

Animaciones en LaTeX para la enseñanza del Movimiento Armónico Simple

| Animations in LaTeX for teaching Simple Harmonic Motion |

| Animações em LaTeX para o ensino do Movimento Harmônico Simples |

 Carlos A. Jiménez Carballo¹

carjimenez@itcr.ac.cr

Instituto Tecnológico de Costa Rica
Costa Rica

Recibido: 6 de octubre de 2024

Aceptado: 15 de abril de 2025

Resumen: El objetivo principal de este trabajo es demostrar detalladamente cómo emplear LaTeX para elaborar animaciones educativas vinculadas a los conceptos fundamentales de la física en general, centrándose específicamente en el estudio del Movimiento Armónico Simple (MAS). Específicamente, en este contexto, se presentan los paquetes *TikZ* y *animate* que se utilizan en el entorno de LaTeX para la creación de animaciones a partir de gráficos vectoriales. Posteriormente, se muestran detalladamente los códigos básicos necesarios para implementar cinco animaciones de una partícula unida a un resorte que describe un MAS. Las animaciones buscan facilitar la transición suave y comprensible entre las complejas ecuaciones matemáticas que describen un fenómeno físico y su representación visual, permitiendo así una mejor comprensión.

Palabras Clave: MAS, LaTeX, *animate*, *TikZ*, animaciones

Abstract: This work aims to comprehensively illustrate the use of LaTeX for the creation of educational animations pertaining to the fundamental concepts of physics, with a specific focus on the study of Simple Harmonic Motion (SHM). In this context, we present the *TikZ* and *animate* packages, which the LaTeX environment uses to create animations from vector graphics. Subsequently, the basic codes necessary to implement five animations of a particle attached to a spring that describe simple harmonic motion are shown in detail. The animations aim to facilitate a smooth and understandable transition between the complex mathematical equations that describe a physical phenomenon and their visual representation, thereby allowing for better comprehension.

Keywords: SHM, LaTeX, *animate*, *TikZ*, animations.

Resumo: O principal objetivo deste trabalho é mostrar detalhadamente o uso do LaTeX para elaborar animações educativas vinculadas aos conceitos fundamentais da física em geral, focando especificamente no estudo do Movimento Harmônico Simples (MAS). Especificamente, neste contexto, são apresentados os pacotes *TikZ* e *animate*, que são implementados no ambiente LaTeX para a criação

¹Carlos A. Jiménez Carballo. Puesto-Institución. Código postal. Correo electrónico: carjimenez@itcr.ac.cr.

de animações a partir de gráficos vetoriais. Posteriormente, são mostrados detalhadamente os códigos básicos necessários para implementar cinco animações de uma partícula presa a uma mola que describe um MAS. As animações buscam facilitar a transição suave e comprensível entre las complejas ecuaciones matemáticas que descrevem um fenômeno físico e sua representação visual, permitindo assim uma melhor compreensão

Palavras-chave: MAS, LaTeX, animate, TikZ, animações.

1. Introducción

El Movimiento Armónico Simple (MAS) es uno de los primeros ejemplos de sistemas dinámicos que se introducen en los cursos de física general, el cual constituye una base esencial para la entender sistemas físicos más complejos. Se puede definir como el movimiento de un cuerpo que oscila alrededor de una posición de equilibrio bajo la influencia de una fuerza restauradora, la cual es proporcional al desplazamiento de la partícula [1]. Este tipo de movimiento se encuentra en una variedad de sistemas físicos, desde los péndulos y resortes hasta circuitos eléctricos oscilantes, y su análisis implica el uso de herramientas matemáticas como ecuaciones diferenciales y funciones trigonométricas [2]. No obstante, muchos estudiantes experimentan dificultades a la hora de relacionar las ecuaciones matemáticas que describen el MAS con la representación física del fenómeno. La transición entre las descripciones algebraicas y la interpretación gráfica o visual puede ser un desafío, especialmente cuando las clases se limitan a representaciones estáticas o a la explicación verbal.

Por otro lado, en el ámbito de la enseñanza de la física, es fundamental que las propuestas didácticas elaboradas o escogidas sean adecuadas para garantizar que la observación, la medición y la teoría se integren de manera efectiva en el entorno educativo, evitando así su separación del contexto del aula [3]. Dentro de esta situación, las animaciones han adquirido un valor significativo al momento de representar fenómenos físicos y atraer la concentración de los alumnos, por lo que dicha temática ha sido abordado desde distintas herramientas como Geogebra [4] o Simulia [5]. Se puede describir una animación como una representación digital de procedimientos que emplea imágenes para crear una película artificial, incorporando texto, gráficos, mapas y diagramas, con el propósito de mejorar la comprensión y el desempeño en la enseñanza de los medios actuales [6].

Debido a lo anterior, la introducción de animaciones en LaTeX se presenta como una solución a este problema, pues es un sistema gratuito de composición de textos destinado a crear documentos escritos con una calidad tipográfica profesional, generalmente utilizado para escribir documentos científicos, técnicos y matemáticos, pero también puede usarse para crear libros, artículos, informes y animaciones con ayuda de los paquetes *TikZ* y *animate* [7, 8, 9].

El objetivo principal de este trabajo consiste en presentar los códigos básicos de animaciones creadas en LaTeX, con el fin de que estos sirvan para generar material didáctico para ayudar a mejorar la comprensión de los estudiantes sobre conceptos como amplitud, frecuencia y fase relacionados con el MAS. Para esto, primero se describen los conceptos más importantes del MAS, específicamente las ecuaciones que rigen dicho movimiento y sus propiedades características (sección 2). Seguidamente, se describen los fundamentos técnicos de los paquetes principales para la creación de animaciones en LaTeX (sección 3). Finalmente, en la sección 4 se presenta el código LaTeX de algunas animaciones básicas que se pueden construir para enseñar los conceptos del MAS.

2. Movimiento armónico simple (MAS)

En esta sección se presentan los conceptos más importantes del MAS, específicamente las propiedades físicas y ecuaciones que rigen dicho movimiento, con el objetivo de establecer las bases matemáticas para la programación de las animaciones.

El Movimiento Armónico Simple (MAS) es el movimiento periódico más sencillo que se puede analizar, el cual es un movimiento idealizado que sucede cuando actúa una fuerza de restitución F_R , la cual es directamente proporcional al desplazamiento x con respecto a un punto de equilibrio (punto en el cual la fuerza neta que actúa sobre la partícula es cero) [1, 2].

El caso más común es la fuerza que actúa sobre una partícula de masa m atada a un resorte (ver figura 1) donde la magnitud de dicha fuerza se determina de acuerdo con la ley de Hooke, esto es

$$F_R = kx \quad (1)$$

donde k se conoce como *constante del resorte* y es característica de cada resorte. Asimismo, dicha ley establece que la fuerza de un resorte se opone al desplazamiento.

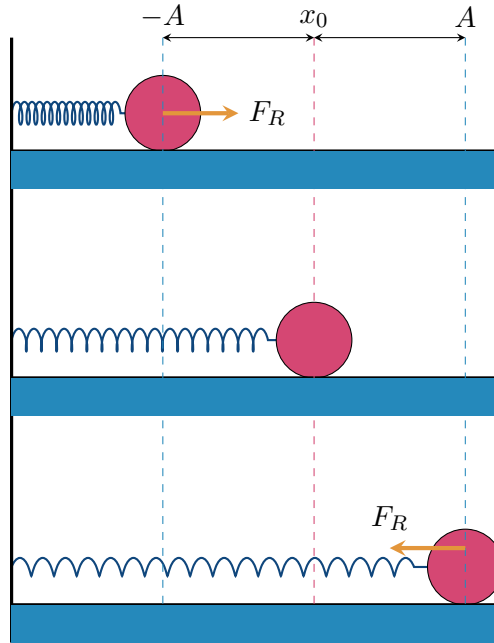


Figura 1: Descripción de un sistema masa-resorte que describe un MAS. Elaboración propia

La posición x en función del tiempo t de una partícula es descrita por la ecuación

$$x(t) = A \cos(\omega t + \phi), \quad (2)$$

donde A es la amplitud del movimiento, ϕ es el ángulo de fase y ω es la frecuencia angular del movimiento, y para el caso de un sistema masa-resorte se determina como

$$\omega = \sqrt{k/m} \quad (3)$$

A partir de la ecuación (2) se encuentran las expresiones de la velocidad v y la aceleración a en función del tiempo:

$$v = \frac{dx}{dt} = -A\omega \sin(\omega t + \phi), \quad (4)$$

$$a = \frac{d^2x}{dt^2} = -A\omega^2 \cos(\omega t + \phi), \quad (5)$$

De acuerdo con [2] la energía cinética K se define como:

$$K \equiv \frac{1}{2}mv_x^2,$$

donde para el caso de una partícula con masa m que describe un MAS se determina:

$$K = \frac{1}{2}kA^2\sin^2(\omega t + \phi). \quad (6)$$

Por otra parte, se tiene que la energía potencial de una partícula unida a un resorte se calcula como:

$$U = \frac{1}{2}kx^2,$$

lo cual para el caso de que dicha masa describa un MAS, se convierte en:

$$U = \frac{1}{2}k(A\cos(\omega t + \phi))^2. \quad (7)$$

La energía mecánica se define como:

$$E \equiv K + U,$$

donde usando la ecuaciones (6) y (7) se obtiene que la energía mecánica de una partícula que describe un MAS es

$$E = \frac{1}{2}kA^2\sin^2(\omega t + \phi) + \frac{1}{2}kA^2\cos^2(\omega t + \phi),$$

simplificando, se obtiene

$$E = \frac{1}{2}kA^2, \quad (8)$$

lo cual implica que la energía mecánica de una partícula que describe MAS se conserva en el tiempo.

3. *TikZ* y *animate*: Herramientas para crear animaciones

En esta sección se presenta una breve descripción de los paquetes que se utilizan para generar animaciones en LaTeX.

3.1. *TikZ*: Generador de gráficos vectoriales

TikZ es un paquete de LaTeX el cual se utiliza para generar que gráficos vectoriales de alta calidad, los cuales son programados de forma similar a como se crea un documento cuando se usa TEX [9]. En la figura 2 se presenta un ejemplo del tipo de ilustraciones que se pueden generar usando este paquete.

TikZ se presenta como una herramienta de gran valor para aquellas personas que desean elaborar gráficos personalizados y de excelente calidad en el contexto de LaTeX. Aunque al principio puede resultar desafiante aprender a utilizarlo, la estructura del programa, que es especialmente accesible para personas que ya están familiarizadas con LaTeX, permite crear diagramas complejos de manera rápida y sencilla. La versatilidad de *TikZ* es indiscutible, ya que permite un alto nivel de personalización en el diseño de los gráficos, casi sin límites. Además, la creación de gráficos vectoriales asegura una calidad superior y la capacidad de escalar sin perder resolución. Además, como punto destacado, *TikZ* es una herramienta de software libre y de código abierto, lo que lo convierte en una alternativa accesible y adaptable para la comunidad de usuarios de LaTeX.

Con el paquete *TikZ* se pueden generar diagramas de flujo, diagramas de bloques, diagramas de Venn, gráficos de funciones, gráficos de ecuaciones, gráficas de barras, así como ilustraciones científicas de alta calidad, como diagramas de anatomía, mapas geológicos, entre otros.

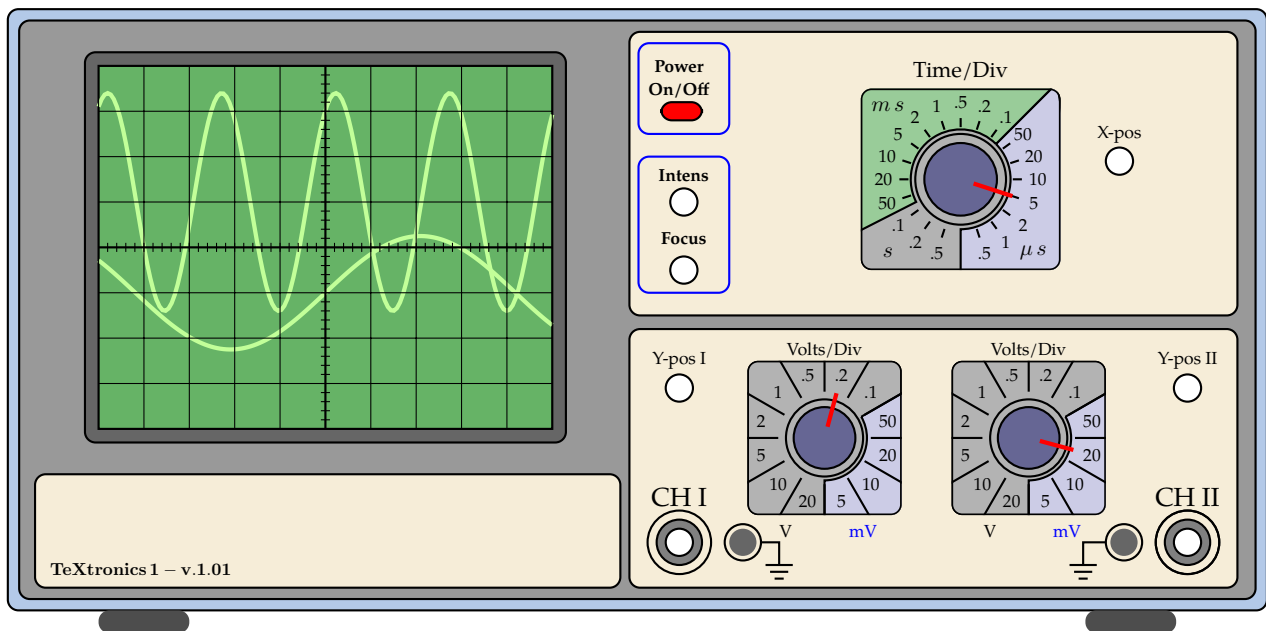


Figura 2: Osciloscopio creado con los paquetes *TikZ* y *Pgf* de LaTeX [10].

Sintaxis

Con base en [9], para el uso de este paquete se necesita conocer algunos comandos básicos que permiten generar objetos primitivos, es decir, los puntos, rectas, nodos, entre otros. Para empezar, cualquier documento en el preámbulo debe contener la línea `\usepackage{tikz}`. Para generar cualquier gráfico o ilustración usando *TikZ*, dicha figura se debe encerrar dentro de este entorno `tikzpicture`, esto es:

```
\begin{tikzpicture}
%tus comandos de dibujo
\end{tikzpicture}
```

Algunos de los comandos básicos para generar figuras usando el paquete *TikZ* son:

- `\draw`: es el comando principal para dibujar líneas, curvas, formas geométricas, etc. Para dibujar un segmento se utiliza la sintaxis:

```
\draw (x1,y1) -- (x2,y2);
```

donde $(x1, y1)$ y $(x2, y2)$ son los puntos que definen a dicho segmento.

- `\fill`: se utiliza para crear formas cerradas rellenas. Por ejemplo, para dibujar un círculo, se utiliza la sintaxis es:

```
\fill (x1,y1) circle (R);
```

donde $(x1, y1)$ es el punto central del círculo y (R) es el radio de dicho círculo.

- `\node`: Se usa para insertar nodos en un punto con texto o sin él. La sintaxis básica para insertarlo es:

```
\node at (x,y) {texto};
```

Las coordenadas de los objetos que se crean, pueden ser cartesianas, polares o relativas, lo cual permite ubicar con precisión cada punto en el plano. Las coordenadas cartesianas utilizan el sistema

tradicional de ejes X e Y, mientras que las polares emplean un ángulo y un radio. En cuanto a la apariencia, *TikZ* permite personalizar los gráficos mediante una amplia variedad de opciones. Es posible modificar el estilo de las líneas, eligiendo entre líneas gruesas, delgadas, discontinuas o punteadas (*thick*, *thin*, *dashed*, *dotted*), así como seleccionar el color deseado entre una paleta extensa (por ejemplo: *red*, *blue*, *green*, etc). Además, se puede ajustar el grosor de las líneas (*line width=2pt*) y agregar flechas para indicar dirección o flujo (*-stealth*).

En la figura 3 se muestra un ejemplo de código básico para crear un círculo, un rectángulo y un nodo con un texto donde se utilizan algunos de los comandos anteriores.

```
\begin{tikzpicture}
\draw[red, thick] (0,0) rectangle (2,2);
% Un rectangulo rojo
\draw[blue, dashed] (-2,1) circle (1cm);
% Un circulo azul punteado
\node at (1,1) {Mi nodo};
\end{tikzpicture}
```

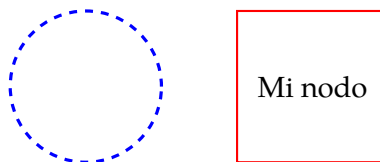


Figura 3: Código LaTeX de algunas figuras básicas. Elaboración propia.

3.2. *Animate*: Generador de animaciones

El paquete *animate* es una herramienta potente, la cual permite incorporar animaciones en los documentos LaTeX. Esto implica que es posible transformar figuras y gráficos estáticos en secuencias dinámicas que evolucionan a lo largo del tiempo, potenciando de este modo la exposición de ideas y resultados. Por ejemplo, permite la creación de archivos PDF con contenido animado a partir de conjuntos de gráficos o archivos de imágenes, de los gráficos en línea, como LATEX-picture, PSTricks o *pgf/TikZ* imágenes generadas, o simplemente de texto tipo. El resultado es semejante al formato SWF, aunque no tan eficiente en términos de espacio, además de que para poder ver dichas animaciones se ocupa de un visor como Adobe Reader, por lo que no se pueden ver en navegadores web [8].

El paquete *animate* permite crear animaciones de secuencias de imágenes (consiste en la presentación de una serie de imágenes predefinidas) animaciones de gráficos creados con paquetes como *pgfplots* o *TikZ* y animaciones de gráficos 3D donde que permiten mostrar rotaciones o transformaciones de objetos 3D. Dichas animaciones se pueden reproducir de forma automática o controlarse con botones interactivos.

Sintaxis

De acuerdo con [8], para utilizar este paquete en LaTeX primero se debe incluir en el preámbulo la línea `\usepackage{animate}`. Para generar una animación se deben utilizar los siguientes comandos básicos:

- `\animategraphics{fps}{prefix}{start}{end}`: Este comando se utiliza para animar una secuencia de imágenes, donde *fps* representa la cantidad de cuadros por segundo, *prefix* es el nombre común que tienen las imágenes a utilizar, *start* es el número del primer archivo del grupo de imágenes y *end* es el número del último archivo de dicho grupo.

- Para generar una animación de una figura creada con *TikZ* se utiliza el entorno `animateinline`, esto es:

```
\begin{animateinline}[opciones]{numero de cuadros}
\multiframe{n}{variable}{
%tu figura TikZ
}
\end{animateinline}
```

donde `numero de cuadros` representa la cantidad de cuadros a generar, `\multiframe{n}{variable}`: define una secuencia de cuadros donde `n` es el número de cuadros y `variable` es el parámetro que cambia en cada cuadro, la cual por lo general es la letra `i`.

Con respecto a las opciones que se pueden utilizar se encuentran:

- `autoplay`: la animación inicia de forma automática al abrir el archivo PDF.
- `loop`: la animación se repita una y otra vez, es decir como un bucle.
- `poster` y `first`: establecen la imagen inicial de la animación.
- `controls`: Agrega una barra de controles para manualmente pausar, adelantar, atrasar o reproducir la animación.

4. Animaciones del MAS utilizando *TikZ* y *animate*

En esta sección se presenta una muestra básica de código LaTeX para generar animaciones, usando los paquetes *TikZ* y *animate*, de situaciones específicas del MAS, con la finalidad de mejorar el aprendizaje en dicho tema.

Animación sistema masa-resorte

Considere un sistema masa-resorte ideal (que obedece la ley de Hooke) realiza un movimiento armónico simple (MAS) sobre un plano horizontal sin fricción. La masa tiene un valor de 0.00889 kg, la constante del resorte es de 1.28 N/m y la amplitud del movimiento es de 2.5 m. En la figura 4 se muestra el código para generar el movimiento oscilatorio de dicho sistema. En el código se tiene:

1. Estructura básica de la animación:

La animación se inicia y se termina con los comandos `\begin{animateinline}[loop, controls]{5}` y `\end{animateinline}`. El parámetro `loop` indica que la animación se repetirá indefinidamente. Además, el parámetro `controls` habilita los controles de reproducción. El valor 5 especifica la cantidad de cuadros por segundo, lo que determina la velocidad de la animación.

2. Bucle para generar la animación:

El comando `\multiframe{31}{i=0+1}` crea un bucle, el cual ejecutará el código 31 veces. La variable `i` comienza en 0 y se incrementa en 1 en cada iteración; además, se usa para simular el paso del tiempo en el movimiento oscilatorio de la masa.

3. Variables y constantes del sistema masa-resorte:

En este caso se definen constantes:

- Amplitud (A) usando el código `\pgfmathsetmacro{A}{2.5}`.
- Masa (m) por medio del código `\pgfmathsetmacro{m}{0.008889}`.


```

\documentclass[12pt]{article}
\usepackage{tikz}
\usepackage{animate}

\begin{animateinline}[loop,controls]{5}
\multiframe{31}{i=0+1}{

\begin{tikzpicture}[scale=1]

%variables
\pgfmathsetmacro\t{\i} %
\pgfmathsetmacro{A}{2.5} %amplitud
\pgfmathsetmacro{m}{0.008889} %masa
\pgfmathsetmacro{k}{1.28} %constante del resorte
\pgfmathsetmacro{ang}{(\k/\m)^0.5} %frecuencia angular
\pgfmathsetmacro{fase}{0} %angulo de fase
\pgfmathsetmacro{X}{A*cos(ang*\t+fase)} %posicion

%pared y suelo
%\draw[white] (-5,-7) rectangle (4.5,3);
\draw [fill=blue, blue] (-3.85,1) rectangle (-4.35,-1);
\draw [fill=blue,blue] (-3.85,-1) rectangle (4,-0.5);
\draw [very thick] (-3.85,-0.5)--(-3.85,1);
\draw [very thick] (-3.85,-0.5)--(4,-0.5);

%etiquetas
\draw [very thick, dashed, gray] (3,-0.5)--(3,1) node[above]{$A$};
\draw [very thick, dashed, gray] (0.5,-0.5)--(0.5,1) node[above]{$x_0$};
\draw [very thick, dashed, gray] (-2,-0.5)--(-2,1) node[above]{$-A$};

%movimiento del resorte y la masa
\draw[thick, decoration={aspect=0.5, segment length=(2mm+X)},
      amplitude=1.5mm,coil},decorate] (-4,0)--(X,0);
\draw[fill=red] (X+0.5,0) circle(0.5);
\end{tikzpicture}
}
\end{animateinline}

```

Figura 4: Código para la animación del movimiento básico de un sistema masa-resorte que describe un MAS. Elaboración propia.

- Constante del resorte ($\backslash k$) escribiendo `\pgfmathsetmacro{\k}{1.28}`.
- Frecuencia angular ($\backslash ang$) usando el código `\pgfmathsetmacro{ang}{(\k/\m)^0.5}`, en la cual se puede ver que se utiliza la ecuación (3).
- Ángulo de fase ($\backslash fase$) escribiendo `\pgfmathsetmacro{fase}{0}`, donde se establece un valor igual a cero.

Las variables se establecen como:

- Tiempo ($\backslash t$) con ayuda del código `\pgfmathsetmacro\t{\i}` donde se le asigna el valor de i . Para este caso se asignó un tiempo de 30 s.
- Posición ($\backslash X$) usando la definición `\pgfmathsetmacro{X}{A*cos(ang*\t+ fase)}` la cual se establece de acuerdo a la ecuación (2) del MAS.

4. Dibujando el sistema:

El suelo y la pared se dibujan utilizando `\draw` y un patrón con color azul para representar la superficie de apoyo. Se incluyen las líneas de referencia de las posiciones de equilibrio x_0 , amplitud A , y posición opuesta $-A$, marcadas con líneas punteadas y etiquetas.

5. Dibujo del resorte y la masa:

Con ayuda del comando `\draw[thick, decoration={aspect=0.5, segment length={2mm+\X}}, amplitude=1.5mm, coil},decorate]` se dibuja el resorte para el cual su longitud se ajusta dinámicamente en cada fotograma. Finalmente, la masa se dibuja como un círculo de color rosado cuya posición horizontal varía de acuerdo con la variable X , que depende del tiempo y describe el movimiento oscilatorio, esto de acuerdo con el código `draw[fill=red](\X+0.5, 0) circle(0.5).`

La figura 5 muestra la animación resultante de un sistema masa-resorte creada con el código que se muestra en la figura 4. Dicha animación se puede utilizar para mostrar el movimiento de la masa pero además se pueden modificar los parámetros para mostrar a los estudiantes como se ve afectado dicho movimiento.

Figura 5: Animación del movimiento básico de un sistema masa-resorte que describe un MAS. Elaboración propia.

Si se quisiera agregar la variación del vector de la fuerza del resorte que actúa sobre la masa basta con agregar las siguientes líneas al código de la figura 4:

```
% vector de fuerza
\draw[ultra thick, orange,-stealth] (\X+0.5,0.35)--(-\k*\X+0.5,0.35)
node [above] {\textcolor{orange}{$F_R$}};
```

donde se genera una flecha que va desde un punto de la masa $(\X+0.5, 0.35)$ hasta el punto $(-\kappa*\X+0.5, 0.35)$, donde en este último se puede ver claramente que se utiliza la ecuación (1), además, se incluye el símbolo $-$ pues la fuerza se opone al desplazamiento. En la figura 6 se muestra el resultado de la animación, donde se puede ver el comportamiento del vector de fuerza.

Figura 6: Animación del vector de fuerza en un sistema masa-resorte que describe un MAS. Elaboración propia.

Animación de la comparación del movimiento circular con el MAS

El MAS puede visualizarse como la proyección en una de las dimensiones de un Movimiento Circular Uniforme (MCU). Si se considera una partícula que se mueve en un círculo y se proyecta su posición sobre el eje x , se obtiene un movimiento que sigue la ecuación de un MAS. La velocidad angular del MCU corresponde a la frecuencia angular del MAS, mientras que la amplitud del MAS es equivalente al radio del círculo en el MCU. Para animar la proyección del MCU se deben agregar las siguientes líneas al código de la figura 4:

```
%circulo
\draw[fill=black!25] (-8,0) circle (\A);
\draw[ultra thick, fill=orange,color=orange] (-8,0)++(\ang*t:\A) circle (2pt)
-- (\X+0.5,0) circle (2pt);

%etiquetas
\node at (-8+\A,0) [right] {$A$};
\node at (-8-\A,0) [left] {$-A$};
\node at (-8,\A) [above] {$x_0$};
\node at (-8,-\A) [below] {$x_0$};
\draw[very thick, dashed, blue] (-8,0)--(-8-\A*2^0.5/2,\A*2^0.5/2);
\node at (-8-\A*2^0.5/4,\A*2^0.5/4) [right] {$R=A$};
```

donde se genera un círculo de radio igual a la amplitud del MAS. Además, se crea una línea de color anaranjado que conecta a la masa en movimiento con la circunferencia del círculo. En la figura 7 se observa el resultado de la animación de la proyección del MAS en el MCU que se obtiene con el código.

Figura 7: Animación de la proyección del MAS en un MCU. Elaboración propia.

Animación de las gráficas de posición en función del tiempo para una partícula que describe MAS

Tal y como se puede ver en la ecuación (2) la posición de una partícula que describe un MAS varía con respecto al tiempo. Para poder realizar una animación de la gráfica de posición en función del tiempo, al código de la figura 4 se le deben agregar los siguientes comandos:

```
% ejes
\draw [very thick] (-4,-6)--(4,-6) node[below] {$t$};
\draw [very thick] (-4,-9.5)--(-4,-2.5) node[left] {$x(t)$};
\node at (-4,-3.5) [left] {$A$};
\node at (-4,-8.5) [left] {$-A$};

%posicion
\draw[very thick,blue] plot[smooth,domain=0:\t]
```

```
(8/60*\x - 4, {\A*cos(\ang*\x+\fase)-6});
```

En el código anterior, para construir la curva de posición en función del tiempo se utiliza la instrucción `\plot[smooth, domain=0:\t]`, donde se establece un dominio que va desde 0 hasta el tiempo `\t` que se define para realizar la animación. En la figura 4 se definió un tiempo de 30 s, sin embargo para el resultado que se muestra en la figura 8 se utilizaron 60 s para poder observar el comportamiento en dos ciclos. Además, el término $8/60 * x - 4$ define el tamaño de la escala de tiempo así como la posición inicial del gráfico, para este caso $x = -4$. El término $A * \cos(\text{ang} * x + \text{fase}) - 6$ construye la curva de la posición en función del tiempo, la cual está centrada en la posición $y = -6$.

Figura 8: Animación de la posición, velocidad y aceleración en función del tiempo de una partícula que describe un MAS. Elaboración propia.

Animación de las energías de una masa unida a un resorte que describe un MAS

Para este caso se desea generar una animación que permita visualizar la variación de barras que representen a la de energía mecánica (E), la energía cinética (K) y la energía potencial (U) de una partícula unida a un resorte, la cual describe un MAS. La variación de las barras de energía debe mostrar que:

- La energía cinética K es máxima en la posición de equilibrio (x_0 esto de acuerdo con la ecuación (6)).
- La energía potencial U es máxima en los extremos del movimiento (A y $-A$) tal y como lo demuestra la ecuación (7).
- La energía mecánica E es constante en todo el movimiento (ver ecuación (8)).

Para construir dicha animación, al código de la figura 4 se le agregan las siguientes líneas:

```

%variables
\pgfmathsetmacro{\V}{-\A*\ang*sin(\ang*t+\fase)}%velocidad
\pgfmathsetmacro{\E}{0.5*\k*A^2}%energia mecanica
\pgfmathsetmacro{\K}{0.5*\m*\V*\V}%energia cinetica
\pgfmathsetmacro{\U}{0.5*\k*X*X}%energia potencial

%barra de la energia mecanica
\draw[very thick, fill=gray] (-1,-6)rectangle (-2,-6+\E);

%barra de energia cinetica
\fill[blue] (-0.5,-6)rectangle (0.5,{-6+\K});
\draw[very thick] (-0.5,-6)rectangle (0.5,-6+\E);

%barra de energia potencial
\fill[red] (1,-6)rectangle (2,{-6+\U});
\draw[very thick] (1,-6)rectangle (2,-2);

%Etiquetas
\node at (-1.5,-6.2) [below]{$E$};
\node at (-0.75,-6.3) [below]{$=$};
\node at (0,-6.2) [below]{$K$};
\node at (0.75,-6.2) [below]{$+$};
\node at (1.5,-6.2) [below]{$U$};

```

En dichas líneas, por simplicidad, primero se definen las variables de v , E , K y U . Posteriormente, se crean las barras dibujando rectángulos, los cuales se llenan con ayuda de los comandos `\fill[color] (x1,y1) rectangle (x2,{y2+\variable})`; . Finalmente, en la figura 9 se observa el resultado de dicha animación.

Figura 9: Imagen de la animación de las energías para una partícula que describe MAS. Elaboración propia.

5. Conclusiones

Con ayuda de este trabajo se pudo mostrar que LaTeX es una herramienta que permite generar animaciones que se pueden utilizar para mejorar la enseñanza del MAS en los cursos de física general. Es importante considerar que para poder visualizar las animaciones creadas en los archivos pdf, estos deben ser abiertos en una versión del software *Adobe Reader* o semejante, y no en los navegadores de internet.

Además, se mostró que el paquete *TikZ* es una herramienta diseñada para la creación de gráficos vectoriales de alta calidad. Asimismo, el paquete *animate* se presenta como una herramienta que permite construir presentaciones dinámicas para ilustrar conceptos físicos, y no solamente aquellos relacionados con el MAS.

Por otro lado, a través de este trabajo se conoció el código básico de programación en LaTeX para construir animaciones relacionadas con el MAS, donde se pudo observar que no solamente se requiere de la sintaxis de LaTeX, sino que además se ocupan conocimientos en física o matemática. Tal y como se menciona anteriormente, se debe tener presente que las animaciones solo pueden ser vistas en Adobe Reader, por lo que la recomendación de uso es para generar material didáctico, como presentaciones. Sin embargo, durante las lecciones se puede utilizar en sitios web como Overleaf, Cocalc, entre otros, para lograr una mayor interacción. Sin embargo siempre hay que generar el documento pdf y utilizar Adobe Reader.

Finalmente, queda abierta la posibilidad de que, con los códigos presentados, tanto docentes como estudiantes puedan modificar los códigos a su gusto para profundizar en la enseñanza del MAS y de los conceptos de física general.

Agradecimientos: Se agradece a la Escuela de Física del Instituto Tecnológico de Costa Rica por el apoyo brindado para la realización de este trabajo.

Contribución de las personas autoras: Este trabajo fue realizado únicamente por el señor Carlos A. Jiménez-Carballo, quien se encargó de todas las etapas del desarrollo del artículo.

Accesibilidad de datos: No aplica

6. Referencias

- J. D. Wilson, A. J. Buffa, B. Lou, *College Physics*, Pearson Prentice Hall, 2007.
- H. D. Young, R. A. Freedman, A. E. Brito, F. W. Sears, A. L. Ford, and M. W. Zemansky, *Física universitaria con física moderna*, Pearson Educación de México, 2018.
- S. Concari, S. Giorgi, C. Cámara, and N. Giacosa, "Didactic strategies using simulations for physics teaching," **Current Developments in Technology-Assisted Education**, vol. 3, pp. 2042–2046, 2006.
- "Movimiento armónico simple," GeoGebra. <https://www.geogebra.org/m/Ys43kaB6>.
- M. P. M. De Souza, "Sistema masa-resorte - SimuFísica." <https://simufisica.com/es/masa-resorte>.
- C. S. Ugwuanyi, C. I. O. Okeke, P. A. Nnamani, E. C. Obochi, and C. C. Obasi, Relative effect of animated and non-animated PowerPoint presentations on physics students' achievement," **Cypriot Journal of Educational Sciences**, vol. 15, no. 2, pp. 282–291, 2020.
- R. K. Aji, *Create Documents with LaTeX*, 2023. [Online]. Available: <https://books.google.co.cr/books?id=BIDDvQEACAAJ>.

- A. Grah, *The animate Package*. Jun. 18, 2023. [Online]. Available: <https://mirrors.ucr.ac.cr/CTAN/macros/LaTeX/contrib/animate/animate.pdf>. (accessed: Mar. 27, 2024).
- T. Tantau, *The TikZ and PGF Packages Manual for version 3.1.10*. Mar. 8, 2024. [Online]. Available: <https://pgf-tikz.github.io/pgf/pgfmanual.pdf>. (accessed Mar. 27, 2024).
- H. Vermeiren, “Example: TeXtronics oscilloscope,” *texample.net*, Jan. 11, 2012. <https://texample.net/tikz/examples/textronics-oscilloscope/> (accessed Oct. 01, 2024).