodos teóricos se elaboraron 4 actividades experimentales con las referidas dotaciones. Las mismas tiene la ventaja de que pueden realizarse usando medios automatizados o no para la captura y procesamiento de los datos. La realización de esas actividades con estudiantes muestra que son realizables. La utilización de métodos empíricos de investigación permitió identificar algunas limitaciones en los estudiantes para realizar esas actividades y que las mismas requieren de ayuda para la realización de modo independiente por los estudiantes, pero que la reiteración de su realización mejora las posibilidades de los estudiantes para el trabajo experimental independiente. Sobre la base de la consulta de investigaciones precedentes, la consulta a profesores de experiencia y los resultados empíricos de investigación, se elaboró un conjunto de sugerencias metodológicas para la realización de las actividades experimentales demostrativas de Física.

## Abstract

The present work contains the findings accomplished during two years in the pre-university students Lucy Íñiguez Landín and Jesús Menéndez of the municipality of Holguín related with the experimental activity in teaching learning of Physics. The need of the aforementioned investigation happens for the limitations that are identified in the realization of experimental activities, although he counts on new endowments of laboratory. Four experimental activities with the referred endowments became elaborate as from the application of theoretic methods. The advantage that they can come true using automated means or you do not stop the capture and processing of the data has the techniques. The realization of those activities with students evidences that they are feasible. The utilization of empiric fact-finding methods allowed identifying some limitations in the students to accomplish those activities that the



same require of help for the realization of independent mode for the students , but that the reiteration of his realization improves the possibilities of the students for the experimental independent work. On the base of the consultation of preceding investigations, the consultation to professors of experience and the empiric fact-finding results, a set of suggestions elaborated metodológicas for the realization of Física's experimental demonstrative activities itself.



## Índice

<b>Introducción</b> .....	1
<b>I. La actividad experimental en el Proceso Enseñanza - Aprendizaje de la Física</b> .....	6
1.1- Los experimentos de demostración .....	9
1.2- Experimentos y trabajos frontales .....	10
1.3- Los experimentos y las observaciones extra docentes .....	10
1.4- Los trabajos de laboratorio.....	11
1.5- Los trabajos prácticos de Física .....	11
<b>II. Caracterización de la realización de actividades experimentales en el décimo grado de los preuniversitarios holguineros.</b> .....	12
<b>III. Diseño de las actividades experimentales y resultados obtenidos</b> .....	15
3.1- Actividad 1: Estudio del coeficiente de rozamiento estático $\mu_e$ del carril con los deslizadores. 16	
3.2- Actividad 2: Estudio de las condiciones más favorables para obtener un MRUA .....	20
<b>IV. Introducción de las actividades experimentales en la práctica</b> .....	28
4.1- Actividad 1 .....	28
4.2- Actividad 2 .....	30
4.3- Actividad 3 .....	31
4.4- Principales limitaciones identificadas en los estudiantes .....	32
4.5- Aspectos positivos evidenciados en la realización de las actividades experimentales.....	33
<b>V. Sugerencias metodológicas para la realización de las actividades experimentales.</b> .....	34
<b>Conclusiones</b> .....	37
<b>Recomendaciones</b> .....	39
<b>Bibliografía</b> .....	40
<b>ANEXOS</b> .....	1



## Introducción

Internacionalmente se reconoce en torno a la enseñanza de la física que después de recibir los cursos escolares de física, los estudiantes continúan con prácticamente las mismas ideas previas relacionadas con los fenómenos naturales cotidianos que las que tenían antes de realizar dichos cursos. El reconocimiento de tal problemática ha sido consecuencia de investigaciones sobre la comprensión que adquieren los estudiantes de los conceptos más básicos de física (Barbosa, L. H. y Mora-Ley, C. 2010 y Domingos João 2015).

Dichas investigaciones muestran como regularidad que las restricciones antes descritas se acompañan de limitaciones en las posibilidades para la solución de problemas, la comprensión de los contenidos teóricos y la realización de experimentos físicos docentes.

La contradicción entre los resultados de la práctica educativa en la enseñanza de las ciencias, de la Física en particular, con los de las investigaciones psicológicas surge, entre otras causas, por la falta de efectividad del método tradicional, que condiciona además insuficiente motivación y cautivación de los estudiantes en el estudio de la física como asignatura en la enseñanza media.

La búsqueda de solución a la contradicción antes mencionada ha propiciado la existencia de diferentes aristas para intentar solucionarla. Entre las ideas descolantes que surgen de esos intentos plantea en síntesis que la educación de los estudiantes debe transcurrir en un marco y condiciones que lo preparen para trabajar, haciendo uso de la ciencia como instrumento fundamental para hacer más eficiente su labor y, a la vez, satisfacer sus necesidades a través de la actividad creadora.

La experiencia acumulada como estudiante, la observación sistemática como profesor de Física en formación, y el estudio del tema permite conjeturar que un escenario mediado por experimentos favorece la enseñanza-aprendizaje de la Física a través de un ambiente motivante para el estudiante, que lo cautiva y lo pone en una actitud de ejercicio de sus capacidades intelectuales para observar, conjeturar, argumentar, describir, predecir, y en lo posible, modelar.

En la presente investigación se realizó una exploración empírica mediante entrevistas, observaciones y revisión de documentos del proceso de enseñanza-aprendizaje de la Física

en el décimo grado en el municipio de Holguín que permitió determinar la presencia de las siguientes limitaciones (anexos 1, 2 3):

1. Insuficiente realización de actividades experimentales con los estudiantes de décimo grado en Holguín, razón por la cual se les dificulta analizar, interpretar y demostrar los fenómenos estudiados en la Física del 10. Grado.
2. Se realizan pocas prácticas de laboratorio y muchas veces no se exige un informe de los resultados.
2. La realización de actividades experimentales se efectúa de manera asistémica, pues por lo general no abarca las clases para la adquisición de conocimientos físicos, las de consolidación y la evaluación.
3. Insuficiente utilización del trabajo independiente, individual e investigativo, con el objetivo del desarrollo de las habilidades experimentales que propicien el aprendizaje de la física como asignatura escolar.

Se identificaron como causas de estas insuficiencias:

- En la bibliografía consultada no abundan sugerencias metodológicas específicas para la realización de actividades experimentales.
- No se cuenta con sugerencias metodológicas para la realización de las posibles actividades experimentales del 10. Grado con la nueva dotación de laboratorio.

En la búsqueda de una posible contribución a la solución de las insuficiencias prácticas antes descritas, se realizó una revisión bibliográfica relacionada con la enseñanza de la Física y otras ciencias naturales, que jerarquiza la enseñanza de la actividad experimental de las ciencias (Pérez, N. P., 2002; Laburú, C.E., 2006; da Cruz, D. A., 2008; Pérez, N P. y col., 2012). Dichos autores coinciden en que, el desarrollo de habilidades experimentales está íntimamente ligado a la formación de conocimientos teóricos y es una vía esencial para la desarrollar la creatividad de los estudiantes. Lo anterior muestra que la atención a la actividad experimental.

En la enseñanza de la Física la actividad experimental desempeña un rol fundamental, pues despierta el interés por el aprendizaje de esta ciencia, forma y desarrolla habilidades experimentales y contribuye a la formación en los estudiantes de un conjunto de rasgos propios de la actividad científico-investigadora tales como el trabajo colectivo, la emisión de



hipótesis, la elaboración de informes, la socialización y defensa de resultados (Bugaev, A. I., 1989; Goudard, B.; da Cruz, D. A., 2008), aspectos que contribuyen a la estimulación de las potencialidades creadoras de los estudiantes

La elaboración y puesta en marcha durante el curso 1975-1976 del Plan de Perfeccionamiento del Subsistema de Educación General Politécnica y Laboral, representó una etapa importante en el desarrollo educacional de nuestro país.

El tránsito a los nuevos programas de Física para el preuniversitario significó un profundo cambio en el curso de Física, ya que su contenido se aproximó más al nivel contemporáneo del desarrollo de la ciencia; se reforzó el papel de los modelos y de las nociones teóricas; se elevó el número y calidad de los experimentos demostrativos y trabajos de laboratorio; se modificó el tratamiento metodológico de muchos conceptos y leyes y, se elaboraron orientaciones metodológicas: generales, para la realización de las demostraciones y trabajos de laboratorio.

Las actividades experimentales planificadas en los programas de física del preuniversitario tienen como idea metodológica central considerar al proceso de medición como objeto de estudio, de manera que se propicie la sistematización de los conocimientos adquiridos durante la realización de las diversas formas de trabajo experimental a lo largo del curso de física y consolidar los conocimientos y habilidades relacionados con el uso de los instrumentos de medición y la interpretación de los datos experimentales.

Sin embargo, la práctica masiva de la enseñanza y las investigaciones pedagógicas realizadas, pusieron de manifiesto que, a pesar de los esfuerzos realizados al contar en todos los preuniversitarios del país con una dotación de equipos de laboratorios para la realización de la actividad experimental en las clases de física, los resultados obtenidos no son los óptimos, pues esta no es utilizada de modo eficiente ni de forma sistémica en el proceso de enseñanza y aprendizaje de la Física.

La reflexión acerca de los aspectos antes descritos conduce a la identificación de una contradicción específica de la enseñanza de la Física en Holguín que se manifiesta entre las posibilidades que en la actualidad tienen los institutos preuniversitarios para ejecutar actividades experimentales de Física y su insuficiente realización en el proceso de enseñanza aprendizaje de esa asignatura.

En consecuencia, se formula el problema de investigación: ¿Cómo contribuir a mejorar la realización de actividades experimentales de Física en el décimo grado de los institutos preuniversitarios de Holguín?

El objeto de la investigación: La actividad docente experimental de Física en el décimo grado de la educación preuniversitaria.

El objetivo de la investigación es: Elaborar un conjunto de actividades experimentales de Física, sustentadas en una sistematización teórica, con sugerencias metodológicas para su realización por parte de los profesores de esa asignatura.

En correspondencia con el objeto y objetivo de la investigación, el **campo de acción es** el diseño y realización de actividades docentes de experimentales de Física.

Para dar cumplimiento al objetivo de la investigación se realizan las siguientes **tareas de investigación**:

1. Sistematizar de información bibliográfica relacionada con la actividad experimental en Física, con énfasis en la utilización del nuevo equipamiento de laboratorio de los preuniversitarios cubanos.
2. Caracterizar el estado actual de la realización de actividades experimentales en el décimo grado de los preuniversitarios holguineros.
3. Diseñar y poner a punto actividades experimentales para realizar en el décimo grado a partir de la selección de instrumentos y equipos de la dotación laboratorio de Física de los preuniversitarios cubanos.
4. Elaboración de sugerencias metodológicas iniciales para la realización de las actividades experimentales diseñadas con estudiantes de décimo grado.
5. Obtener información acerca del desempeño de estudiantes en la realización de dichas actividades experimentales y opiniones de los profesores respecto a las mismas como posibles usuarios y beneficiarios de los resultados obtenidos.

#### **Métodos de investigación teóricos**

**Análisis y síntesis:** para el establecimiento de criterios para el estudio de la información teórica y fáctica obtenida, el diseño de actividades experimentales sugerencias metodológicas para su realización.

Sistémico: para concebir la relación de las actividades experimentales diseñadas con aspectos esenciales del aprendizaje de la Física, en particular con el programa de Física de décimo grado en Cuba.

Modelación: para establecer los rasgos esenciales de las actividades experimentales diseñadas y su relación con los contenidos de enseñanza-aprendizaje de la Física.

### **Métodos empíricos**

Inductivo: Para establecer la secuencia de comparaciones necesarias para caracterizar el estado de la realización de actividades experimentales en el décimo grado de los preuniversitarios holguineros, basado principalmente en los siguientes procedimientos:

- ✓ Observación: Para obtener información acerca la realización de actividades experimentales de Física en preuniversitarios de Holguín.
- ✓ Encuestas y entrevistas para el diagnóstico del estado de desarrollo de la actividad experimental en el PEA de la Física en los PU del municipio de Holguín.
- Criterio de usuarios y beneficiarios: para conocer las opiniones de los estudiantes y profesores de Física, acerca de las actividades experimentales diseñadas.

### **Aporte práctico**

El diseño de actividades experimentales sistémicas de Física utilizando la nueva dotación de laboratorio de los preuniversitarios cubanos.

## **Desarrollo**

### **I. La actividad experimental en el Proceso Enseñanza - Aprendizaje de la Física**

El concepto filosófico de actividad tributa a una mejor comprensión del fenómeno en la pedagogía. Según lo expuesto en el Diccionario Filosófico de M. Rosentall y P. Ludin la actividad es: La función del sujeto en el proceso de interacción con el objeto, es un nexo específico del organismo vivo con el medio que lo rodea. la actividad es estimulada por la necesidad, se orienta hacia el objeto que le da satisfacción y se lleva a cabo mediante un sistema de acciones.

En su aspecto externo se concreta en el movimiento de las partes del cuerpo con objetos reales, en el interno se opera en la mente del hombre con representaciones de los objetos y los movimientos. La actividad práctica está dirigida directamente a la transformación de los hechos, la teórica (interna a la determinación de los procedimientos y leyes de tal transformación. La actividad experimental en la enseñanza de la Física imbrica la actividad práctica y la teórica.

La actividad experimental brinda a los estudiantes la posibilidad de aprender a partir de sus propias experiencias. También puede y debe ser usada para estimular la curiosidad, la creatividad y el placer por la investigación y el descubrimiento. Brinda, además, la posibilidad de explorar, manipular, sugerir hipótesis, cometer errores y reconocerlos, y así aprender de ellos.

Está demostrado que las realizaciones de actividades experimentales influyen positivamente en el aprendizaje de los alumnos. Cuando una clase de Física está apoyada en el experimento, no solo atrae la atención, sino que permite la asimilación del material docente y la representación de imágenes estables y duraderas en las conciencias de los estudiantes, logrando con ello una mejor formación de conceptos y adquisición de conocimientos en general, lo que facilita la posibilidad de utilizarlos en la vida práctica. Todo lo anterior hace que el experimento sea incluido en el proceso docente, posibilitando que los objetivos planteados sean alcanzados con el menor gasto de tiempo y de recursos disponibles.

Lo anterior explica que la actividad experimental constituya una de las líneas más importantes de investigación en la didáctica de las ciencias desde hace décadas, sin embargo, se constata una crítica sistemática acerca de las orientaciones algorítmicas y

empiristas que a menudo están presentes en muchos trabajos prácticos. En contraposición se manifiesta un interés creciente por actividades experimentales que se imbriquen en concepciones de enseñanza-aprendizaje con enfoque investigativo y el uso de ordenadores en la toma y procesamiento de los datos experimentales.

Desde esta última perspectiva, muchos autores sostienen que el trabajo experimental en Física debe reflejar el espíritu del quehacer científico. Ello implica el planteo de situaciones problemáticas abiertas, con la ambigüedad inherente a la naturaleza de las mismas, a través de las cuales el estudiante pueda adquirir y construir conocimientos y habilidades científicas. En particular algunos de ellos sustentan que la actividad experimental en Física se debe planificar y realizar mediante sistemas de tareas, sin embargo, para que dicho sistema tenga el efecto previsto, debe superarse el divorcio que aún se manifiesta entre la orientación de la misma y su realización (Laburú, C.E., 2006; da Cruz, D. A., 2008).

Esa brecha se cierra en los trabajos que asumen la analogía entre los rasgos de la actividad científico investigadora con la actividad experimental en el PEA de la Física (Leyva, J., 2012; Podoprygora, N., 2014), en la que, al experimento docente paulatinamente se le da la connotación que tiene en la actividad científico-investigadora.

A pesar de las diferencias antes expuestas entre la enseñanza tradicional de la Física y la que sostiene la analogía entre la actividad científico investigadora de la correspondiente ciencia y el PEA de la mencionada asignatura, se coincide en que la actividad experimental en el contexto docente tiene un componente *reproductivo* y otro *productivo*.

El componente reproductivo abarca lo relacionado con las normas de seguridad del laboratorio, el conocimiento de los medios e instrumentos de medición y los procedimientos algorítmicos de su funcionamiento y mediciones, así como de las reglas esenciales del proceso de medición: ajuste al cero, rango, apreciación, entre otras.

La enseñanza tradicional, a pesar de las críticas que se le hacen reconoce desde hace años esta situación y concibe, dentro de la actividad experimental, tres tipos fundamentales: demostraciones, experimento de clases y prácticas de laboratorio (Colado, J. E., 2003; Domingos, J. J. y Pérez, N. P., 2014).

Las primeras de ellas son realizadas por el profesor o por estudiantes seleccionados de manera demostrativa y se va guiando al alumno en sus observaciones y conclusiones y los

dos restantes son realizados de manera independiente, siendo la práctica de laboratorio la de mayor independencia y complejidad (Bugaev, A. I. 1989). Estas constituyen un sistema y por tanto el alumno debe transitar por todas durante el proceso de su aprendizaje. Sin embargo, esto no esclarece totalmente la situación antes planteada relacionada con la dicotomía entre lo reproductivo y lo productivo en la actividad experimental. Para esclarecer mejor esta situación es menester abordar el concepto de experimento docente.

Según Bugaev, A. I. (1989), el experimento docente es la reproducción, con la ayuda de instrumentos especiales, de fenómenos físicos en la clase, en las condiciones más apropiadas para el estudio. Por eso, le sirve a la vez de fuente de los conocimientos, de método de enseñanza y de tipo de demostración. Como es evidente, esta definición, si bien revela algunos aspectos esenciales de los que es un experimento docente, revela pálidamente la similitud que debe tener un experimento docente de Física con un experimento en la ciencia homónima.

Como se ha insistido, el experimento docente, dentro de una perspectiva estimuladora de las potencialidades creadoras, debe guardar similitudes con el experimento científico, de manera que su concepción y funciones tengan semejanzas. De ese modo, debe ser parte intrínseca del diseño de los programas de las asignaturas, y utilizarse en la formación de nuevos conocimientos, la aplicación de lo conocido a nuevas situaciones y la verificación de las principales regularidades de los fenómenos, leyes y teorías, de modo que los estudiantes adquieran habilidades experimentales que les permitan obtener modos de actuación profesionales (Cumbrera, R. A., 2007). Aunque en esta idea se aprecia un avance respecto a las anteriores, no se considera una similitud suficiente entre el experimento físico y el experimento docente.

En otros trabajos (Valdés P. y col., 2001), se establece una concepción que acerca el experimento docente al científico, sin embargo, no precisan el contenido del mismo al no aportar su definición o caracterización, no obstante, se infiere que todo experimento docente debe partir de una tarea experimental que deviene problema experimental.

Se debe tener en cuenta los estudios realizados sobre las estrategias de solución de problemas que frecuentemente usan los estudiantes. Se conoce de esos trabajos que los estudiantes usan estrategias fragmentadas y superficiales caracterizadas por el

operativismo, la manipulación inmediata de datos y fórmulas debido, entre otras causas al insuficiente desarrollo de la función analítico-sintética del pensamiento, ya que no se aprecia por los estudiantes el valor de un análisis conceptual como parte de la solución de problemas (Castañeda, S., 2004; Ceberio, M., Guisasola, J. y Almudí, J. M., 2008 y Leyva, J. 2012).

La concepción del experimento que se sustenta se basa en la enseñanza aprendizaje de la física como experiencia sociocultural e investigativa (Valdés, 1999).

- Los experimentos son parte inseparable de la teoría física que se estudia, por tanto, forman parte del sistema de tareas mediante el cual se desarrollan los contenidos de la Física como asignatura escolar.
- Desde la perspectiva didáctica ellos tienen diferentes funciones, que se determinan en primer lugar por la propia función que el experimento tiene en la teoría que se estudia. Sin embargo, en el contexto docente el experimento físico tiene otras funciones: desarrollar habilidades y hábitos, contribuir a la formación de motivos y actitudes científicas y hacia las ciencias, la Física en particular.

En consonancia con lo anterior, el experimento docente de Física es el tipo de actividad experimental en la cual los estudiantes, con ayuda o no del profesor, solucionan una tarea utilizando instrumentos especiales y mediciones con el fin de “redescubrir”, comprobar, prever o aplicar un conocimiento a nuevas situaciones a partir de la formulación y verificación de suposiciones hipotéticas, la deducción de consecuencias de dichas suposiciones, la manipulación práctica de las variables, la delimitación de las condiciones adecuadas para las observaciones, mediciones y la recogida y procesamiento de la información con vistas a obtener conclusiones de la actividad realizada (Pérez, N. P.; Horta, A. F.; Domingos, J y Pérez, M. M., 2016).

Establecida la definición que se asume de experimento docente, se analiza a continuación la tipología de experimentos docentes de Física mencionada con anterioridad.

### **1.1- Los experimentos de demostración**

Su realización requiere de una maestría experimental bastante elevada realizada con el empleo de complejos equipos; el maestro lo realiza para toda el aula (en este caso los alumnos se encuentran a una distancia de 1-9 metros del objeto de observación).

En el programa de estudio, por lo general, se encuentra la lista de demostraciones que se deben utilizar en cada tema del curso. Dentro de la lista se incluyen una pequeña cantidad de experimentos que constituyen la base experimental de la física contemporánea.

Una gran importancia tiene la demostración de los experimentos que lustran la explicación del maestro de este modo, al estudiar el movimiento rectilíneo, se muestran los movimientos uniformes e irregulares de un carro por la mesa de demostración; al estudiar las transformaciones de agregados, se muestra la ebullición del agua. Sin duda, los alumnos han visto este fenómeno con anterioridad, sin embargo, como demuestra la práctica, estas demostraciones tienen una alta efectividad pedagógica, ya que el maestro dirige la observación de los escolares y enfoca su atención hacia las circunstancias importantes para la comprensión de la esencia del fenómeno que no habían prestado atención antes.

### **1.2- Experimentos y trabajos frontales**

La característica general y más esencial de todos los trabajos experimentales que se incluyen aquí es el método frontal de su realización, por eso no tiene sentido analizar por separado el llamado experimento frontal de los experimentos frontales de poca duración de carácter cualitativo, ya que la duración en general no puede servir de índice para clasificar el experimento, porque es imposible determinar simplemente el límite entre la duración "grande" y "pequeña" del experimento.

En este tipo de actividad experimental es importante que todos los alumnos del aula realicen los trabajos al mismo tiempo (en grupo o de forma individual) con equipos del mismo tipo y bajo la dirección del maestro (este brinda las instrucciones orales corrientes y de introducción, muestra los diferentes procedimientos de trabajo, hace los dibujos y las anotaciones necesarias en la pizarra y organiza el análisis de los resultados obtenidos).

### **1.3- Los experimentos y las observaciones extra docentes**

Entre estos se incluyen los experimentos sencillos realizados por los alumnos en la casa y las observaciones efectuadas en el medio cotidiano, en la naturaleza y en la producción industrial y agrícola, sin el control directo del desarrollo de las observaciones por parte del maestro. Para los trabajos experimentales de este tipo los alumnos utilizan objetos de uso doméstico y los materiales disponibles, los instrumentos de fabricación casera, los juegos de armar y los juegos fabricados por las industrias.



Tradicionalmente la actividad experimental se restringe a las prácticas de laboratorio basadas en el siguiente algoritmo: el profesor asigna la actividad y explica cómo hacerla, el estudiante ejecuta y el profesor controla. De este modo, el estudiante juega un papel prácticamente pasivo, no puede participar en la planificación de la actividad experimental y tampoco modificarla. Hay que propiciar que se desarrollen las potencialidades creadoras que sustentan las habilidades experimentales que les permitan resolver problemas prácticos. Incluso concepciones de la actividad experimental y del experimento docente que aspiran a la formación de habilidades intelectuales y prácticas asumen criterios algorítmicos para su realización.

Para la enseñanza de la Física y en específico la actividad experimental durante las prácticas de laboratorio, Gil (1997), plantea que lo que se busca es que sepan cómo aprender cosas nuevas y enfrentarse a ellas con confianza y buen criterio. Un laboratorio de física no es necesariamente un ámbito donde se ilustran y demuestran todos y cada uno de los conceptos discutidos en un texto o clase teórica. Las limitaciones en tiempo, equipos y personal lo harían seguramente imposible. Hay, sin embargo, una misión fundamental e irremplazable del laboratorio en la formación de los estudiantes, mucho más viable y provechosa, que consiste en que aprendan el camino por el cual se genera el conocimiento científico mismo.

#### **1.4- Los trabajos de laboratorio**

En consecuencia, las PL de Física deben constituir experimentos docentes, que devienen de tareas generalmente elaboradas por el profesor y que los estudiantes realizan con su ayuda. Su diseño requiere de la representación previa de relaciones entre las magnitudes que intervienen en la solución de la tarea experimental. Esta es una condición esencial para el diseño y realización de las PL de Física.

#### **1.5- Los trabajos prácticos de Física**

Con ellos se concluye el estudio de la física en cada grado en el segundo nivel de enseñanza. Los alumnos realizan los trabajos por si solos, utilizando las instrucciones escritas por las que ellos se preparan con anterioridad para realizar el experimento. Los trabajos de laboratorio de las prácticas son mucho más complejos que los frontales; por eso se dedican generalmente dos turnos de clase para su realización.

Para la realización de la actividad experimental en el PEA de la Física en la educación preuniversitaria en Cuba se cuenta en la mayoría de los preuniversitarios con nuevas dotaciones de laboratorio. A continuación, se realiza un análisis del estado de ese proceso.

## **II. Caracterización de la realización de actividades experimentales en el décimo grado de los preuniversitarios holguineros.**

Para realizar el diagnóstico del estado actual de la realización de actividades experimentales de Física en el décimo grado de los preuniversitarios de Holguín, se elaboraron criterios de análisis de dicho proceso. A partir de los objetivos y fundamentos de este trabajo, la reflexión sobre la práctica y consultas a profesores de experiencia en la realización de actividades experimentales se elaboraron los siguientes criterios:

1. Preparación de los profesores para realizar las actividades experimentales.
2. Frecuencia con la que realizan actividades experimentales en las clases de Física.
3. Participación de los estudiantes en el proceso de planificación y ejecución de dicha actividad experimental.
4. Opiniones de los estudiantes respecto a la frecuencia con que se realizan las AE.
5. Opiniones de los estudiantes respecto a la realización de actividades experimentales.

Los criterios 2 y 4 permiten triangular la información respecto a la frecuencia con que se realizan actividades experimentales en las clases de Física.

Sobre la base de esos criterios y se elaboraron encuestas y entrevistas a estudiantes y profesores. Se pretende con ello conocer el nivel de preparación de los profesores para realizar las actividades experimentales y la influencia que esto tiene en la realización de las actividades experimentales de Física, en particular si los estudiantes se involucran en el proceso de planificación y ejecución de esas actividades.

Para obtener información acerca de la actividad experimental en el PEA de la Física en décimo grado de los preuniversitarios del municipio de Holguín se elaboraron encuestas y entrevistas a estudiantes y profesores y una guía de observación (anexos 1, 2, 3 y 4). Las mismas se hicieron de modo que ofrecen información acerca de los criterios de análisis elaborados.

La encuesta a profesores (Anexo 1) se aplicó a una muestra de 8 profesores de Física del municipio de Holguín. El 100 % de los encuestados manifiesta que los centros donde laboran existen locales de laboratorio y dotaciones para realizar las actividades

experimentales. Los aspectos que más se señalan son los relacionados con que disponen de poco tiempo para diseñar, planificar y realizar las AE (100 % de los encuestados), no tienen dominio suficiente del trabajo con los medios de la nueva dotación 6 profesores (75 %). Además 6 profesores consideran que no son suficientes los documentos que disponen para prepararse para hacer las AE. Solo un profesor (12,5 %) dice que realiza actividades experimentales con cierta frecuencia. Los restantes plantean que la frecuencia es baja.

A partir de la guía para la observación de clases (Anexo 2), se detectaron insuficiencias en la realización de actividades experimentales. En ninguna de las 6 clases observadas se realizaron experimentos frontales o demostrativos o se orientaron experimentos extraclases. Al indagar en la entrevista (Anexo 3), acerca de la poca frecuencia con que se realizan actividades experimentales en el aula, ellos plantean que por lo general solo se realizan actividades experimentales en las clases destinadas a las prácticas de laboratorio según las orientaciones del programa y no se hace extensivo a todas las formas organizativas del proceso docente educativo (tratamiento de nuevo contenido, desarrollo de habilidades, trabajo de laboratorio).

Reconocen que se han realizado actividades metodológicas y de superación relacionadas con el uso de la nueva dotación de laboratorio, que se les han hecho demostraciones y explicado cómo trabajar con ese equipamiento, pero se les ha insistido mucho en que son equipos muy débiles, con los cuales hay que tener sumo cuidado pues se rompen con facilidad. Además plantean que no cuentan con sugerencias metodológicas de actividades experimentales específicas, de modo que ellos tienen que diseñarlas, realizarlas. Si todo sale bien, entonces pensar cómo introducirlas en el PEA. Para ello disponen de poco tiempo. La combinación de ese temor a usar la nueva dotación, la falta de preparación para trabajar con ella y limitaciones de tiempo para diseñar y realizar AE y luego concebir didácticamente cómo introducirlas en el PEA de la Física determinan en buena medida que los profesores prefieran seguir realizando el PEA basado en el trabajo en la pizarra y algunas prácticas de laboratorio.

Según exponen los profesores en las entrevistas, dichas prácticas por lo general se realizan como “experimentos” frontales, de modo que solo algunos estudiantes manipulan el equipamiento.

A partir de la encuesta realizada a estudiantes de décimo grado (Anexo 4), se obtuvieron los siguientes resultados. De los 38 estudiantes encuestados, 21 (55,3 %) dicen que les gusta mucho que se realicen experimentos en el aula. De los restantes, nueve (23,8 %) dicen que les gusta bastante y ocho (21,1 %) que les gusta poco.

De esa misma muestra, tres estudiantes (8,0 %) dicen que se hacen suficientes experimentos en clases, ocho (21,1 %) que se hacen algunos y 26 (68,4 %) que se hacen muy pocos experimentos. Esto concuerda con lo expresado con los profesores respecto a la frecuencia con que se hacen actividades experimentales en el aula.

Se pudo constatar que, a pesar de la falta de sistematicidad en el desarrollo de la actividad experimental, los alumnos muestran interés y curiosidad por el laboratorio, de modo que es una fuente posible de motivación, esto se debe a que solo se realizan algunas prácticas de laboratorio en los preuniversitarios del municipio de Holguín. Sin embargo, la escasa participación de los estudiantes en la realización de las actividades experimentales limita que esta sea una vía para mejorar la motivación y el aprendizaje de la Física. Por otra parte, la no elaboración de informes de las prácticas de laboratorio y la no inserción de experimentos demostrativos en las clases teóricas, en las que se propicie el debate de resultados, es otra limitación que apunta en el mismo sentido que la anterior.

De los resultados de las encuestas a profesores y estudiantes y las entrevistas con los primeros de ellos, se concluye que:

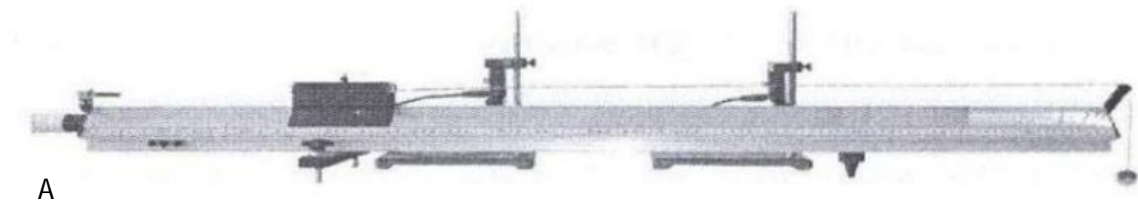
- La actividad experimental puede ser una vía efectiva, para que los alumnos muestran interés por la Física y mejore así su aprendizaje.
- Existe una insuficiente realización de actividades experimentales en el PEA de la Física pues solo se realizan algunas prácticas de laboratorio en algunos preuniversitarios del municipio y esporádicos experimentos demostrativos.
- La escasa participación de los estudiantes en la realización de las actividades experimentales limita que esta sea una vía para mejorar la motivación y el aprendizaje de la Física.
- Las causas fundamentales que inciden en las insuficiencias antes mencionadas son la falta de dominio de los profesores de la nueva dotación de laboratorio, el temor a usar el nuevo equipamiento y la falta de tiempo para diseñar variantes de AE.

En consecuencia, es necesario elaborar actividades experimentales con los medios más sencillos, de modo que los profesores aprendan a usarlos, pierdan el temor y con el desarrollo de habilidades en ese sentido estén listos para hacer las actividades experimentales con medios más sofisticados, esto favorecerá a la elaboración y ejecución de dichas actividades por parte de los docentes y estudiantes de los preuniversitarios de Holguín.

La revisión de la literatura muestra que existen orientaciones para el uso de la nueva dotación de laboratorio, fundamentalmente usando el IDES y con equipos relativamente complicados en su funcionamiento, sin embargo, se carece de sugerencias para su uso de esos mismos medios en condiciones tradicionales. Específicamente se propone en este trabajo el uso del carril neumático, del cual se desconocen algunos parámetros para su utilización más diversificada.

### **III. Diseño de las actividades experimentales y resultados obtenidos**

En el curso anterior se realizó el diseño de actividades experimentales de Física para el tratamiento de la cinemática y la dinámica con el carril neumático de la nueva dotación de laboratorio para el décimo grado de los preuniversitarios holguineros.



El carril neumático consiste en un tubo liso de aluminio de forma cuadrada, que está fijo a una estructura de modo que uno de sus vértices queda hacia arriba, así quedan dos caras hacia arriba. Las paredes de esas caras tienen dos carrileras de orificios pequeños (con el mismo diámetro y a la misma distancia uno de otro) por los cuales sale el aire con la misma intensidad. El soplador consiste en una turbina de aire que será conectada al carril por el extremo A, este soplador, al suministrar el aire hace que el deslizador se suspenda en el mismo y esto trae consigo que el coeficiente de rozamiento se mínimo.

Con este dispositivo el manual del laboratorio (traducido del original en inglés) contiene un conjunto de actividades experimentales de mecánica, con un conjunto de indicaciones rigurosamente establecidas, las que se mencionan a continuación.

- Velocidad media e instantánea en el movimiento rectilíneo con velocidad variable
- Medición de la aceleración en el movimiento rectilíneo uniformemente variado
- Estudio de la segunda ley de Newton
- Conservación del momento lineal en el choque unidimensional
- Relación entre la energía cinética ( $E_c$ ) y el cuadrado de la velocidad ( $V^2$ )

En todos esos casos se trata de actividades experimentales diseñadas para obtener de directamente las mediciones distancia y tiempo y de la velocidad de modo automático. Las traducciones con que cuentan los profesores carecen de la descripción de cómo usar el IDES.

A continuación, se describe un conjunto de actividades experimentales que pueden realizarse con el carril neumático, aunque se carezca de las instrucciones antes mencionadas, así como otros que no se describen en el referido manual.

### **3.1- Actividad 1: Estudio del coeficiente de rozamiento estático $\mu_e$ del carril con los deslizadores.**

#### **Variante 1**

**Objetivo:** Determinar experimentalmente el coeficiente de rozamiento estático entre el tubo soporte del carril neumático y los deslizadores, del referido conjunto.

#### **Tarea experimental**

Un equipo de laboratorio de particular importancia para la experimentación en Física 10. Grado es el carril neumático. Si el mismo se usa sin el soplador, una característica importante del mismo es el coeficiente de rozamiento entre el carril y los deslizadores. Realice un experimento en el que determine el coeficiente de rozamiento estático entre dicho carril y los deslizadores.

El estudio del coeficiente de rozamiento estático entre el carril y los deslizadores se realiza sin que exista un flujo de aire, de modo que no se utiliza el soplador. Esta es una posibilidad para el uso de este medio que no ha sido prevista en el manual de laboratorio. Para realizar ese estudio existen, al menos tres variantes:

1. Usando el carril como plano inclinado variable, hasta obtener el ángulo límite para el cual el deslizado inicia su movimiento descendente.
2. Colocar el carril en posición horizontal y fijar un dinamómetro sobre uno de los deslizadores. Colocar una polea y colgar cuerpos, de modo que se ejerza una fuerza paralela a la superficie del carril, que puede ser medida con el dinamómetro.
3. Usar un montaje como el antes descrito, pero sin usar el dinamómetro (Figura 2).

En este caso es necesario asegurarse de que el carril está a nivel. Para ello puede usar como es obvio un nivel de burbuja o usando el soplador y mediante sucesivas pruebas ajustar las alturas de ambos extremos del carril hasta que el deslizador no se mueva aún sobre un cojín de aire. Otra cosa que debe asegurarse es que la línea que une los vértices superior e inferior del carril estén en posición vertical. Eso puede lograrlo con buena aproximación si una vez que está a nivel a lo largo del carril, logra manipulando los apoyos que los dos vértices laterales del carril estén a la misma altura sobre la mesa en el sitio donde están los apoyos dobles.

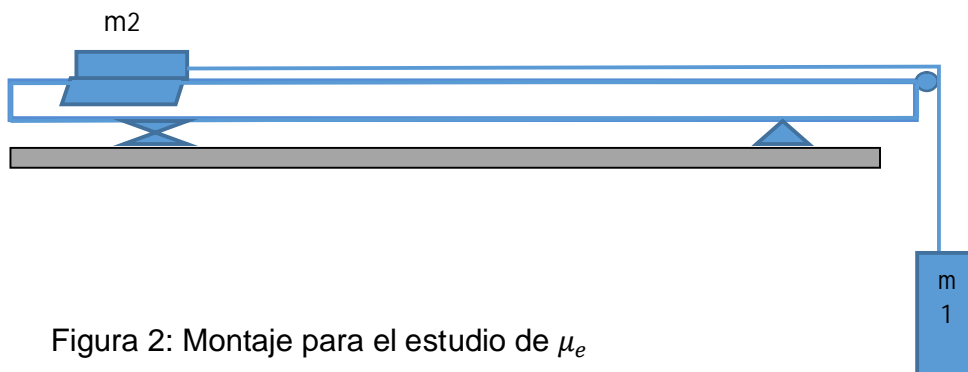


Figura 2: Montaje para el estudio de  $\mu_e$

$m_2$  es la masa del deslizador.

$m_1$  es la masa que cuelga (debe ser un platillo o similar donde se puedan colocar cuerpos sucesivos, hasta lograr el arranque del deslizador).

Esta masa ( $m_1$ ) se logra colocando diferentes cuerpos de distintas masas en el platillo hasta que este logre mover al deslizador, este proceso debe realizarse de forma cuidadosa ya que al colocar los cuerpos en el platillo podemos hacerlo de manera brusca y así alterar los resultados. Luego, cuando se logre obtener ( $m_1$ ) se mide en una balanza la masa de este cuerpo para almacenar los datos obtenidos.

A partir de la solución teórica del problema experimental que deviene de la tarea docente (anexo 5), se establece la ecuación de trabajo de la cual se deducen consecuencias experimentales, la que se expone a continuación:

$$\mu_e = \frac{m_1}{m_2} \quad (1.3)$$

La expresión 1.3 implica que el coeficiente de rozamiento estático máximo se pide determinar experimentalmente mediante la relación entre la masa del deslizador y la del conjunto que a través del hilo proporciona la fuerza que tiende a sacar el deslizador de su estado de reposo respecto al carril.

Dado que las características de la superficie del carril pueden cambiar, se decidió determinar  $\mu_e$  para distintas posiciones del deslizador sobre el mencionado carril. Los resultados aparecen en la Tabla 1. Para medir las masas  $m_1$  y  $m_2$  se usó una balanza de triple brazo con apreciación de 0,1 g.

Tabla 1. Valores experimentales de  $\mu_e$  entre el deslizador y el carril para distintas posiciones de este último sin flujo de aire.

Posición (cm)	$m_1$ (g)	$m_2$ (g)	$\mu_e$	Promedio del coeficiente de rozamiento
20	92,8	150,0	0,62	0,63
40	96,3	150,0	0,64	
60	91,3	150,0	0,61	
80	96,7	150,0	0,64	
100	94,5	150,0	0,63	
120	93,4	150,0	0,62	
140	95,2	150,0	0,63	

El coeficiente de rozamiento estático, según los resultados experimentales obtenidos, no es una magnitud constante a lo largo de todo el carril, no obstante, las diferencias de los valores obtenidos muestran que las diferencias son pequeñas, por tanto, las diferencias encontradas se asocian más a la precisión de las mediciones que a diferencias sustanciales de la superficie del carril. El valor promedio encontrado no se interpreta literalmente, sino como el valor más probable de dicho coeficiente, al medirlo en cualquier parte de la longitud del carril.



## Variante 2

Al igual que en la primera variante, el estudio del coeficiente de rozamiento estático entre el carril y los deslizadores se realiza sin que exista un flujo de aire, de modo que no se utiliza el soplador. El diseño ahora consiste en colocar el carril en posición horizontal y fijar un dinamómetro sobre el deslizador. El resto del montaje es similar al de la variante uno.

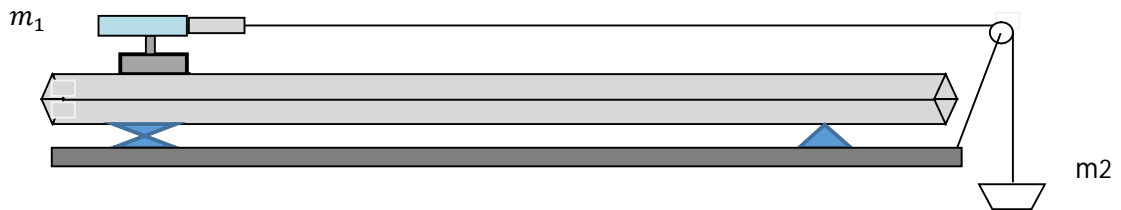


Figura 3: Determinación de  $\mu_e$  entre el carril y el deslizador

En este caso es necesario asegurarse de que el carril está a nivel. Proceder para ello igual que en la primera variante de este experimento. Para fijar el dinamómetro al deslizador es necesario usar una mordaza apropiada. Ahora es posible medir directamente la fuerza que se ejerce sobre el deslizador y que tiende a que este se mueva. El sistema para aumentar la masa  $m_2$ , es necesario para ir vertiendo arena u otro tipo de lastre hasta que el deslizador pierda el estado de reposo respecto al carril. Es un proceso que requiere de cuidado pues debe tender a un valor límite que solo se conoce cuando se ha sobrepasado ligeramente. Ese sistema puede sustituirse halando con la mano, pero es menos preciso para medir la fuerza. Establecidos estos requisitos, es necesaria la solución teórica del problema planteado (anexo 6). A partir de dicha solución, se establece la ecuación de trabajo de la cual se deducen consecuencias experimentales, la que se expone a continuación:

$$\mu_e = \frac{F}{f_{g1}} \quad (1.5)$$

La expresión 1.5 implica que el coeficiente de rozamiento estático máximo se puede calcular mediante la relación entre la fuerza aplicada al deslizador junto con el dinamómetro y la fuerza de gravedad del cuerpo que cuelga.

Se decidió determinar  $\mu_e$  para las mismas distintas posiciones del deslizador que en la primera variante de este experimento. Los resultados aparecen en la Tabla 2. Para medir las masas  $m_1$  se usó una balanza de triple brazo con apreciación de 0,1 g. Tabla 2. Valores experimentales de  $\mu_e$  entre el deslizador y el carril para distintas posiciones de este último sin flujo de aire.

Para medir la fuerza un dinamómetro de 0-3 N con una apreciación de 0,1 N. Se toma  $g = 9,76 \text{ m/s}^2$ . Igual que en la primera variante el coeficiente de rozamiento estático, según los resultados experimentales obtenidos, no es una magnitud constante a lo largo de todo el carril. Aunque las diferencias de los valores obtenidos son pequeñas, por esta vía se obtiene una dispersión mayor del valor más probable de  $\mu_e$  para cada una de las posiciones estudiadas. Eso significa que esta variante es menos recomendable que la anterior.

Posición (cm)	$m_1$ (kg)	$f_{g1}$ (N)	$F(N)$	$\mu_e$	$\bar{\mu}_e$
20	0,1723	1,68	0,9	0,54	0,58
40	0,1723	1,68	1,0	0,59	
60	0,1723	1,68	0,9	0,54	
80	0,1723	1,68	1,1	0,65	
100	0,1723	1,68	0,9	0,54	
120	0,1723	1,68	1,0	0,59	
140	0,1723	1,68	1,0	0,59	

### 3.2- Actividad 2: Estudio de las condiciones más favorables para obtener un MRUA

Objetivo: Determinar las condiciones óptimas para la realización de experimentos de clase de cinemática usando el carril neumático y el soplador.

#### Tarea experimental

Analiza cómo obtener un MRUA usando el carril neumático. Demuestra experimentalmente que con ese equipo se puede obtener un MRUA.

La Figura 4 muestra la posición en que se sugiere colocar el carril neumático para la realización de demostraciones similares a las que se sugieren en este trabajo. Sin embargo, los profesores no cuentan con estudios que muestren los parámetros de diferencias de alturas (inclinación del plano) y otras condiciones para el trabajo óptimo con este equipo.

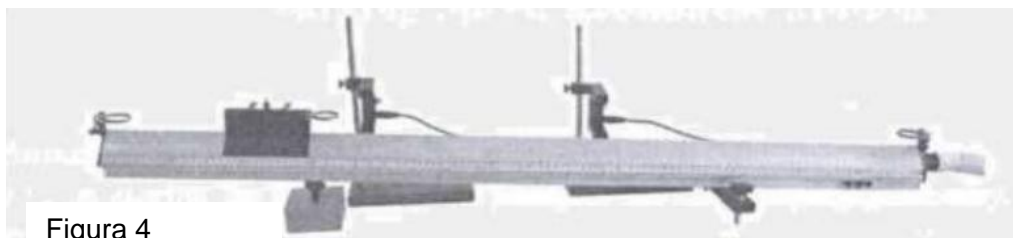


Figura 4

Las indicaciones metodológicas de que disponen los profesores abarcan cuestiones generales de su uso para la obtención automática de magnitudes cinemáticas usando la plataforma digital IDES. La Figura 4 muestra la forma en que se sugiere usar el carril para el estudio del MRUA. Este montaje es muy apropiado usando la plataforma informática IDES. ¿Es igualmente apropiada si no es posible usar ese software?

Condiciones del plano inclinado usando el soplador.

- El coeficiente de rozamiento entre el deslizador y el carril, cuando hay flujo de aire, es casi nulo.
- Se logra un movimiento acelerado para ángulos de inclinación del plano muy pequeños.
- Las mediciones manuales requieren de intervalos de tiempo lo más extensos posible y la mayor cantidad de etapas posibles.

¿Cuáles son las condiciones óptimas?

No es necesario colocar un taco debajo de los apoyos del carril. Se obtiene un MRUA para diferencias de altura entre la parte superior ( $H_1$ ) e inferior ( $H_2$ ) del carril de 1 cm e incluso menores.



Para lograr un MRUA con flujo de aire en el carril, solo es necesaria una pequeña diferencia de altura entre los extremos del mismo, pues en esas condiciones el coeficiente de rozamiento es prácticamente cero. Esta diferencia de altura se logra ajustando los apoyos del carril de forma tal que la parte superior del mismo (el apoyo doble) quede a una diferencia de altura mayor a la parte inferior del carril.

Para lograr que el deslizador no se recargue, en su movimiento sobre una de las superficies del carril, este debe estar nivelado en la dirección perpendicular al movimiento del deslizador. El procedimiento seguido para lograr lo antes expuesto es medir con una regla graduada en milímetros, con el cero en su extremo, la altura de los vértices laterales del carril a la superficie de la mesa. Ambos deben estar a la misma altura sobre la superficie de la mesa nivelada. Es necesario medir esa altura por los dos lados opuestos del carril.

Para realizar el montaje se colocaron diferentes indicadores (banderitas) a 40 cm, 80 cm, 120 cm y 160 cm respectivamente, estos indicadores fueron medidos desde la parte trasera del deslizador. El tiempo se midió con un teléfono celular, cuya apreciación es de 0,01 s. Se realizaron diez mediciones del mismo para cada distancia recorrida. Este proceso se repitió para las diversas diferencias de altura seleccionadas, para asegurarse de detectar las más convenientes. En el Anexo 7 se muestra la obtención de la expresión para la determinación, por vía indirecta, de la aceleración para cada uno de los movimientos. A partir de dicha solución, se establece la ecuación 2.1 y la de trabajo (2.2). De esta última es que se deducen consecuencias experimentales.

$s = \frac{1}{2}at^2$  (2.1). Si se trata de un MRUA, entonces  $\frac{1}{2}a$  es constante.

$$s = \frac{1}{2}ax \quad (2.2)$$

La expresión 2.2 representa una función lineal entre la distancia recorrida y  $x$ , que es el tiempo que demora el móvil en recorrer cierta distancia  $s$ . El valor de  $\frac{1}{2}a$  es la pendiente de la recta, si se representa esta función en un sistema de ejes cartesianos. Los resultados de las mediciones directas se tabularon en tablas (Anexo 8). Con esos datos se determinó la aceleración del deslizador. A partir de esos resultados se elaboró la Tabla 3. En todos los casos el deslizador partió del reposo.

La Tabla 3 muestra las mediciones de tiempo, distancias recorridas para diferentes diferencias de alturas entre la parte más alta y más baja del carril y la medición indirecta de la aceleración, utilizando la ecuación (2.1) y los resultados experimentales obtenidos.

Tabla 3: Resultados de la medición indirecta de la aceleración para diferentes diferencias de alturas entre la parte más alta y más baja del carril.

Diferencia de alturas	S (m)	$\bar{t}$ (s)	$t^2$	a (m/s <sup>2</sup> )
$\Delta h = 3,0$ cm	0,4	2,750	7,563	0,106
	0,8	4,162	17,322	0,092
	1,2	5,049	25,492	0,094
	1,6	5,878	34,551	0,093
	0,4	4,214	17,758	0,045
	0,8	5,811	33,768	0,047
	1,2	7,203	51,883	0,046

$\Delta h = 2,0 \text{ cm}$	1,6	8,493	72,131	0,044
$\Delta h = 1,5 \text{ cm}$	0,4	5,329	28,40	0,028
	0,8	7,494	56,16	0,028
	1,2	9,079	82,43	0,029
	1,6	10,506	110,38	0,029
$\Delta h = 1,0 \text{ cm}$	0,4	6,214	38,61	0,021
	0,8	8,442	71,27	0,022
	1,2	10,484	109,91	0,022
	1,6	12,005	144,12	0,022

Como se puede apreciar, a partir de las mediciones y cálculos realizados, las diferencias de altura óptimas para el estudio de movimiento rectilíneo uniformemente acelerado son las de  $\Delta h = 1,5 \text{ cm}$  y  $\Delta h = 1,0 \text{ cm}$  al obtener los valores menos dispersos de aceleración, no siendo así con las demás diferencias de altura estudiadas.

Esto es así porque los lapsos de tiempo a medir son suficientemente grandes, de modo que las incertidumbres de las mediciones son relativamente menores. Las gráficas de posición en función del cuadrado del tiempo  $s = f(t^2)$  así lo corroboran. Se ejemplifica con las gráficas correspondientes a diferencias de altura de los extremos del carril de 3,0 y 1,5 cm respectivamente (Anexo 9).

Comparando las ecuaciones de las rectas obtenidas, tenemos que, para  $\Delta H = 3,0 \text{ cm}$ :

$y = 0,044 \cdot x + 0,048$  (2.3). Teniendo en cuenta que  $v_0 = 0$

$$s = s_0 + \frac{1}{2}at^2 \quad (2.4)$$

Comparando 2.3 y 2.4

$$s_0 = 0,048$$

$$\frac{1}{2}a = 0,048$$

$$a = 0,096 \text{ m/s}^2$$

$$s = 0,048 + 0,044t^2$$

Esta ecuación corresponde a un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado, con módulo de la aceleración de  $0,096 \text{ m/s}^2$ . El intercepto no coincidente con el origen de coordenadas (0,0; 0,0), se debe a que el experimento no es automatizado, de modo que debe existir un retraso o adelanto en el inicio del movimiento, respecto al momento en que

se inicia la toma del intervalo de tiempo y a que al soltar el cuerpo puede el operario dar cierto impulso al cuerpo en un sentido u otro. Los resultados de la aceleración, calculada punto a punto, difieren de la aceleración más probable, obtenida por el método de graficación.

Si se hace un análisis similar para el Gráfico 2, para  $\Delta H = 1,5 \text{ cm}$  se aprecia que:

$$s_0 = -0,018$$

$$\frac{1}{2}a = 0,014$$

$$a = 0,028 \text{ m/s}^2$$

$$s = -0,018 + 0,028t^2$$

Se aprecia que, en el estudio de este movimiento, la aceleración obtenida, punto a punto coincide en mucho mayor grado de la aceleración más probable, obtenida por el método de graficación, que en el caso del Gráfico 2.

Esto evidencia que se obtienen mejores resultados con una diferencia de altura de los extremos del carril de 1,5 cm que de 3,0 cm.

**Actividad 2:** Predicción de la velocidad de un cuerpo que realiza en *MRUA*, con velocidad inicial nula.

**Objetivo:** Demostrar experimentalmente la relación entre la velocidad de un cuerpo que realiza un *MRUA*, con velocidad inicial nula, y la distancia recorrida por este.

### **Problema experimental**

Un cuerpo que parte del reposo realiza un *MRUA*. Determina experimentalmente, la velocidad para dos pares de puntos, de modo que en cada caso la velocidad en el punto más alejado del origen del movimiento sea doble que la del punto más cercano a dicho punto.

### **Solución teórica del problema**

Con la siguiente actividad el estudiante debe descubrir de forma algebraica dónde colocar los medidores de forma tal que la velocidad del punto 2 sea el doble que la velocidad en el punto 1.

Es evidente que podría usarse una estrategia de prueba y error, por ejemplo, tomar un primer punto arbitrariamente y medir la velocidad del cuerpo en dicho punto y luego medir la

velocidad del cuerpo en diferentes puntos, hasta encontrar uno en que la velocidad sea la más próxima al doble que en el primero. Esto se discute con los estudiantes.

Una segunda variante es aplicar los conocimientos teóricos adquiridos sobre el *MRUA*. Lo primero sería determinar qué expresión algebraica de dicho movimiento modela la relación entre la velocidad y la distancia recorrida por el cuerpo. La solución teórica se muestra en el Anexo 10. Según la expresión:

$$x_2 = 4x_1 \quad (3.5)$$

Algebraicamente se demuestra que para que  $v_2 = 2v_1 \rightarrow x_2 = 4x_1$ . Este resultado teórico se toma como hipótesis de trabajo, sobre la base del cual se diseña el experimento.

Aunque en realidad no hay una relación causal entre la velocidad y la distancia recorrida, pues estas dependen de otros factores (velocidad inicial y fuerza resultante sobre el cuerpo), en el caso específico de este problema, la velocidad en cada punto depende de la distancia a la que dicho punto se encuentra del origen del movimiento.

Así, tomamos como VI: la distancia del punto al origen de coordenadas y como VD la velocidad del cuerpo en cada punto de la trayectoria. Para solucionar el problema, vasta seleccionar un punto a cierta distancia del origen del movimiento y otro punto a una distancia 4 veces mayor del origen. Se miden las velocidades en cada punto y se comparan. Se repite esta operación para otro par de distancias.

#### **Materiales:**

- . Carril Neumático
- . Soplador
- . Deslizadores
- . Regla graduada en milímetros
- . Multifuncional como medidor de velocidad.

#### **Realización del experimento**

La Figura 4 muestra la posición en que se sugiere colocar el carril neumático para la realización de demostraciones similares a las que se sugieren en este trabajo. Los resultados de la actividad anterior permiten prever inclinaciones en las que se obtienen resultados satisfactorios. Estas según las mediciones y cálculos realizados, son óptimas para diferencias de altura de  $\Delta h = 1,5 \text{ cm}$  y  $\Delta h = 1,0 \text{ cm}$ .

Las indicaciones metodológicas de que disponen los profesores abarcan cuestiones generales de su uso para la obtención automática de magnitudes cinemáticas usando multifuncional como medidor de velocidad.

Condiciones del plano inclinado usando el soplador.

- El coeficiente de rozamiento entre el deslizador y el carril, cuando hay flujo de aire, es casi nulo.
- Se logra un movimiento acelerado para ángulos de inclinación del plano muy pequeños.
- Las mediciones manuales requieren de intervalos de tiempo lo más extensos posible y la mayor cantidad de etapas posibles.

¿Cuáles son las condiciones óptimas para este experimento usando un instrumento que mida directamente la velocidad y de modo automatizado?

De ahí que para lograr un *MRUA* con flujo de aire en el carril, solo es necesaria una pequeña diferencia de altura entre los extremos del mismo, pues en esas condiciones el coeficiente de rozamiento es prácticamente cero. Esta diferencia de altura se logra ajustando los apoyos del carril de forma tal que la parte superior del mismo (el apoyo doble) quede a una diferencia de altura mayor a la parte inferior del carril.

Para lograr que el deslizador no se recargue, en su movimiento sobre una de las superficies del carril, este debe estar nivelado en la dirección perpendicular al movimiento del deslizador. El procedimiento seguido para lograr lo antes expuesto es medir con una regla graduada en milímetros, con el cero en su extremo, la altura de los vértices laterales del carril a la superficie de la mesa. Ambos deben estar a la misma altura sobre la superficie de la mesa nivelada. Es necesario medir esa altura por los dos lados opuestos del carril. El experimento se realiza según lo representado en el Anexo 11.

Con el carril en esas condiciones se decidió realizar el experimento para los pares de puntos siguientes:

$$x_{1a} = 15 \text{ cm y } x_{2a} = 60 \text{ cm}$$

$$x_{1b} = 20 \text{ cm y } x_{2b} = 80 \text{ cm}$$

Para realizar el montaje se colocan las fotoceldas a distancias predeterminadas ( $x_{1a}$  y  $x_{2a}$ , así como  $x_{1b}$  y  $x_{2b}$ ). Es necesario tener en cuenta que el esquema no está a escala. Las distancias seleccionadas son las que se expresaron con anterioridad.



El equipo multifuncional se manipula de modo que en la columna de lámparas LED de la derecha indique que mide velocidad (cm/s) y en la fila inferior el indicador  $s_2$ . De ese modo el equipo mide la velocidad del cuerpo cuando pasa por la barrera 1 y vuelve a hacerlo cuando pasa por la segunda barrera. Esas mediciones pueden anotarse o recuperarse más adelante. Se hacen 5 mediciones para cada par de puntos, para convencernos de que no se trata de un resultado casual. Los datos obtenidos se escriben en la Tabla 3

Tabla 3: Datos experimentales obtenidos con la instalación experimental descrita.

$x_1$ (cm)	$v_1$ (m/s)	$x_2$ (cm)	$v_2$ (m/s)	$v_2/v_1$
10	17,3	40	34,7	2,0
10	17,4	40	34,3	2,0
10	17,3	40	34,4	2,0
10	17,2	40	34,4	2,0
10	17,4	40	34,6	2,0
15	21,2	60	43,5	2,1
15	21,4	60	43,2	2,0
15	20,9	60	43,4	2,1
15	21,1	60	43,1	2,0
15	21,4	60	43,3	2,0

Al obtener el resultado se comprueba con buena aproximación la razón  $\frac{v_2}{v_1} = 2$

Como puede apreciarse, los resultados se corresponden con la hipótesis establecida. Eso puede interpretarse del siguiente modo: la ecuación utilizada describe de modo adecuado el movimiento de un cuerpo por un plano inclinado cuando la fuerza de rozamiento es casi nula. Desde otra perspectiva, podemos afirmar que ese movimiento corresponde a un MRUA.

Estas actividades experimentales inicialmente se realizaron con el uso del carril neumático y para la toma de datos se utilizó el cronometro, permitiendo realizar las mediciones de forma manual, luego se efectuó una de las actividades experimentales propuestas con la utilización del IDES lo que facilitó la toma de datos automatizada. En ambos experimentos se pudo constatar la similitud de los resultados obtenidos.

#### **IV. Introducción de las actividades experimentales en la práctica**

Para poner en mano de los profesores las demostraciones elaboradas con sugerencias para su realización es necesario realizarlas con alumnos para revisar aspectos que para ellos puedan ser de dificultad. Para ello se tomó una muestra de 5 estudiantes del Preuniversitario *Jesús Menéndez Larrondo* tomados al azar. Para realizar esta actividad se coordinó con su profesor guía, la que se hizo siempre en sección contraria. Al comenzar la primera actividad, se les dio una preparación previa para la utilización correcta del carril y en la última para que comprendieran el funcionamiento del equipo multifuncional como medidor de velocidad.

##### **4.1- Actividad 1 Variante 1:**

Al llegar los estudiantes al laboratorio se sostiene una conversación inicial para que se familiaricen con el contenido que se va a realizar. Para la ejecución de la demostración se citaron los estudiantes seleccionados en sección contraria y se les orientó una tarea previa acerca de las características del coeficiente de rozamiento estático, así como su importancia en la ciencia y la técnica y en la vida cotidiana.

Aunque los alumnos no respondieron de forma totalmente correcta las tareas previas, aportaron algunos elementos acertados acerca del rozamiento estático, fundamentalmente de su importancia en algunos procesos. Se aprovecha esta situación para introducir información al respecto y orientar una nueva tarea.

¿Cómo podemos estudiar las características del rozamiento estático y determinar el coeficiente de rozamiento correspondiente entre dos cuerpos?

Se le dan cinco minutos para que reflexionen. Luego de ese tiempo ninguno de los estudiantes ha encontrado cómo solucionar la tarea, pero se han esforzado en hacerlo. Se le pregunta, como sugerencia para buscar una vía de solución, qué sucede cuando se empuja paulatinamente cada vez más intensamente un cuerpo grande. Se explica que, al aumentar la fuerza ejercida sobre el cuerpo, este sigue sin cambiar de estado mecánico. Eso significa que la  $F_r$  se incrementa hasta un valor máximo.

Después se les presenta a los estudiantes el carril neumático y el deslizador, poniéndole como interrogante cómo, usando la idea anterior, se puede determinar las características de la  $F_{re}$  y además medir de modo indirecto el coeficiente de rozamiento entre el carril y el deslizador.

Se les piden ideas a los estudiantes para diseñar un experimento para evidenciar lo expresado con anterioridad: la *Fre* puede variar desde un valor nulo, hasta cierto valor máximo. Aunque las ideas que aportan los alumnos no son muy acertadas, participan con entusiasmo y paulatinamente se llega a la idea del montaje de la actividad experimental 1, descrita en este trabajo.

En esta parte del trabajo los estudiantes necesitaron cierto nivel de ayuda, debido al débil dominio de la materia. Luego que han comprendido se usa esa idea (incremento de la *Fre*) como hipótesis de trabajo.

Se les pide a los estudiantes que prevean cómo determinar  $\mu_e$ . Luego de una breve explicación se pasa a desarrollar la solución teórica del problema. La ecuación:

$$\mu_e = \frac{m_1}{m_2}$$

Se toma como elemento para el diseño de cómo determinar de modo indirecto  $\mu_e$

Se realiza la demostración, de forma tal que los estudiantes colaboran en la toma de datos, cálculo y ordenamiento de los mismos. Apoyado en preguntas y los resultados experimentales, se hace un resumen de la *Fre* y de la determinación de  $\mu_e$ . Al terminar la demostración se les pregunta si comprendieron la explicación, y todos los alumnos manifiestan que comprendieron.

Al hacerle preguntas al respecto se aprecia que tres de los estudiantes comprendieron con relativa profundidad lo explicado y dos con limitaciones, pues les dificulta comprender cómo puede esa fuerza aumentar de modo autónomo. Se les pide que busquen en una tabla el valor del  $\mu_e$  para superficies de aluminio-aluminio y se admiran cuando aprecian que el resultado es cercano al reportado en el libro. El tiempo total empleado en la actividad fue de 37 minutos.

**Actividad 1, Variante 2** (Estas actividades se realizaron con una semana de diferencia para que los alumnos se prepararan)

Esta demostración se realizó después de la demostración uno (1) lo cual permitió que los análisis realizados sirvieran de base para el mismo. Se les plantea a los estudiantes que se quiere hacer lo mismo, pero midiendo directamente la fuerza que actúa sobre el cuerpo. La cuestión que ofreció mayor dificultad para los alumnos, excepto uno, fue cómo aumentar de modo gradual la fuerza sobre el objeto y cómo medir ese incremento. Al cabo de cinco (5)

minutos de reflexión, explicamos ambas cuestiones. Los estudiantes participan de buen grado. Se analiza con ellos que de nuevo podremos variar la fuerza desde un valor pequeño, hasta que inicie el movimiento del cuerpo y con ello analizar de nuevo esa característica de la  $F_{re}$ .

Se realiza del mismo modo la solución teórica. Se pide de nuevo participación de los alumnos en el diseño. En esta ocasión, las sugerencias e ideas de los alumnos son mucho más acertadas que en la primera ocasión y el deseo de participar similar.

#### **4.2- Actividad 2**

Aunque la intención inicial de esa actividad era determinar las condiciones óptimas para el estudio manual del  $MRUA$ , ella puede usarse como actividad demostrativa en el aula. Se procedió de modo similar a las actividades anteriores. Se tuvo como propósito adicional el de adiestrar a los alumnos en la manipulación del equipamiento, para proponer la actividad 3 como un problema experimental.

Objetivo: Determinar las características del movimiento de descenso de un cuerpo por un plano inclinado de pendiente constante y coeficiente de rozamiento casi nulo usando el carril neumático y el soplador.

Antes de realizar esta demostración se les orientó a los estudiantes que estudiaran el movimiento rectilíneo uniformemente acelerado ( $MRUA$ ) y que llevaran un diseño de cómo se podría obtener dicho movimiento.

Al llegar al laboratorio se realizó un dialogo introductorio, que sirvió para realizar un debate acerca de las propuestas que los estudiantes habían realizado. De los cinco estudiantes, 2 participan activamente. Los 3 restantes participan cuando se les pregunta de modo directo. Se aprecia un dominio básico de las ecuaciones de la cinemática, pero muchas limitaciones para imaginar cómo diseñar un experimento sobre esa base.

Se les sugiere primero plantearse un problema y solucionarlo teóricamente, buscando las condiciones más sencillas. Sobre esa base se establece que lo mejor es que el movimiento sea con  $v_0 = 0$ . Sobre la base del equipamiento de que se dispone, se analiza la posibilidad de buscar la relación entre la distancia recorrida y el tiempo empleado en hacerlo.

Usando la ecuación 5 de la actividad experimental 2, obtenida de la solución teórica, se brinda ayuda a los estudiantes para que participen en el diseño del experimento. Luego de

escuchar sus propuestas, estas fueron discutidas ya que los alumnos habían tomado como referencia la demostración anterior.

Luego se realizó un análisis de manera conjunta, de forma tal que el estudiante tuviera un protagonismo en la realización de la demostración. Ya los estudiantes están familiarizados con el carril. En ese análisis se llegó a la conclusión que por un plano inclinado, y utilizando el soplador, eran una de las condiciones óptimas para obtener un (*MRUA*). A través de la pregunta: ¿Qué inclinación le pondremos al plano? Se les plantea a los estudiantes que eso ya se conoce, por lo que ya se tenían los factores fundamentales para buscar las condiciones óptimas. Mediante una conversación basada en preguntas, se elabora un plan para la demostración. Toma de datos, organización de los datos en tablas y graficación de los resultados.

El trabajo de los estudiantes se organiza de modo que uno manipula el arranque del soplador y otro el momento en que inicia el movimiento. Este último y los tres restantes toman los tiempos al pasar por los indicadores de distancia. Se repite 5 veces para verificar que los resultados no son casuales. Se trabaja con el promedio de los valores de tiempo obtenidos. Se les pide que repitan el trabajo para otra inclinación. Esta tarea la cumplen con poca ayuda.

Tiempo empleado: 46 minutos.

### **4.3- Actividad 3**

Objetivo: Demostrar experimentalmente la relación entre la velocidad de un cuerpo que realiza un *MRUA*, con velocidad inicial nula, y la distancia recorrida por este.

Para esta demostración los estudiantes poseían una tarea que consiste en el estudio previo del *MRUA* en un plano inclinado y la experiencia adquirida en la actividad anterior.

Al comenzar esta actividad se realizó una breve panorámica acerca de cómo los científicos a través de los años han hecho uso de las tecnologías, así como la repercusión de esas tecnologías en la toma de datos de una manera más acertada.

Para iniciar la demostración se les explico a los alumnos como se debe preparar y manipular el equipo, haciendo énfasis en el cuidado que debían tener con el mismo. A tres de la interrogante: ¿Cómo podemos determinar la posición de un cuerpo que se desliza en un plano inclinado con *MRUA*, en función de la velocidad? Luego se les orientó realizar el análisis teórico de este caso. Dos alumnos, con ayuda simple, resolvieron esa tarea de

forma correcta. Los 3 restantes necesitaron sugerencias directas, pero lograron comprender el proceso y las ecuaciones 1 y 2 de la actividad experimental 3, lo cual facilitó la comprensión teórica de dicho caso y el diseño del experimento.

El escollo mayor en esta actividad experimental fue que los estudiantes elaboraran una hipótesis a partir de la expresión 2 de la actividad experimental 3. Lo primero es que no comprendían el significado del término, en la especificidad de un experimento. Se les explicó el contenido del concepto con detenimiento. Con la ayuda de preguntas se llega a la idea de que cómo proceder en la realización de ese experimento. Se analiza entonces cómo hacer el montaje experimental. Luego se realizó la demostración de forma conjunta ya su participasen en la recopilación de datos y el almacenamiento de los mismos fue aceptable y la realizaron con buena disposición.

Hubo que brindar ayuda para ordenar los datos, para que valoren si se cumplió o no la hipótesis y sobre todo cómo los estudiantes asumieron que se cumplió la predicción de la hipótesis.

Al terminar la demostración los alumnos corroboraron el resultado, qué teóricamente habían resuelto, quedando muy satisfechos con los resultados. Es importante destacar que esta demostración motivo más a los estudiantes, debido a la facilidad que le brindo el instrumento (multifuncional como medidor de velocidad).

El análisis retrospectivo del proceso de realización de las cuatro actividades experimentales realizadas, permitió determinar un conjunto de aspectos que se comportan del mismo modo o muestran cierta evolución en los estudiantes, los que se enuncian a continuación.

#### **4.4- Principales limitaciones identificadas en los estudiantes**

- Tienen a buscar una respuesta directa, que le permita. Primero se centran en la posibilidad de medir directamente. Según realizaron las actividades experimentales, buscaban qué medir, directamente de los datos de la tarea, para determinar la incógnita de modo indirecto. Esta situación cambió sensiblemente en las actividades experimentales 2 y 3.
- Los estudiantes muestran muchas limitaciones para encontrar una solución teórica a la tarea. Esto no mejoró sensiblemente con la realización de las 4 actividades experimentales.

- Una vez que se ha obtenido la solución teórica de la tarea (con mucha participación del profesor), no reconocen en la ecuación obtenida un vínculo con la incógnita experimental, aunque esta sea evidente. Solo la reflexión y la ayuda del profesor logró cambios en 4 de los cinco estudiantes, que se apropiaron someramente de la idea.
- Les es muy difícil elaborar una hipótesis de trabajo a partir de la ecuación obtenida y más aún pensar en términos de variable dependiente e independiente. Aplican relaciones de causa efecto de modo inapropiado. Esto no se logró solucionar en el transcurso de las 4 actividades realizadas. Esto limita que los estudiantes elaboren diseños apropiados con poca ayuda.
- Los estudiantes tienen limitados conocimientos de la medición de intervalos de tiempos, de masa y de fuerza. Esto también es un escollo para el diseño de experimentos. No obstante, al tener que medir repetidas veces esas magnitudes, evidenciaron mejoramiento en la habilidad para hacer esas mediciones.
- Tienen pocas habilidades para el ordenamiento de los datos y el uso de procedimientos que le permitan interpretar la información a la luz de la hipótesis de trabajo. Se logró con relativa rapidez el ordenamiento en tablas, pero no que comprendieran qué información pueden sacar de ellas ni la graficación como recurso adicional.

#### **4.5- Aspectos positivos evidenciados en la realización de las actividades experimentales.**

- Los conceptos de medición directa e indirecta fueron comprendidos desde la segunda actividad, aspecto que mejoró con la secuencia de actividades.
- Los estudiantes, una vez que se implican en la solución de la tarea, por lo general se concentran y siguen las explicaciones que se le dan con muestras de interés. No evidenciaron cansancio, aunque todas las actividades duraron más de 35 minutos.
- El enfrentamiento frecuente a situaciones similares mostró un mejoramiento en la comprensión de los estudiantes de la necesidad de obtener una solución teórica de la tarea, que dicha solución encierra la posibilidad de cumplir con el encargo experimental de la tarea, que se opera en función de variables, que el experimento se diseña en función de esas variables y que las mediciones pueden ser directas e indirectas.
- Esa misma secuencia mostró mejoramiento de las habilidades para hacer mediciones directas e indirectas y organizar los datos obtenidos.

- Pueden comprender y realizar acciones paulatinamente con menos ayuda.
- Se sorprenden y muestran vivo interés cuando los resultados que se obtienen de las mediciones es cercano al reportado en los manuales de Física o cuando la predicción realizada se cumple con buena aproximación.

#### **V. Sugerencias metodológicas para la realización de las actividades experimentales.**

Las sugerencias metodológicas que se proponen, se refieren a cómo realizar las actividades metodológicas y que estas contribuyan a la formación de conocimientos y al desarrollo de habilidades experimentales. Las mismas cumplen exigencias que sustentan el PEA de la actividad experimental en la asignatura de Física. En ese sentido, el primer elemento a tener en cuenta, según la experiencia en el trabajo con los estudiantes, es la solución teórica de la tarea experimental, pues estos tienen la tendencia de buscar directamente qué deben medir, qué equipos necesitan, entre otras cuestiones prácticas. Persisten en ello, aunque no le dé resultado. A continuación se exponen cinco sugerencias, con ideas de cómo implementar cada una de ellas.

1. La búsqueda vías para que los estudiantes delimiten los conocimientos que requieren para solucionar la tarea experimental que se propone. Por eso se sugiere:

- Elaborar preguntas y sugerencias que permitan a los estudiantes reflexionar sobre la necesidad de solucionar teóricamente la tarea y también para que delimiten los conocimientos que requieren para ello: ¿Qué es necesario hacer para saber qué hay que medir?, ¿cómo llegaste a la conclusión de que esa es una magnitud que debes medir?, ¿es posible medir esa magnitud directamente?, ¿no será que se requiere de una medición indirecta?, Lee detenidamente el problema, piensa en el significado de todas las palabras y trata,son, entre otras, preguntas y sugerencias que ayudan a los estudiantes a razonar. En caso necesario se les sugiere primero solucionar teóricamente la tarea. Se insiste siempre en reflexionar primero que conocimientos se necesitan para solucionar la tarea.
- Se listan los conceptos, las leyes y los principios que se necesitan dominar para resolver la tarea.
- Se reduce el listado hasta suponer que se tienen los elementos suficientes para solucionar la tarea.



**VI.** Solucionar la tarea experimental, hasta obtener una ecuación que contenga magnitudes que puedan ser medidas directamente. Se procede del mismo modo que para solucionar una tarea docente teórica. Se recurre a procedimientos de ayuda para que los estudiantes encuentren la vía de solución. Esto permite prever diversas vías de solución de la tarea y brinda información acerca de los aspectos de mayor dificultad y las estrategias más ventajosas para realizarlas.

- ¿Cómo podrían relacionarse los datos, la incógnita y tus conocimientos?
- ¿Has tomado en cuenta todos los datos?, ¿no habrá alguno implícito?
- ¿Hay alguna otra condición en el problema?
- ¿Has hecho algo parecido alguna vez?
- ¿Has seguido las ideas que te vinieron a la mente inicialmente? ¿Puedes prever los próximos pasos dados que debes dar?

**VII.** Brindar ayuda para que los estudiantes elaboren o comprendan que la solución teórica del problema, que tiene implicaciones para un posible experimento. Consensuar una hipótesis de trabajo.

- ¿Qué relaciones puedes establecer entre las magnitudes que se intervienen en la respuesta teórica?, ¿qué relación ellas tienen con la incógnita experimental?, ¿has hecho algo parecido alguna vez?, consulta cualquier idea que se te ocurra. Trata de prever el alcance de la idea que se te ocurrió; ¿satisface la respuesta a los datos y a la incógnita?, ¿puedes hacerlo de otro modo?

**VIII.** Precisar los medios de laboratorio necesarios para la realización de las actividades experimentales. Se elabora un listado de ellos.

- ¿Qué magnitudes se deben medir directamente?, ¿qué instrumentos son necesarios?, ¿qué otros medios se requieren?, ¿cómo hacer una instalación que permita las mediciones que se han previsto?,

**IX.** Elaboración de los diseños experimentales. Cada grupo de estudiantes, de acuerdo con la o las hipótesis de trabajo, diseña el experimento a realizar. Realización de los experimentos y procesamiento de los datos.

- Delimitar las formas de sistematización de las mediciones y los criterios de análisis.

- Insistir con los estudiantes que registren los datos en tablas que los relacionen con lo establecido en la ecuación de trabajo.
- Análisis de las causas de los resultados favorables y no favorables.
- Comparación de los resultados con lo previsto en la hipótesis de trabajo.

## **Conclusiones**

El estudio teórico realizado y los resultados empíricos obtenidos en esta investigación, a través de diferentes métodos, han permitido arribar a conclusiones generales, las que permiten valorar; a través de ellas, el cumplimiento del objetivo propuesto.

- El diagnóstico realizado muestra que en el PEA de la Física en los preuniversitarios de Holguín se realizan pocas actividades experimentales, aunque se han ejecutado acciones de superación debido, entre otras razones, a que muchos profesores se sienten inseguro y temerosos de dañar el nuevo equipamiento.
- Las actividades prácticas realizadas muestran que el carril neumático, sin flujo de aire tiene un coeficiente de rozamiento estático bastante alto (entre 0,55 y 0,65 según los datos experimentales, valor cercano al que se reportan en los manuales de Física del coeficiente de rozamiento aluminio-aluminio).
- Los resultados experimentales muestran que es más satisfactorio determinar el rozamiento estático utilizando un peso colgante que tirar horizontalmente del deslizador y midiendo la fuerza que actúa sobre este directamente con un dinamómetro pues los resultados obtenidos son menos dispersos.
- El carril neumático con flujo de aire tiene un rozamiento estático casi nulo, por eso se obtiene movimientos uniformemente acelerados con diferencias de alturas de 1,0 cm entre los extremos de dicho carril y que los mejores resultados, usando procedimientos manuales de medición de tiempos, se obtienen para diferencias de alturas de entre 1,0 y 1,5 cm entre los extremos del carril.
- Los resultados obtenidos muestran la posibilidad de la realización de actividades experimentales con carácter sistémico en el proceso de enseñanza-aprendizaje de la Física en el décimo grado utilizando el carril neumático, con y sin utilizar la plataforma informática IDES. Esta suposición se corrobora mediante el trabajo con pequeños grupos de estudiantes.
- Las sugerencias metodológicas elaboradas, al responder al estudio de investigaciones previas y a los resultados de la implementación de las actividades experimentales tienen un sustento teórico-práctico, que sustenta su validez.
- La combinación de los resultados empíricos y teóricos obtenidos muestran que se cumplió el objetivo de la investigación hasta el presente.



**Recomendaciones**

1. Realizar investigaciones empíricas en las que se apliquen las sugerencias metodológicas elaboradas, para obtener más evidencias fácticas de la influencia de las actividades experimentales en el desarrollo de habilidades experimentales y la motivación por el aprendizaje de la Física.
2. Profundizar en investigaciones posteriores en la determinación de las potencialidades de los estudiantes de décimo grado para participar en el diseño y realización de actividades experimentales.
3. Realizar investigaciones empíricas para determinar las condiciones óptimas de trabajo de los medios más importantes de la dotación de los laboratorios de Física.

## **Bibliografía**

- Acevedo, J. A. El papel de las analogías en la creatividad de los científicos: la teoría del campo electromagnético de Maxwell como caso paradigmático de la historia de las ciencias. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* (2004), Vol. 1, Nº 3, pp. 188-205 ISSN 1697-011X p. 190).
- Alemañ, B. y col. (2012). Didáctica experimental: Un modelo de enseñanza para el concepto de campo electromagnético. *Lat. Am. J. Phys. Educ.* Vol. 6, No. 2, June 2012. <http://www.lajpe.org>. ISSN 1870-9095. P. 268-273. Consultada en julio del 2014.
- Almeida, A. y col. (2001). (Re)pensar o ensino das ciencias. Lisboa Edição: Ministério da Educação. ISBN: 972-8417-73-X.
- Araújo, M. S. y Abib, M. L. (2003). Actividades Experimentais no Ensino de Física: Diferentes Enfoques, Diferentes Finalidades. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 25, no. 2, p. 176-194.
- Barbosa, L. H. y Mora-Ley, C (2010) Los Experimentos discrepantes como una Herramienta Pedagógica en el Aprendizaje de la Física. *Revista Colombiana de Física*, Vol. 42, No. 1 de 2010 p. 11-15
- Barolli, E., Laburú C. E. y Guridi, V. M. (2010). Laboratorio didáctico de ciencias: caminos de investigación. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias* Vol. 9, Nº 1, p. 88-110.
- Bello, L. A. (1993): Habilidades experimentales en Química. Tesis doctoral, Santiago de Cuba. UCP Frank País García.
- Bugaev, A. I. (1989). Metodología de la enseñanza de la Física en la escuela media. La Habana, Editorial Pueblo y Educación.
- Carrascosa, J. Gil, D. y Vilches A. (2006). Papel de la actividad experimental en la educación científica. *Caderno Brasileiro da Ensino da Física*, V. 23, n. 2: p. 157-181.
- Carreras, C., Yuste M. y Sánchez, J.P. (2007). La importancia del trabajo experimental en física: un ejemplo para distintos niveles de enseñanza. *Revista Cubana de Física* vol. 24 No. 1 p.80-83 ISSN: 0253-9268.
- Castañeda, S. (2004). Modelo para la estimulación del pensamiento creativo. Educación, aprendizaje y cognición. Teoría en la práctica (Compilación). Capítulo 2. Manual Moderno, p. 501-514. ISBN 970-729-088-9 México.

- Ceberio, M.; Guisasola, J. y Almudí, J. M. (2008). ¿Cuáles son las innovaciones didácticas que propone la investigación en resolución de problemas de Física y qué resultados alcanzan? *Enseñanza de las ciencias*, 26 (3), p. 419–430
- César, C. y col. (2000). *Psicología do Ensino*. Porto Alegre, Editora ArtMed,.
- Chiabrando y col. *Innovación para el estudio de una colisión en dos dimensiones utilizando NTIC* on the web <http://www.caedi.org.ar/pcdi/PaginaTrabajosPorTitulo/7-469.PDF> (2008).
- Colado, J. E. (2003). Estructura didáctica para las actividades experimentales de las ciencias naturales en el nivel medio. Tesis doctoral. La Habana, UCP Enrique José Varona.
- Cruz, M., y Campano, A. E. (2008). El procesamiento de la información en las investigaciones educacionales. La Habana, Cuba: Educación cubana.
- Cumbrera, R. A. (2007). El desarrollo de la actividad experimental en Física General y el uso de las TICS en las prácticas de laboratorio, *Revista Pedagogía Universitaria*, Vol. XII No. 5. P. 67-85 disponible en: [http://ftp.ceces.upr.edu.cu/centro/repositorio/Textuales/Revistas/Revista%20Pedagogia%20Universitaria/A\\_o%202007/2007-5/189407504.pdf](http://ftp.ceces.upr.edu.cu/centro/repositorio/Textuales/Revistas/Revista%20Pedagogia%20Universitaria/A_o%202007/2007-5/189407504.pdf). Consultada en 2012.
- da Cruz, D. A. (2008). Actividades práctico-experimentais: tendências e perspectivas. Disponible en: [http://proformar.pt/revista/edicao\\_13/ensino\\_exp\\_ciencias.pdf](http://proformar.pt/revista/edicao_13/ensino_exp_ciencias.pdf). Consultado en 2010.
- Domingos, J. J. y Col. (2013). La actividad experimental: Definición de sus conceptos principales. Su formación, desarrollo y evaluación en las carreras de ciencias pedagógicas universitarias en Angola y Cuba. *Revista Mendive*. Año 11 No. 42. RNPS 2057/ISSN 1815-7696.
- Domingos, J. J. (2015). Estimulación de las potencialidades creadoras de los estudiantes mediante la actividad experimental de electromagnetismo, en la licenciatura en educación, opción física. Tesis doctoral. Universidad de Holguín.
- Domingos, J. J. y Pérez, N. P. (2014). La actividad experimental, su contribución a la estimulación de la creatividad de los estudiantes para profesores de Física. *Revista electrónica Luz II Época*. RNPS 2054. ISSN 1814-151X
- E. Duarte, M. T. Díaz y R. M. Osés. Solución creativa de problemas en la educación superior: significado y creencias on the web <http://www.redalyc.org/pdf/292/29224159001.pdf> (2012).

- Elisondo, R. C.; Donolo, D. S. y Rinaudo, M. C.(2009). Contextos de educación en la universidad: perspectivas de los alumnos potencialmente más creativos. *Revista Iberoamericana de Educación* n° 49 p.6-10.
- Flores, J., Caballero, M. C. y Moreira, M. A. (2009). El laboratorio en la enseñanza de las ciencias: Una visión integral en este complejo ambiente de aprendizaje. *Revista de Investigación* N° 68. Vol. 33 p. 75-112.
- Fraga, M. J. (1996). Estrategia metodológica para la enseñanza del método experimental en la Física.-- en *Temas Escogidos de Didáctica de la Física*. La Habana, Editorial Pueblo y Educación. p. 65-71.
- Gil, D. (1997). Psicología Educativa y Didáctica de las Ciencias. Los procesos de enseñanza/aprendizaje como lugar de encuentro. *Infancia y aprendizaje*, 62-63, p. 171-186.
- Laburú, C.E. (2006). Fundamentos para un experimento cautivante. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 23, n. 3, p. 382-404, 2006.
- Leyva J. (2002). La estructura del método de solución de tareas experimentales de Física como invariante del contenido. Tesis doctoral. Santa Clara, Universidad de Ciencias Pedagógicas Félix Varela, Departamento de Ciencias Exactas.
- Leyva J. (2012). El cuadro de diseño del experimento para resolver tareas experimentales cuantitativas de Física. Una vía para la educación científica de los estudiantes. *Revista Varela*, Vol. 2 No.32 p. 1-19, ISSN 1810-3413
- Macedo, B. (1999). *¿Cómo enseñar ciencias?* I Congreso Internacional sobre la Didáctica de las Ciencias." La enseñanza de las Ciencias a las puertas del siglo XXI", UNESCO – OREAL. La Habana.
- Moltó, E. (2012). Naturaleza y rasgos de la actividad científica contemporánea y su reflejo en el proceso de enseñanza y aprendizaje de las Ciencias. En N. Pérez y col., *Temas seleccionados de la didáctica de la Física* (p. 40-44). La Habana, Editorial Pueblo y Educación.
- Valdés P. y Valdés R. (1999). *Enseñanza–aprendizaje de las ciencias en secundaria básica*. *Temas de Física*. La Habana, Editorial Academia, (1999).



- Pérez, Á. F. (1987). El método experimental: componente fundamental de la enseñanza problémica. Educación. Año XVII, N° 64. La Habana, pág. 61-67.
- Pérez, F. y Hedesa, J. (2010). VI Congreso Internacional de Didáctica de las Ciencias. La Habana, Sello Editor de la Educación Cubana.
- Pérez, M. M. (2014). La formación del conocimiento científico a partir del conocimiento cotidiano en la enseñanza de las ciencias naturales en Secundaria Básica. Tesis doctoral, Universidad de Holguín.
- Pérez, N. P. (2002). La estimulación de las potencialidades creadoras de los adolescentes mediante la solución de problemas de Física. Tesis doctoral, Holguín, UCP José de la Luz y Caballero.
- Pérez, N. P. (2012). Los métodos de enseñanza-aprendizaje: Una sistematización a la luz de la investigación en didácticas de las ciencias, publicado en el libro Didácticas de las Ciencias, nuevas perspectivas (cuarta parte) ISBN 978-959-18-0779-3, La Habana, Sello Editor Educación Cubana.
- Pérez, N. P. (2015). Los métodos de enseñanza aprendizaje de la Física: su lógica interna desde los métodos de la Física como ciencia. 3<sup>o</sup> Coloquio sobre la enseñanza aprendizaje de las Ciencias. Universidad de Guanajuato, México.
- Pérez, N. P. y col. (2012). Temas seleccionados de la Didáctica de la Física. La Habana, Editorial Pueblo y Educación.
- Pérez, N. P., Horta, A; Domingos, J y Pérez, M. M. (2016). La actividad experimental como experiencia sociocultural e investigativa: diseño y realización de prácticas de laboratorio de Física asistidas con ordenadores. Cuarto Coloquio Internacional. UGto y UCV.
- Podoprygora, N. Organization and realization of the experimental cycle of scientific cognition at Physics study. Lat. Am. J. Phys. Educ. Vol. 8, No. 1, p. 13-22. (2014)
- Pozo, E. y Pérez, J. (2011). Alternativa metodológica para el desarrollo de la habilidad de medir desde la asignatura Física en los estudiantes de primer año de la carrera Matemática-Física. Revista Cubana de Física, Vol. 28, No. 1
- Rodríguez-Llerena, D. y Llovera-González, J. (2014). Estrategias de enseñanza en el laboratorio docente de Física para estudiantes de ingeniería. Lat. Am. J. Phys. Educ. Vol. 8, No. 4, p. 1-8. ISSN 1870-9095

- Rojas, C. (1988). Algunas consideraciones sobre el problema del desarrollo de las - habilidades experimentales en los estudiantes de licenciatura en educación especialidad Química. La Habana, Varona. No. 20. p. 61-73.
- Salinas, J. (1994). Las prácticas de Física Básica en laboratorios universitarios. Tesis de Doctorado. España, Universitat de València.
- Valdés, P. (1997). El proceso enseñanza aprendizaje de la Física como actividad investigadora. La Habana, Curso preevento, Congreso Internacional Pedagogía'97.
- Valdés, P. y col. (1999). El proceso de enseñanza aprendizaje de la Física en las condiciones contemporáneas. La Habana, Editorial Academia.
- Valdés, P. y col.,(2001). *Enseñanza de la Física Elemental. MINED*. La Habana, Cuba: Pueblo y Educación.
- Valdés, P. y Valdés R. (1999). Enseñanza–aprendizaje de las ciencias en secundaria básica. Temas de Física. La Habana, Editorial Academia
- Valledor, R. (1990). Concepción sistémica del experimento químico escolar como vía para el perfeccionamiento del proceso de formación de habilidades experimentales en las primeras etapas de enseñanza de la Química. La Habana. Congreso Internacional Pedagogía`90.
- Vigotsky, L. S. (1987). Imaginación y creación en la edad infantil. La Habana: Editorial Pueblo y Educación.

## ANEXOS

### Anexo 1

#### ENCUESTA A PROFESORES

1. En la escuela donde trabajas:

¿Existe un local para laboratorio? Sí \_\_\_ No \_\_\_

¿Existe una dotación de laboratorio? Sí \_\_\_ No \_\_\_

2. ¿Con qué frecuencia realizas actividades de laboratorio con tus estudiantes?:

Mucha \_\_\_ Aceptable \_\_\_ Poca \_\_\_ Muy Poca \_\_\_

3. ¿Participan tus estudiantes en el diseño y realización de las actividades experimentales?

Siempre \_\_\_ Muchas veces \_\_\_ algunas veces \_\_\_ pocas veces \_\_\_ Nunca \_\_\_

4. En cuáles de los siguientes tipos de clases realizas actividades experimentales: De nuevo contenido \_\_\_ de ejercitación \_\_\_ Prácticas de laboratorio \_\_\_

5. A continuación aparece un listado de posibles limitaciones para la realización de las actividades experimentales. Marca con una X la, o las proposiciones que coinciden en las razones que tienes para no realizar todas las actividades experimentales previstas en el programa de la asignatura que impartes.

\_\_\_ Poco tiempo para planificarlas o realizarlas.

\_\_\_ No existen los medios para hacerlas.

\_\_\_ No son suficientes los documentos para prepararme para hacer las AE.

\_\_\_ Una parte de los equipos es de difícil manipulación y temo dañarlos.

\_\_\_ Parte de los medios necesarios no están en buen estado.

Tengo un dominio medio \_\_\_ bajo \_\_\_ muy bajo \_\_\_ del trabajo con los medios de la nueva dotación

\_\_\_ Otra, ¿cuál?



Anexo 2.

Guía para la observación de clases

Objetivo: Diagnosticar cómo se dirige el proceso de enseñanza-aprendizaje de la formación de los conocimientos científicos de las ciencias naturales en Secundaria Básica.

Tipo de clase: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

Asunto de la clase: \_\_\_\_\_

---

Aspectos a observar

1. Realización de actividades experimentales en la clase. Tipología de la actividad experimental realizada.
2. Participación de los estudiantes en el diseño y realización de la actividad experimental.
3. Participación de los alumnos en la elaboración de las conclusiones parciales y finales de la actividad experimental.



### **Anexo 3**

#### Entrevista a profesores de Física

##### Preguntas

1. Qué importancia usted le atribuye a la realización de los experimentos en las clases de física?
2. Cuáles son las dificultades que se presentan en su escuela para realizar la actividad experimental de forma objetiva?
3. Contribuye la realización de la actividad experimental a la calidad del proceso de enseñanza y aprendizaje de la Física?
4. Cómo evalúa su preparación como docente para la realización de la actividad experimental en tus clases?



#### Anexo 4

Encuesta a estudiantes sobre la actividad experimental.

1. ¿Te gusta la realización experimentos físicos para aprender Física?

Mucho

Suficiente

Medianamente

Poco

Muy poco

2. ¿Se realizan prácticas de laboratorio o experimentos demostrativos en las clases de física?

Muchas veces

Algunas veces

Pocas veces

Nunca

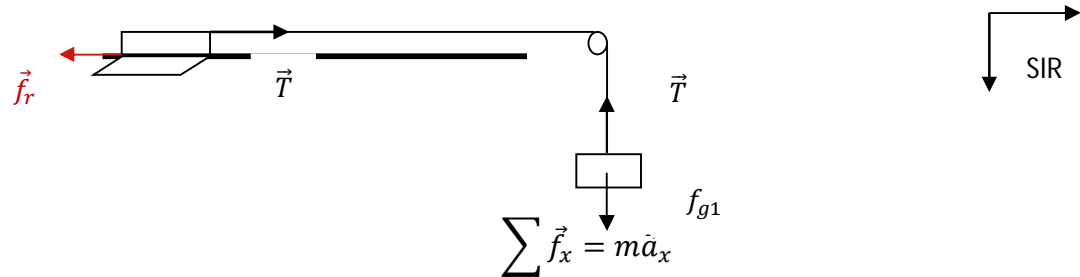
3. ¿Participas en la realización de experimentos físicos en el aula? Sí \_\_\_ No \_\_\_

4. ¿Se elaboran informes orales o escritos que propicien el debate de los resultados obtenidos en la realización de la actividad experimental? Sí \_\_\_ No \_\_\_



## Anexo 5

Solución teórica de la actividad experimental 1 variante 1.



Operando con las proyecciones. El modelo teórico no toma en cuenta la masa de la polea, pues esta es muy pequeña respecto a las masas que intervienen en el experimento y es de radio muy pequeño.

$$-f_r + T - T + f_{g1} = 0$$

$$f_r = f_{g1}$$

$$f_{g1} = m_1 g \quad (1.1)$$

$$f_r = \mu_e N$$

$$\text{Donde } N = f_{g2}$$

$$f_r = \mu_e f_{g2}$$

$$f_r = \mu_e m_2 g \quad (1.2)$$

Igualando 1.1 y 1.2

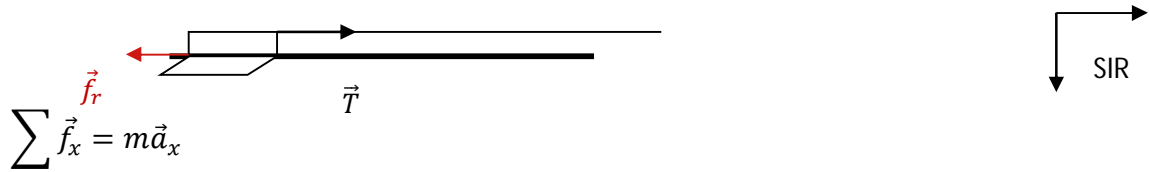
$$\mu_e m_2 g = m_1 g$$

$$\mu_e = \frac{m_1}{m_2} \quad (1.3)$$



## Anexo 6

En la Figura 4 se muestra el diagrama de cuerpo libre para la condición límite.



Operando con las proyecciones.

$$-f_{re} + T = 0$$

$$f_{re} = F$$

$$f_{re} = \mu_e m_1 g \quad (1.4)$$

$$\mu_e m_1 g = F$$

$$\mu_e = \frac{F}{f_{g1}} \quad (1.5)$$





## Anexo 7

Obtención de la expresión para la determinación, por vía indirecta, de la aceleración para cada uno de los movimientos

$$s = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

Como  $v_0 = 0$

$$s = \frac{1}{2} a t^2 \quad (2.1)$$

Si se toma:  $x = t^2$ , entonces

$$s = \frac{1}{2} a x \quad (2.2)$$



## ANEXO 8

### Resultados de las mediciones

$\Delta h = 3$ cm	0,40 m	0,80 m	1,20 m	1,60 m
	t1	t2	t3	t4
1	2,77	4,13	5,18	5,89
2	2,81	4,01	5,05	5,79
3	2,72	4,40	4,96	6,03
4	2,60	4,05	4,78	5,80
5	2,95	4,24	5,00	5,91
6	2,60	4,34	5,14	5,78
7	2,88	4,18	5,11	5,93
8	2,69	3,95	5,13	5,75
9	2,54	4,23	4,96	5,89
10	2,94	4,09	5,18	6,01
	2,75	4,162	5,049	5,878

$\Delta h = 2$ cm	0,40 m	0,80 m	1,20 m	1,60 m
	t1	t2	t3	t4
1	4,22	5,74	6,81	8,62
2	4,25	5,71	7,44	8,41
3	4,23	5,63	7,18	8,63
4	3,99	5,93	7,28	8,40
5	4,18	5,72	7,29	8,54
6	4,32	5,82	7,18	8,62
7	4,20	5,98	7,22	8,54
8	4,24	5,88	7,15	8,41
9	4,20	5,83	7,16	8,27



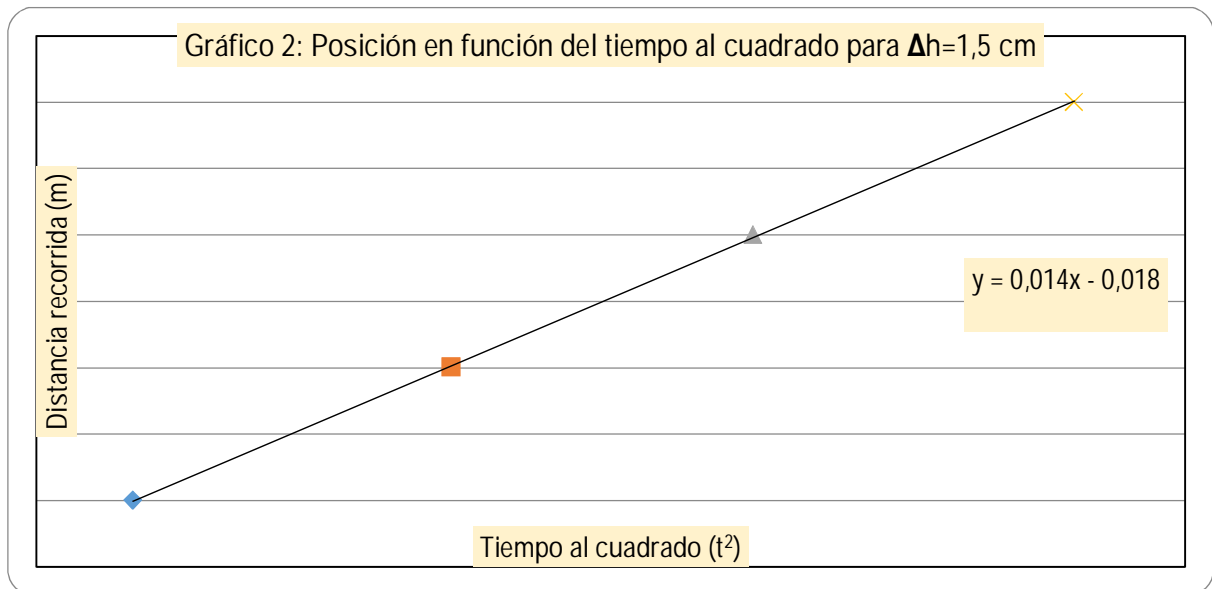
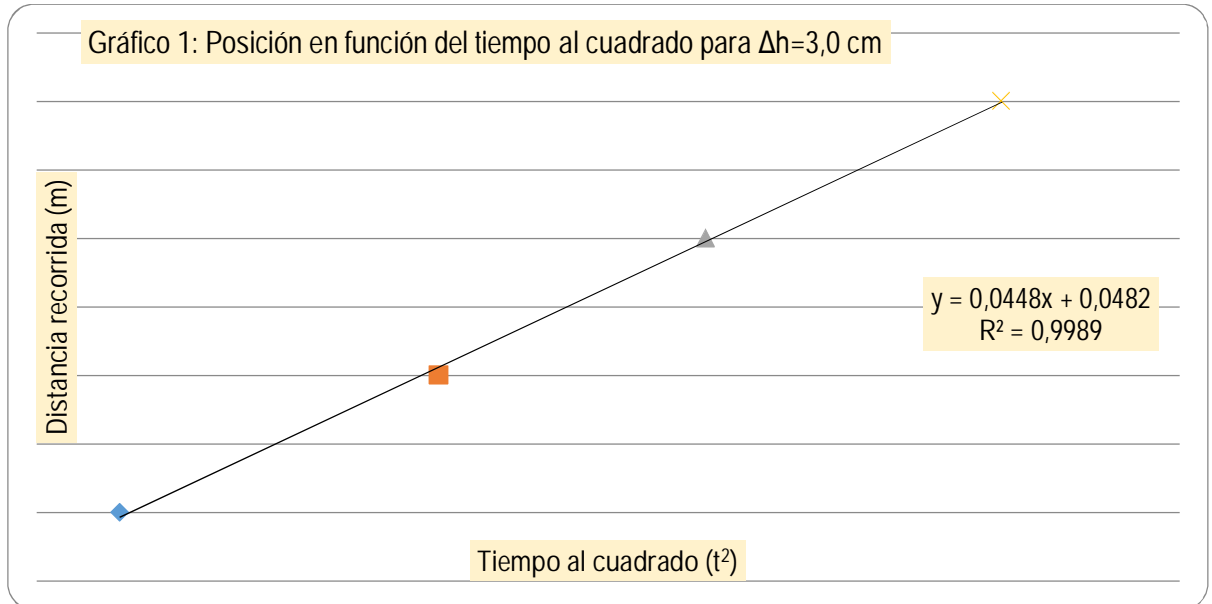
10	4,31	5,87	7,32	8,49
	4,21	5,811	7,203	8,493

$\Delta h = 1,5$	0,40 m	0,80 m	1,20 m	1,60 m
cm	t1	t2	t3	t4
1	5,26	7,56	9,04	10,44
2	5,44	7,49	9,13	10,34
3	5,25	7,55	8,97	10,65
4	5,21	7,43	8,79	10,42
5	5,51	7,65	9,21	10,46
6	5,45	7,34	9,01	10,46
7	5,18	7,31	8,92	10,56
8	5,21	7,32	9,34	10,62
9	5,37	7,75	9,21	10,55
10	5,41	7,54	9,17	10,56
	5,329	7,494	9,079	10,506



## Anexo 9

Gráficas correspondientes a diferencias de altura de los extremos del carril de 3,0 y 1,5 cm respectivamente (Anexo 10)





Anexo 10:

Solución teórica del problema experimental 3

$$v = a \cdot t \quad (3.1)$$

$$s = \frac{1}{2} at^2 \quad (3.2)$$

$$v^2 = v_0^2 + 2as$$

$$v^2 = 2as \quad (3.3)$$

De las expresiones anteriores la que conduce a una relación directa y más sencilla, relacionada con las condiciones del problema es la (3.3).

Teniendo en cuenta que

$$s = x_2 - x_1$$

$$v^2 = 2a(x_2 - x_1) \quad (3.4)$$

De donde:

$$v_1^2 = 2a(x_1 - x_0)$$

$$v_2^2 = 2a(x_2 - x_0)$$

Como se necesita determinar la posición del cuerpo en el punto 2, la velocidad  $v_2 = 2v_1$

Luego:

$$\frac{v_1^2}{v_2^2} = \frac{2a(x_1 - x_0)}{2a(x_2 - x_0)} \text{ como } x_0 = 0$$

$$\frac{v_1^2}{4v_1^2} = \frac{2ax_1}{2ax_2},$$

Simplificando la ecuación:

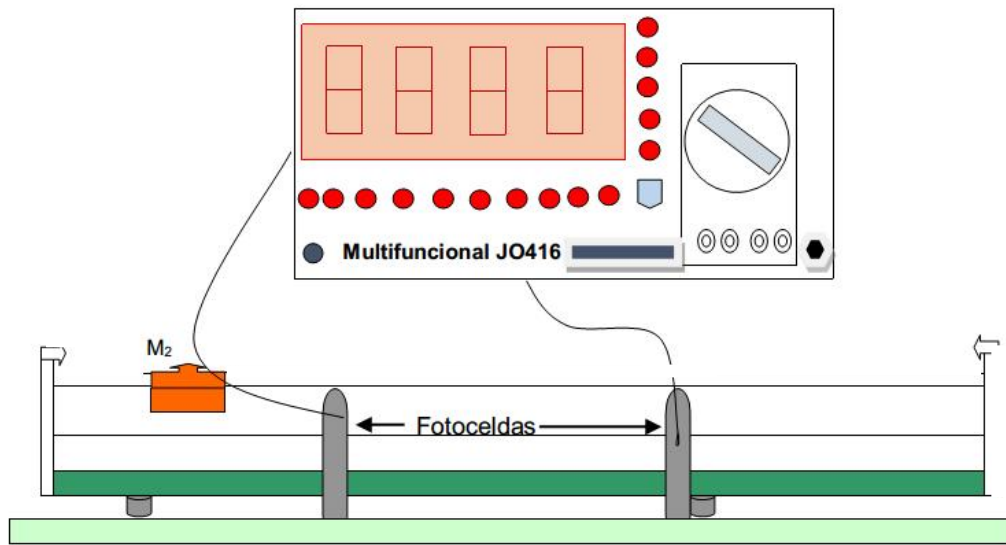
$$\frac{1}{4} = \frac{x_1}{x_2}$$

$$x_2 = 4x_1 \quad (3.5)$$

Algebraicamente se demostró que para que  $v_2 = 2v_1$  y  $x_2 = 4x_1$ . Este resultado teórico se toma como hipótesis de trabajo, sobre la base del cual se diseña el experimento.



El experimento se realiza según lo representado en el Anexo 11.



La posición del carril es la que se representan en la Figura 4. Se trabajó con una diferencia de alturas entre los extremos del carril de 1 cm.



