

EL VÍDEO DIGITAL COMO RECURSO DIDÁCTICO PARA EL ESTUDIO CINEMÁTICO DEL MOVIMIENTO.

Ángel Juan Martínez, Mercedes Juliá Espí, Ernesto Jover Mulio, Gemma Prats Llopis, Inmaculada Pons Pons (IES Pare Arques de Cocentaina) y Bernat Martínez Sebastián (CEFIRE de Benidorm)

1. INTRODUCCIÓN

La utilización de filmaciones para estudiar el movimiento en absoluto es una idea novedosa, se remonta a los mismos orígenes del cinematógrafo y, sin exagerar, podemos afirmar que precisamente fue esta meta uno de los acicates de los pioneros.

Cualquier película consiste en una sucesión de imágenes captadas a intervalos de tiempo fijo. Podemos estudiar experimentalmente un movimiento, analizando, imagen por imagen, una filmación del mismo. Si establecemos la posición del móvil en cada fotograma, mediante herramientas de análisis gráfico podemos determinar la evolución temporal de las magnitudes propias del movimiento.

Sin embargo, pese a sus enormes posibilidades, el empleo de grabaciones de movimiento con finalidad didáctica no ha podido generalizarse hasta hace poco.

Cuando el único soporte analógico que existía era la película, se presentaba el problema del largo tiempo que transcurría entre la realización de la filmación y la posibilidad de proceder a su visualización, debido al proceso de revelado. Además el montaje era un trabajo delicado y cualquier error obligaba a comenzar desde el principio. Por otra parte, extraer datos numéricos también era complicado. El recurso podía utilizarse como una forma extraordinaria de realizar trabajos prácticos (útil por el alto grado de motivación que despertaba) pero no podía integrarse en la práctica habitual.

La aparición del vídeo analógico eliminó el problema del revelado pero hizo más difícil el montaje, así como la posibilidad de extraer datos numéricos de las filmaciones.

El vídeo digital soluciona todos los problemas planteados. La visualización de la filmación es inmediata. El montaje para seleccionar las secuencias que nos interesan se puede hacer de forma rápida y sencilla empleando programas de edición de vídeo. La extracción de datos numéricos también se puede realizar utilizando programas informáticos específicos.

Es cierto que hasta hace poco el coste de los equipos y programas informáticos necesarios era muy elevado, pero esta situación ha cambiado radicalmente en los últimos tiempos:

- a) Para la mayoría de las situaciones que nos interesan es suficiente emplear como equipo de filmación una cámara tipo cámara WEB, cuyo precio es muy asequible.
- b) Al no precisarse una calidad de imagen alta, la edición se puede realizar con un ordenador de prestaciones medias, utilizando programas libres o los que ya llevan incorporados los sistemas operativos.
- c) Por lo que se refiere a la extracción de datos, existe una considerable variedad de programas específicamente diseñados para su utilización en el ámbito de la enseñanza media, alguno de los cuales son de dominio público.

Esta nueva coyuntura nos ha llevado a plantearnos la conveniencia de investigar las posibilidades didácticas que ofrece el vídeo digital como herramienta para el estudio experimental del movimiento.

2. PLANTEAMIENTO DIDÁCTICO EN EL QUE SE ENMARCA LA INVESTIGACIÓN.

La incorporación de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) al proceso de enseñanza aprendizaje no garantiza por sí misma una mejora de la calidad. El aprovechamiento de las enormes posibilidades que ofrecen estos poderosos recursos depende, entre otros factores, de cómo se contextualice su uso dentro de un planteamiento pedagógico riguroso.

En el Departamento de Física y Química del IES Pare Arques de Cocentaina, con la colaboración de la Asesoría de Ciencias de la Naturaleza del CEFIRE de Benidorm, investigamos desde hace tiempo con el propósito de determinar cuales son las maneras más idóneas de utilizar determinadas TIC como recurso didáctico en distintos campos de la Astronomía, la Física y la Química.

En el caso de la Cinemática, que ahora nos ocupa, uno de los postulados de los que partimos para dar coherencia nuestro trabajo es el siguiente: Suponemos que la construcción de la cinemática debe basarse en la adquisición, por parte de los alumnos, de la capacidad para describir el movimiento utilizando simultáneamente distintos tipos de lenguaje.

Nosotros integramos el uso de las magnitudes cinemáticas en cinco formas diferentes de describir el movimiento, cada una correspondiente a un tipo de lenguaje distinto:

- a) La icónica emplea diagramas en los que se indica la posición del móvil en distintos instantes, separados por intervalos de tiempo idénticos. El resto de las magnitudes cinemáticas, si procede, se puede representar de forma vectorial.
- b) La tabular se basa en recoger de manera ordenada los valores de las magnitudes cinemáticas correspondientes a distintos instantes.
- c) La gráfica consiste en representar la variación con el tiempo de las distintas magnitudes cinemáticas.
- d) La verbal es la narración del movimiento mediante frases que utilicen las magnitudes cinemáticas y describan su variación temporal.
- e) La algebraica se fundamenta en las ecuaciones que relacionan los valores de las magnitudes cinemáticas entre si.

En este contexto, la incorporación de TIC está al servicio de la consecución de dos objetivos muy concretos:

- a) Disponer de distintas técnicas para estudiar experimentalmente movimientos reales que estén relacionadas, de la forma más directa posible, con los diferentes lenguajes empleados para describirlos.
- b) Fortalecer los vínculos entre los diferentes tipos de lenguajes utilizados para describir el movimiento.

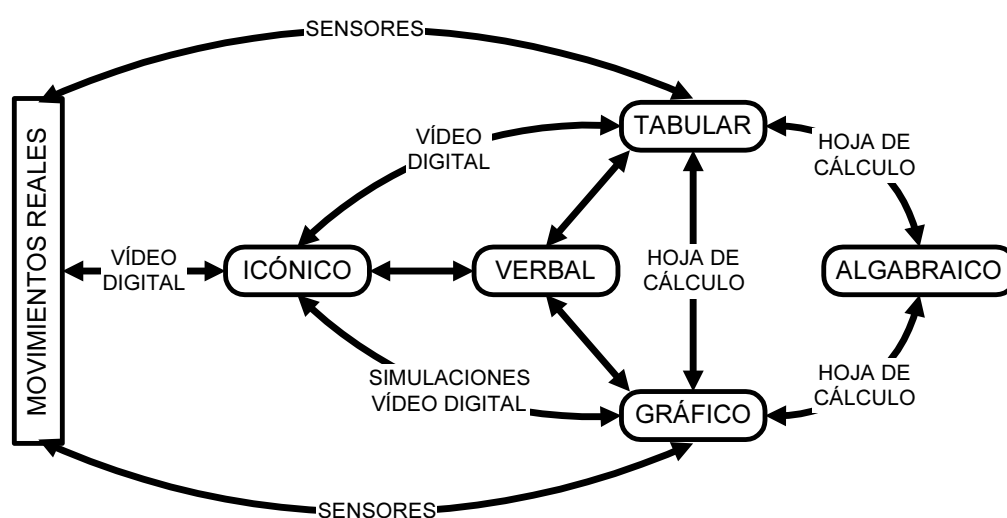
Antes de investigar las posibilidades que ofrece el video digital, las TIC que habíamos incorporado eran tres: El sensor de movimiento controlado mediante calculadora gráfica (sistema CBL), los programas informáticos de simulación (Graphs & Tracks y Working Model) y el programa informático de hoja de cálculo (Graphical Analysis).

El sensor de movimiento controlado mediante calculadora gráfica nos permite estudiar movimientos reales y obtener de forma inmediata las gráficas que describen la evolución temporal de las magnitudes posición, velocidad y aceleración. También nos proporciona la posibilidad de disponer de las correspondientes tablas de valores cuando nos interesa.

El programa informático de hoja de calculo es una herramienta que utilizamos para relacionar entre si los lenguajes tabular, gráfico y algebraico. Lo empleamos de dos formas diferentes. Cuando estudiamos movimientos reales, a partir de las tablas de valores obtenemos las gráficas experimentales y, utilizando herramientas de ajuste, las expresiones algebraicas correspondientes. En contextos más teóricos, como la resolución de problemas, programamos las expresiones algebraicas para generar tablas de valores y representaciones gráficas.

Los programas de simulación que empleamos, fundamentalmente las configuraciones de Working Model diseñadas por nosotros, generan una representación icónica del movimiento al mismo tiempo que la representación gráfica de la evolución temporal de las magnitudes cinemáticas.

Inicialmente, nuestro interés por el vídeo digital radicaba en la posibilidad de disponer de una técnica para estudiar movimientos reales que estuviera relacionada con el lenguaje icónico y que permitiera vincular de forma directa el lenguaje icónico con el lenguaje tabular.



La introducción de TIC permite reforzar los vínculo entre los distintos tipos de lenguaje utilizados (icónico, verbal, tabular, gráfico y algebraico) y proporciona técnicas para el estudio de movimientos reales que están directamente vinculadas con los lenguajes empleados.

Los resultados que hemos obtenido no han defraudado estas expectativas, sino que por el contrario las han satisfecho con creces. Los programas informáticos de tratamiento de vídeo digital no solo permiten obtener datos numéricos de las filmaciones, también generan las gráficas correspondientes.

3. PROTOCOLO TÉCNICO

Nuestro propósito ha sido diseñar un protocolo técnico que no requiera de una inversión grande y que no precise de la utilización de ordenadores potentes. Este doble objetivo lo hemos conseguido.

El desembolso necesario para poner en marcha la propuesta que presentamos está comprendida entre 50 y 150 euros y está destinado a la compra de una cámara WEB. Dentro de esta gama de precios el modelo de cámara por el que se opte no repercute en la calidad de los resultados, sino en la comodidad a la hora de realizar las filmaciones y preparar los clips de vídeo.

Los ordenadores que emplean los alumnos para el análisis de las filmaciones deben tener Windows 95, pero pueden ser 486 o Pentium 90. Para la edición de la película el profesor necesita acceder a un ordenar con Windows 98 y puerto USB, pero es suficiente con un procesador a 200 MHz

Los pasos básicos del procedimiento que presentamos son tres: filmación del movimiento, edición de la película y análisis informático del clip de vídeo.

3.1 Filmación del movimiento

En un principio, nuestra intención era emplear para la filmación del movimiento una cámara WEB. Estas cámaras, que inicialmente fueron desarrolladas con el propósito de suministrar imágenes en las comunicaciones a través de Internet, se pueden utilizar para realizar filmaciones de vídeo. Con el programa informático adecuado (el fabricante de la cámara lo suministra) es posible capturar en forma de película la imagen continua que proporciona la cámara.

Sin embargo, tras las pruebas iniciales, hemos optado por un nuevo tipo de cámara, que, además de ser una cámara WEB, puede ser empleada como cámara de vídeo autónoma, es decir, permite filmar algunos minutos de vídeo digital sin necesidad de estar conectadas al ordenador.

Por el momento hemos descartado la utilización de la cámara en la modalidad de cámara WEB para centrarnos en las posibilidades que ofrece como cámara de vídeo autónoma. Esta decisión ha estado motivada fundamentalmente por dos razones:

1. Nuestra experiencia utilizando la modalidad de cámara WEB ha sido desafortunada. En las filmaciones la secuencia de fotogramas que obteníamos no mantenía un ritmo constante por lo que era inutilizable. Todo parece indicar que se trata de un problema de iluminación.
2. Creemos que es importante realizar las filmaciones en clase, con los alumnos, en la misma sesión que se discuten las hipótesis que los distintos grupos han emitido respecto al movimiento que se va a estudiar. La modalidad de cámara WEB complica el procedimiento ya que requiere disponer de un ordenador en el aula o emplear el aula de informática.

Nuestra elección es de carácter coyuntural ya que presenta dos inconvenientes:

1. En la modalidad de cámara de vídeo autónoma, la velocidad de filmación es de 10 fotogramas por segundo mientras que en la modalidad de cámara WEB se puede llegar a los 30 fotogramas por segundo (fps). Como se verá, para los movimientos que hemos estudiado, con 10 fps los resultados obtenidos son muy aceptables, pero otras situaciones requerirían una ratio mayor.
2. Cuando se trabaja en modo de cámara WEB interesa que el programa de control permita establecer la velocidad de obturación, es decir, la fracción de segundo que la cámara emplea para capturar cada fotograma¹. Como nos da igual que la película quede subexpuesta (oscura) podemos utilizar velocidades de obturación altas para conseguir que el móvil no salga "movido". Sin embargo, en la modalidad de cámara de vídeo autónoma la velocidad de obturación se regula de forma automática. Entonces, si el móvil sale "movido" la única opción que tenemos es mejorar las condiciones de iluminación.

La realización de la filmación es la parte más delicada del proceso, pero el éxito está garantizado si se toman unas precauciones sencillas:

1. La cámara debe estar bien sujeta mediante un trípode (si dispone de la rosca adecuada) o cualquier tipo de enganche

¹ La velocidad de filmación y la velocidad de obturación son conceptos diferentes. Supongamos que la velocidad de filmación es de 10 fps y la velocidad de obturación es de 1/100 s; esto quiere decir que la cámara hace 10 fotos por segundo (una foto cada 0,1 s) y que para hacer cada una de esas fotos capta luz durante 0,01 s.

2. El eje óptico de la cámara debe ser perpendicular al plano en el que se produce el movimiento.
3. El movimiento debe producirse en la zona central del plano de filmación.
4. Es necesario colocar un objeto de tamaño conocido situado en el mismo plano en el que se produce el movimiento.
5. Conviene que la cámara este alejada del plano del movimiento, sobretodo si, como es normal, su objetivo es tipo gran angular.

Por lo que se refiere a las prestaciones que debe tener la cámara, la única realmente importante es la velocidad de filmación (ya hemos hecho referencia antes a ella). Creemos que 10 fps es el mínimo imprescindible para obtener resultados aceptables². La calidad de la imagen no es un requisito preocupante ya que si la resolución es baja siempre se pueden emplear objetos de mayor tamaño. De cara a una posible utilización en modo cámara WEB interesa que el programa de control permita establecer de forma manual la velocidad de exposición.

Nosotros hemos empleado una cámara Cool-Icam Stylus 1500 (50 €) y una cámara Rimax Minicam (150 €). La calidad de los resultados es similar. La diferencia es que la cámara Rimax Minicam es mucho más cómoda de emplear por dos motivos:

1. Tiene una pequeña pantalla de cristal líquido en la cual se puede ver el campo de filmación mientras que en la Stylus 1500 el encuadre se debe hacer a través de un pequeño visor.
2. La filmación se almacena en la cámara como un archivo avi que se copia directamente en el ordenador, sin embargo la Stylus 1500 guarda los fotogramas como fotografías independientes, a partir de los cuales, el programa de la cámara crea un avi.

3.2 Edición de la película

La edición de la película es una cuestión técnica, que perfectamente puede realizar el profesor sin participación de los alumnos, ya que no presenta ningún interés especial. El objetivo es conseguir un clip de vídeo, que solo contenga los fotogramas correspondientes al movimiento y que, además, esté comprimido con el codec adecuado para poder ser reproducido en los ordenadores que se emplean para analizarlo³.

Para esta tarea hemos optado por utilizar el programa libre (General Public License) Virtual Dub de Avery Lee que se puede descargar en

<http://www.virtualdub.org/index>

La aplicación es muy sencilla de emplear y permite seleccionar con facilidad el tipo de compresión. Nosotros hemos tenido que utilizar una compresión bastante poco eficiente Intel Indeo(R) Video R3.2. Aún así, el tamaño del clip de vídeo que resulta no supera los 200 k y se puede copiar con facilidad en un disquete.

3.3 Análisis informático del clip de vídeo.

El análisis informático del clip de vídeo se realiza mediante programas de punteo. Se trata de aplicaciones desarrolladas (en la mayoría de los casos por grupos de investigación en didáctica de la física) con el propósito específico de ser utilizados

² Todas las cámaras en la modalidad de cámara WEB, permiten velocidades de filmación superiores a 10 fps, pero no ocurre lo mismo, por ahora, en la modalidad de cámara de vídeo autónoma

³ Lo mejor es realizar diferentes compresiones y probarlas en los ordenadores que se vayan a emplear.

para estudiar las filmaciones de objetos en movimiento. De forma muy sencilla permiten determinar numéricamente la posición (en coordenadas cartesianas) del objeto en cada fotograma y construir las gráficas correspondientes a la evolución temporal de las componentes vectoriales de las magnitudes cinemáticas posición, velocidad y aceleración. También generan representaciones icónicas de la evolución temporal de los vectores velocidad y aceleración.

Además de los programas comerciales, existen programas libres que se pueden descargar de Internet. Nosotros hemos optado por emplear el programa AviStep de Michel Delabaere⁴ que se puede descargar en

<http://perso.wanadoo.fr/mcpd/AviStep/AviStep.html>

El funcionamiento del programa es muy sencillo. Una vez abierto el clip de vídeo se escoge el origen de coordenadas y se establece la escala indicando la distancia entre dos puntos de la imagen. Con estos ajustes ya se puede iniciar el proceso de obtención de datos.

Para ello nos desplazamos hasta el fotograma en el que comienza el movimiento que queremos estudiar y hacemos clic con el ratón sobre el objeto que se mueve. Entonces la película avanza un fotograma y queda una marca en la posición en la que el móvil se encontraba en el fotograma anterior.

Una vez punteado el movimiento se pueden acceder a las gráficas y las representaciones icónicas de la evolución temporal de los vectores. Es posible cambiar el origen de coordenadas, modificar la escala, o realizar ajustes más sofisticados, como alterar el intervalo de tiempo entre fotogramas, sin necesidad de volver a realizar el proceso de punteo.

Cuando se puntean filmaciones solo es necesario tener en cuenta una cuestión. Para que el cálculo de la velocidad y la aceleración sea correcto es preciso que no se introduzcan puntos de discontinuidad. Por ejemplo, si estudiamos el movimiento de subida y bajada que ocurre al lanzar un objeto verticalmente hacia arriba, y lo punteamos todo seguido, el cálculo de la velocidad y la aceleración es correcto; pero si analizamos de la misma manera la caída de una pelota y su posterior rebote, los cálculos de la velocidad y la aceleración no serán correctos.

Es posible ajustar el programa para puntear dos o tres móviles al mismo tiempo. Así es factible abordar situaciones de movimiento relativo y choques. Pero en este caso las posibilidades de representación gráfica que ofrece el programa resultan insuficientes (no se pueden representar simultáneamente las gráficas de varios móviles). La solución consiste en exportar las medidas a una hoja de cálculo.

⁴ Existen otras opciones entre los programas libres. Aplicaciones probadas por nosotros y que también tienen cierta utilidad son:

(a) el programa AviMeca de Alain Le Gal que se puede descargar en

http://www.ac-rennes.fr/pedagogie/scphys/outinfo/log/avimeca/_am.htm

(b) el programa Dynamic de Jaques Prieur que se puede descargar en

<http://www.ac-nantes.fr/peda/disc/scphy/index1.htm>

(c) el programa MKI de S Olivier que se puede descargar en

<http://www.ac-nice.fr/physique/MKI/MKI.htm>

Por lo que se refiere a los programas comerciales es muy interesante la aplicación Videopoint de Mark Luetzelschwab, Priscilla Laws, Michael Gile y Patrick Cooney que distribuye PASCO (<http://www.pasco.com>). Una demo se puede obtener en

<http://www.lsw.com/videopoint/>

Las posibilidades que ofrece este programa son muy interesantes. Introduciendo los datos adecuados sobre el móvil es posible representar la evolución temporal de una gran cantidad de magnitudes (energía cinética, energía potencial...). Incorpora herramientas de ajuste funcional. Una vez efectuado el proceso de punteo, se puede pasar la película fotograma a fotograma y observar como un cursor recorre las gráficas representadas. Tiene el inconveniente de ser muy caro (más de 300 euros)

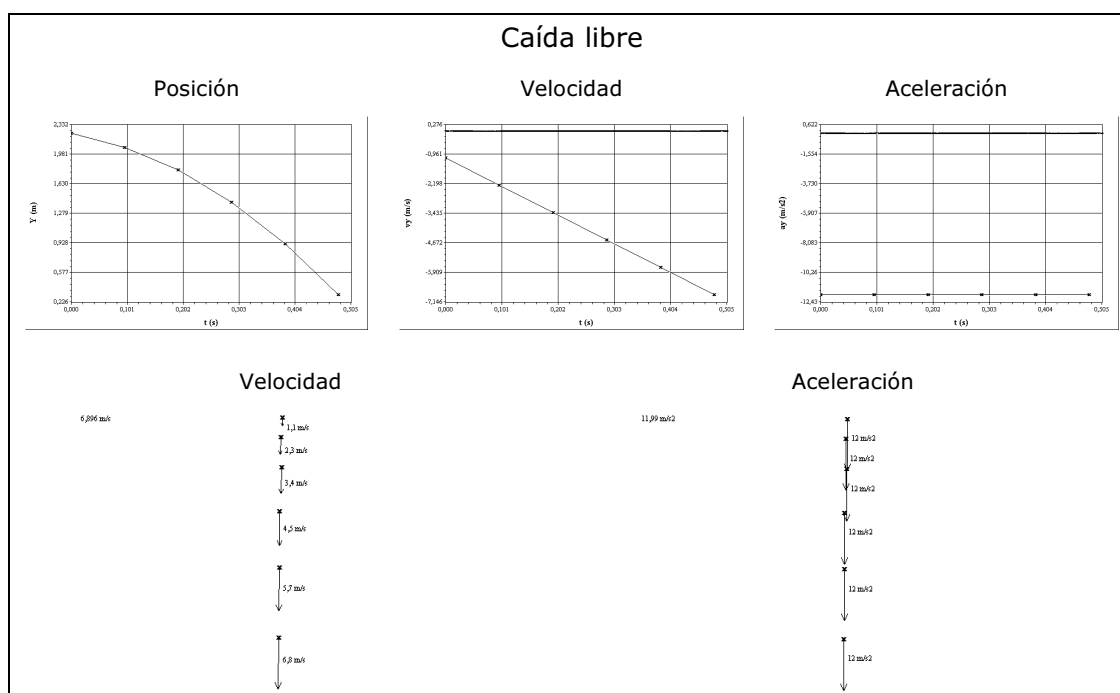
4 RESULTADOS OBTENIDOS

Hemos comprobado que el protocolo técnico diseñado permite estudiar los típicos movimientos que se abordan en la enseñanza secundaria: movimiento por un plano horizontal, caída por una rampa y subida de una pendiente, caída "libre" y lanzamiento vertical, lanzamiento horizontal y lanzamiento oblicuo, movimiento circular... Tanto las gráficas como las representaciones icónicas que se consiguen tienen una calidad más que suficiente.

A continuación vamos a presentar los resultados que han obtenido nuestros alumnos en dos casos concretos⁵.

4.1 Caída de una pelota y su posterior rebote.

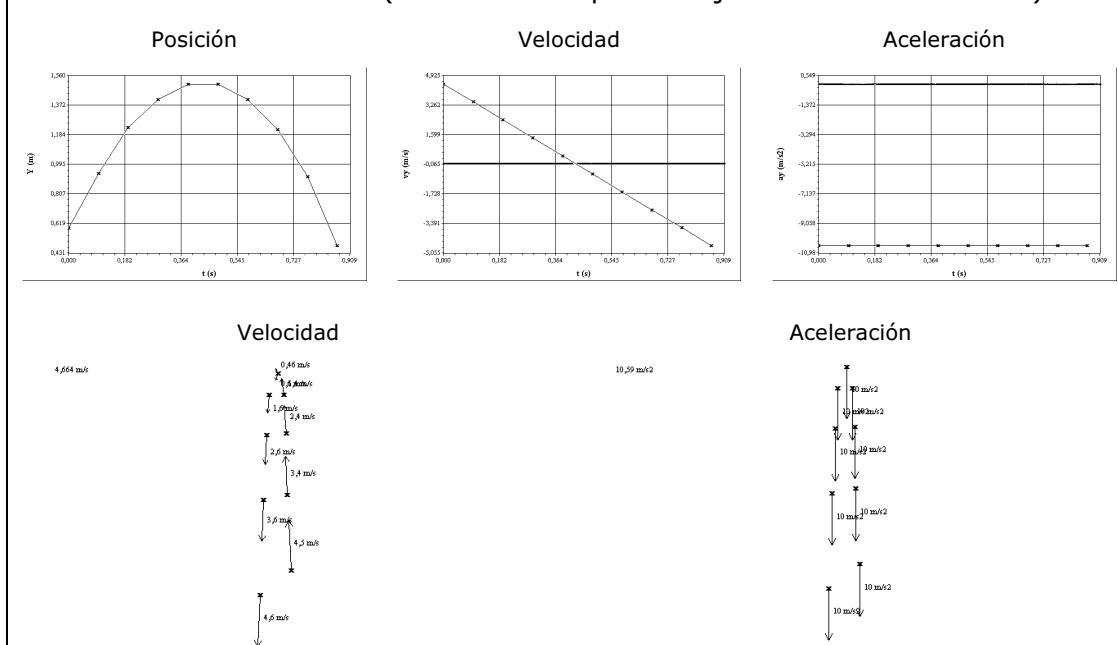
Este movimiento ha sido estudiado en 4º de ESO como conclusión de la unidad didáctica de cinemática. La filmación se hace con una pelota que rebote bastante y se graba, todo seguido, la caída de la pelota y la subida y bajada correspondiente al primer rebote⁶. Este segundo movimiento se identifica con el lanzamiento vertical de un objeto. El análisis de los dos movimientos debe realizarse por separado ya que el rebote introduce un punto de discontinuidad. En este nivel la utilización que hacemos del concepto de vector es completamente intuitiva.



⁵ La planificación de estas actividades ha seguido la misma secuencia metodológica que utilizamos en Educación Secundaria Obligatoria y en Bachillerato para enmarcar la realización de trabajos de carácter experimental: (a) Análisis del fenómeno a estudio, haciendo hincapié en el establecimiento de las magnitudes mediante las cuales se puede describir, es decir, dejando claro qué propiedades son las que se pueden medir directamente. (b) Emisión de hipótesis acerca de las correlaciones que cabe esperar entre las diferentes magnitudes. (c) Diseño de un montaje experimental sencillo que permita la reproducción controlada del fenómeno, estableciendo claramente cómo se realizan las medidas de las diferentes magnitudes. (d) Recogida de datos y análisis de resultados.

⁶ Si se quiere filmar un lanzamiento vertical lo mejor es utilizar el rebote de una pelota ya que así podemos conseguir aprovechar el encuadre del que disponemos sin complicación alguna: el primer fotograma útil quedará bastante próximo al suelo y tenemos la seguridad de que la pelota no alcanzará una altura mayor de aquella desde la que se ha dejado caer.

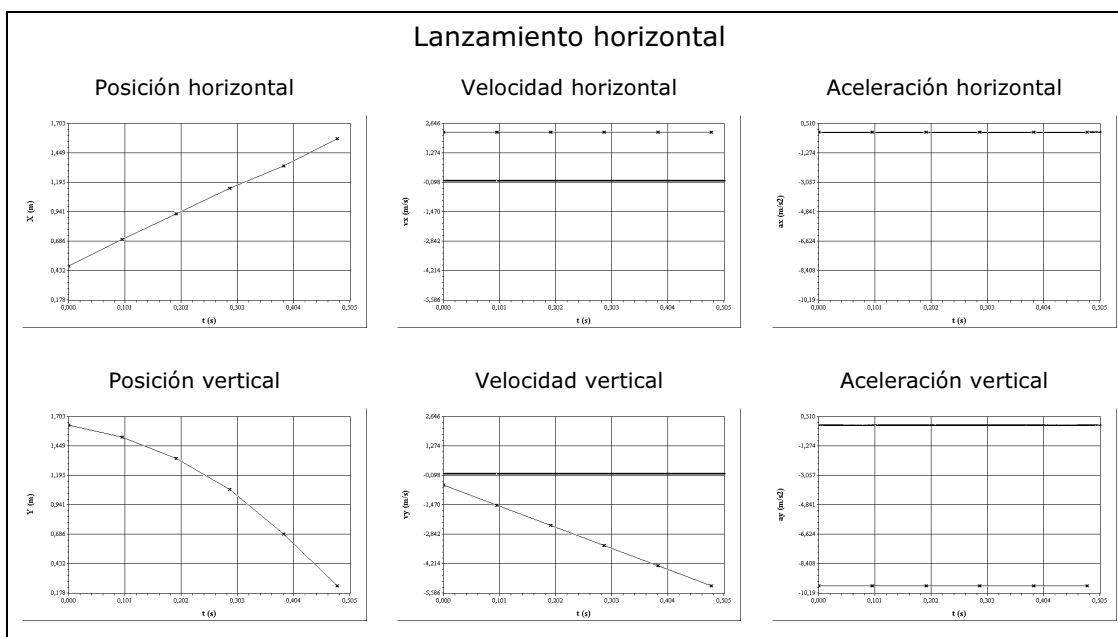
Lanzamiento vertical (rebote de una pelota dejada caer verticalmente)



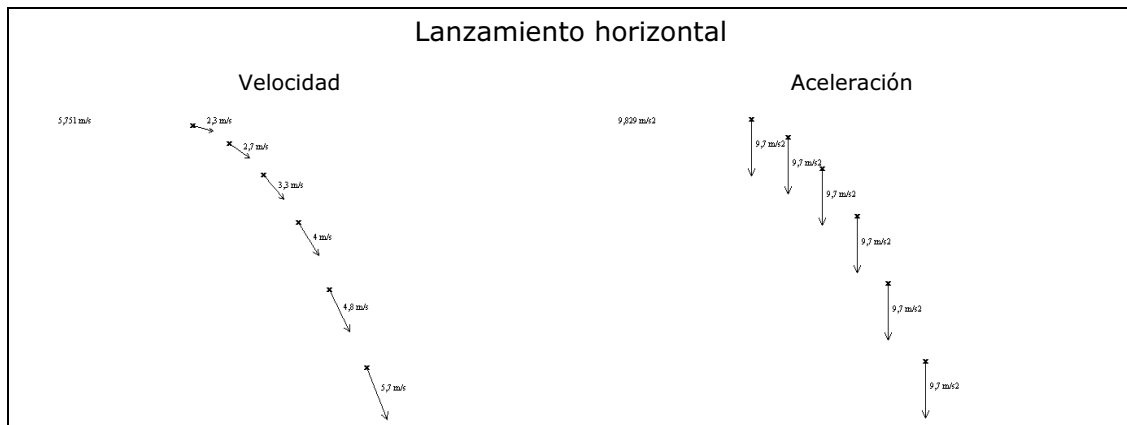
4.2 Lanzamiento horizontal de una pelota y su posterior rebote

Esta situación ha sido abordada en primero de bachillerato, cuando los alumnos comienzan a estudiar la descripción cinemática del movimiento en dos dimensiones. Uno de nuestros objetivos es intentar relacionar, en la mayor medida posible, el formalismo vectorial de la cinemática con el principio físico que legitima su utilización, que no es otro que el principio de superposición de movimientos.

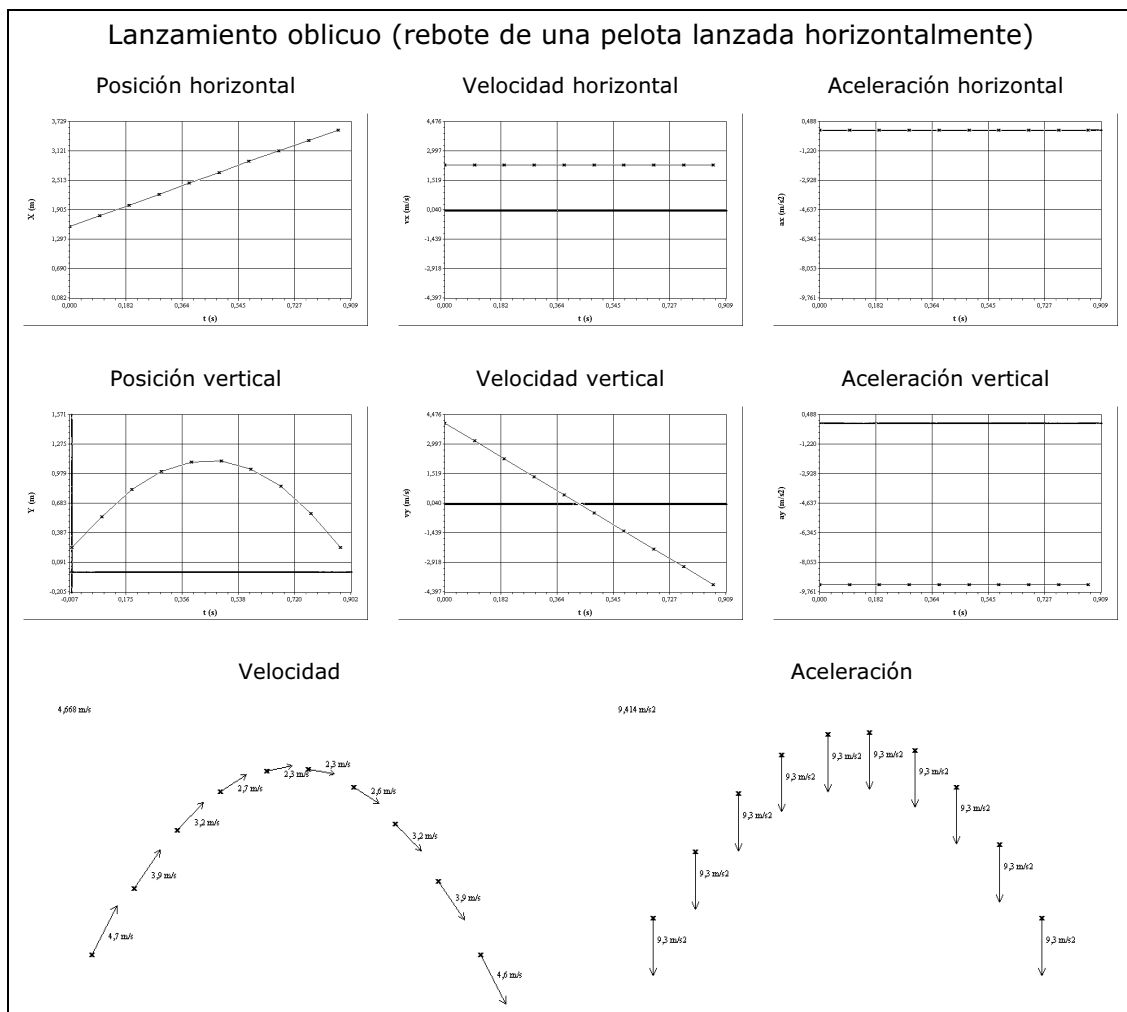
En el *lanzamiento horizontal*, el estudio de las gráficas correspondientes al movimiento horizontal y vertical permite que los alumnos se convencen de que solo existe aceleración en la vertical, de manera que el movimiento en la horizontal mantiene constante su velocidad



Las representaciones icónicas sirven de punto de partida intuitivo para mostrar la utilidad de disponer de un nuevo formalismo matemático que sea capaz de condensar toda la información de la que disponemos.



Al realizar la filmación, además del lanzamiento horizontal en la grabación también se incluye el rebote de la pelota. Este segundo movimiento se puede identificar como un lanzamiento oblicuo y su análisis debe efectuarse separadamente del análisis del movimiento precedente (el rebote introduce un punto de discontinuidad). Los resultados obtenidos permiten reafirmar las conclusiones anteriores



5 CONCLUSIONES

Los resultados que hemos obtenido nos han convencido plenamente de la utilidad que tiene el vídeo digital como recurso didáctico para el estudio del movimiento. La inversión requerida es pequeña, las actividades resultan motivadoras para los alumnos, los resultados experimentales son aceptables y el procedimiento de análisis informático integra la utilización simultánea de distintos lenguajes simbólicos.

Creemos interesante seguir investigando acerca de las posibilidades que ofrece esta tecnología. Además es razonable suponer que, en un futuro inmediato, las prestaciones de las cámaras que empleamos mejorarán (sin incremento de coste) y su uso se popularizará.

Las líneas de trabajo que nos planteamos seguir son:

1. Integrar el análisis de las filmaciones de vídeo con la modelización algebraica mediante la utilización de programas de hoja de cálculo.
2. Plantear nuevas situaciones experimentales cuyo estudio tenga interés por su vinculación con principios fundamentales de la física.
3. Buscar y evaluar los programas informáticos libres para el análisis de vídeo digital ya que descartamos el empleo de programas comerciales.

6 REFERENCIAS EN INTERNET

Emplear el vídeo digital como recurso didáctico en el estudio del movimiento fue una idea que "encontramos" en Internet. También ha sido a través de Internet como hemos obtenido la información necesaria para desarrollar nuestro proyecto. Las referencias que hemos empleado son las siguientes

"Filmer un mouvement" de Isabelle Tarride y Christian Pierquet

<http://www.ac-versailles.fr/pedagogi/physique-chimie/gep/webcam/index.htm>

"Making Movies for Video-Based Motion Analysis" de Patrick J. Cooney

<http://muweb.millersville.edu/~pjcooney/making-movies/>

"AviStep" de Michel Delabaere

<http://perso.wanadoo.fr/mcpd/AviStep/AviStep.html>

"AviMeca" de Alain Le Gal

<http://www.ac-rennes.fr/pedagogie/scphys/>

"Dynamic" de Jaques Prieur

<http://www.ac-nantes.fr/peda/disc/scphy/index1.htm>

"MKI" de S Olivier

<http://www.ac-nice.fr/physique/MKI/MKI.htm>

"Data Point" de Glenn A. Carlson

<http://www.stchas.edu/faculty/gcarlson/physics/>

"Virtual Dub" de Avery Lee

<http://www.virtualdub.org/index>