1) Con los datos del ejercicio 1, diseñar un algoritmo para medir la velocidad de propagación de la onda en la cuerda. El algoritmo debe ser autónomo, sin la intervención del usuario (a través del comando ginput por ejemplo). Calcular el error relativo ϵ de la medida con respecto al valor de entrada de la solución numérica. Repetir para diferentes valores de Λ y realizar un gráfico $\epsilon(\Lambda)$. ¿Funciona correctamente el algoritmo cerca de los bordes?

2) Con los datos del ejercicio 5, diseñar un algoritmo para medir el coeficiente de atenuación de la onda en la cuerda. Calcular el error relativo con respecto al valor de entrada en la solución numérica.

3) La solución de D'Alambert para la ecuación de ondas con condiciones iniciales

$$y(x,t=0)=\phi(x)$$

$$\frac{\partial y(x,t=0)}{\partial t}=\psi(x)$$

está dada por:

$$y(x,t)=\frac{1}{2}\left[\phi(x-ct)+\phi(x+ct)+\frac{1}{c}\int_{x-ct}^{x+ct}\psi(\delta)d\delta\right]$$

Dada la deformación inicial de la cuerda $\phi(x)$, hallar la velocidad inicial $\psi(x)$ para que la solución sea un pulso propagándose hacia el sentido positivo de x sin propagación hacia el sentido negativo. Aplicar nuevamente el algoritmo para medir la velocidad de propagación de la onda en este caso. Comparar con el valor de entrada de la solución numérica.

4) **Bordes absorbentes.** Hasta ahora hemos considerado cuerdas de longitud finita. Para modelar la propagación de una onda en una cuerda infinita podríamos elegir una curda larga y estudiar la propagación antes de que la onda alcance los bordes. Sin embargo, esto produce en la mayoría de los casos un aumento del tiempo total de cálculo en el procesador. Una mejor solución es usar bordes absorbentes que reflejen la menor cantidad de energía posible. Como ya vimos, cuando $\Lambda=1$, la onda se propaga un paso espacial en un paso temporal. Por lo tanto, para aplicar la condición de borde

absorbente, la idea es colocar en el borde el valor que tendría la onda al llegar allí si no hubiera borde. En ecuaciones podemos escribir para los bordes:

$$y_1^{k+1} = y_2^k$$

$$y_{N_x}^{k+1} = y_{N_x-1}^k$$

(a) Realizar nuevamente el ejercicio 1 pero utilizando la condición de bordes absorbentes. Utilizar $\Lambda = 1$ y $\Lambda < 1$, ¿Qué sucede en este último caso? (b) Suponer que la cuerda se fuerza en $x = 0$ con un solo ciclo de sinusoide de la forma $f(t) = F_0 \sin(\omega t)$. Medir la velocidad de propagación de la onda en los casos en que (i) el otro extremo es fijo y (ii) el otro extremo es absorbente. Discutir la diferencia entre estos casos. (c) ¿Funciona la condición de borde absorbente si la ecuación de ondas incluye atenuación?