

GUI MATLAB Pistón circular plano

Oscar Alberto Natera*, Diego Andrés Rodríguez, Steven Alejandro Urbina

Ingeniería de sonido, Universidad de San Buenaventura

Bogotá, Colombia

osanaterab@academia.usbbog.edu.co

darodriguezr@academia.usbbog.edu.co

saurbinap@academia.usbbog.edu.co

RESUMEN

El presente documento describe el desarrollo de una interfaz gráfica en App designer de MATLAB orientada al análisis de la presión generada por un pistón circular plano en función de la distancia. La interfaz permite al usuario ingresar parámetros clave como la frecuencia, la velocidad volumétrica y el radio del pistón, generando una visualización de las regiones acústicas del campo cercano y lejano. Basado en el modelo del pistón plano en un baffle infinito, se analizan las variaciones de la presión sonora en función de la distancia, frecuencia y ángulo. En el campo cercano, las ondas sonoras son complejas debido a la interferencia, mientras que, en el campo lejano, la presión disminuye inversamente proporcional a la distancia y se comporta como una onda esférica. Además, se presentan los resultados de simulaciones que demuestran cómo la distancia de transición entre campo cercano y lejano, denominada r_1 , depende de la relación entre el radio del pistón y la longitud de onda, y se proporciona una tabla con los radios correspondientes a distintos puntos de máxima y mínima presión.

Palabras clave— Campo cercano, campo lejano, pistón plano, radiación acústica.

ABSTRACT

This document describes the development of a graphical interface in App designer of MATLAB aimed at analyzing the pressure generated by a circular piston in relation to distance. The interface allows users to input key parameters such as frequency, volumetric velocity, and piston radius, resulting in a visualization of the near and far acoustic field regions. Based on the model of a piston in an infinite baffle, variations in sound pressure are analyzed as a function of distance, frequency, and angle. In the near field, sound waves are complex due to interference, while in the far field, the pressure decreases inversely proportional to the distance and behaves like a spherical wave. Additionally, simulation results are presented, demonstrating how the transition distance between the near and far fields, referred to as r_1 , depends on the relationship between the piston's radius and wavelength, and a table is provided with the corresponding radii for various points of maximum and minimum pressure.

Keywords— Near field, far field, plane piston, acoustic radiation.

I. INTRODUCCIÓN

La acústica, como rama fundamental de la física, estudia la generación, propagación y recepción de las ondas sonoras. Dentro de este campo, comprender cómo las fuentes sonoras emiten y afectan al medio circundante es esencial para el desarrollo de aplicaciones en ingeniería de sonido, diseño de altavoces y sistemas de comunicación acústica. Uno de los modelos teóricos más importantes para analizar la emisión de sonido es el pistón plano en un baffle infinito.

En el libro "Fundamentos de Acústica" de Kinsler y Frey [1], se aborda detalladamente el concepto del pistón plano como una aproximación idealizada que permite simplificar el estudio de la radiación acústica. Este modelo considera un disco plano que vibra uniformemente en fase dentro de un

plano rígido e infinito, eliminando efectos complejos como la difracción en los bordes. Esta simplificación es crucial para desarrollar expresiones matemáticas que describan cómo las ondas sonoras se generan y propagan en el espacio.

El pistón plano es fundamental para entender fenómenos como la directividad y los patrones de radiación de una fuente sonora. Al analizar cómo varía la presión acústica en magnitud y fase según la frecuencia, el tamaño del pistón y el ángulo de observación es posible diseñar sistemas acústicos más eficientes y con características deseadas. Además, este modelo sirve como base para estudiar fuentes más complejas y reales, proporcionando un punto de partida sólido para ingenieros y físicos.

Este documento explorará el concepto del pistón plano, su fundamentación teórica y su comportamiento matemático tal como se presenta en el trabajo de Kinsler y Frey. Se analizará cómo la presión sonora varía en función de diferentes parámetros y se discutirán las implicaciones prácticas de este modelo en el diseño y análisis de dispositivos acústicos.

PARTE TÉCNICA

El pistón plano en un baffle infinito es un modelo fundamental en acústica utilizado para analizar la radiación de ondas sonoras desde una superficie vibrante. Este modelo idealiza un pistón circular que vibra perpendicularmente a su superficie dentro de un plano rígido e infinito, eliminando efectos como la difracción y las reflexiones en los bordes.

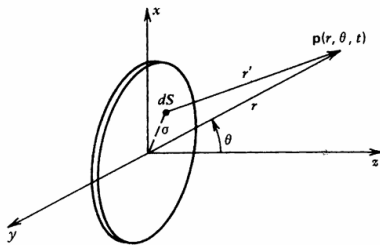


Figura 1. Pistón plano.

La presión total dado por este pistón asumiendo que, que el pistón se mueve uniformemente con una velocidad $U_o \exp(j\omega t)$. Se puede obtener de la división de la superficie del pistón en elementos infinitesimales donde cada uno de los cuales actúa como una fuente simple.

$$p(r, \theta) = \frac{j c \rho_0 U_o k}{2\pi} \int_0^s \frac{e^{j(\omega t - kr)}}{r'} ds$$

Ecuación 1. Presión total de pistón plano.

Esta integral debe cumplir que $\sigma \leq a$

Se puede realizar el cálculo Axial con respecto al eje Z que se observa en la imagen donde

$$p(r, \theta) = \frac{j c \rho_0 U_o k}{2\pi} e^{j\omega t} \int_0^a \frac{e^{-jk\sqrt{r^2 + \sigma^2}}}{\sqrt{r^2 + \sigma^2}} d\sigma$$

Ecuación 2. Presión total axial de pistón plano.

Al resolver se obtiene que

$$p(r, \theta) = 2c\rho_0 c U_o \left| \sin \left\{ \frac{1}{2} k r \left[\sqrt{1 + \left(\frac{a}{r}\right)^2} - 1 \right] \right\} \right|$$

Ecuación 3. Magnitud de la presión total axial de pistón plano.

Debido a que en muchos casos $\frac{r}{a} \gg 1$ se puede asumir lo siguiente:

$$\sqrt{1 + \left(\frac{a}{r}\right)^2} \approx 1 + \frac{1}{2} \left(\frac{a}{r}\right)^2$$

Ecuación 4. Simplificación caso 1.

Si $\frac{r}{a} \gg ka$, es decir que el punto del campo está muy lejos comparando el radio del pistón con la longitud de onda, entonces la amplitud de la presión tendrá gran similitud al inverso cuadrado.

$$p(r, \theta) = \frac{1}{2} c \rho_0 c U_o \frac{a}{r} ka$$

Ecuación 5. Simplificación caso 2 campo lejano.

Observando la ecuación 3 se pueden ver puntos de máxima y mínima presión que fluctúan entre 0 y $2c\rho_0 c U_o$. Por lo cual estos extremos de presión ocurren para distancias r.

$$\frac{r_n}{a} = \frac{1}{n} \frac{a}{\lambda} - \frac{n}{4} \frac{\lambda}{a}$$

Ecuación 6. Puntos máximos y mínimos.

Basados en la teoría del pisto plano de Kinsler procedimos a realizar una interfaz grafica en Matlab con App Designer. Donde, se le debe pedir al usuario los datos de (1) frecuencia, (2) velocidad volumétrica, (3) radio del pistón. La interfaz debe arrojar como resultados: (1) la gráfica de región cercana, y región lejana, y allí graficando el radio r1 límite entre las 2 regiones.

Asimismo, la interfaz debe generar la tabla de radios, r1, r2, r3, etc.

Por lo cual se realizo la siguiente interfaz la cual adjuntamos la siguiente imagen donde se cumplen los requerimientos para esta interfaz.

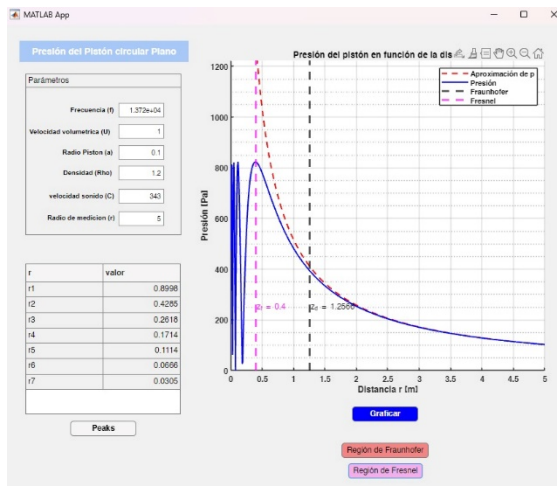


Figura 2. Interfaz gráfica pistón plano.

II. RESULTADOS

En la teoría del pistón plano, es importante distinguir entre el campo cercano y el campo lejano para entender cómo varía el comportamiento de las ondas sonoras generadas por el pistón.

- Para distancias mayores que r_1 , la presión axial disminuye de manera inversa cuadrada, por lo que se aproxima a una dependencia de $1/r$, lo cual es característico en el campo lejano, en este régimen, la radiación sonora se comporta como una onda esférica y las variaciones en presión son más simples y predecibles.
- Para distancias menores a r_1 , la presión muestra efectos de fluctuaciones, lo cual significa que nos encontramos en el campo cercano el comportamiento de la presión es mucho más complejo. la radiación en esta zona está influenciada por la interacción entre las diferentes partes del pistón, generando zonas de interferencias constructivas y destructivas.

Se puede observar como la distancia r_1 , actúa como el límite o frontera en el campo cercano, y el campo lejano. Esta distancia tiene un significado físico solo si la razón a/λ es suficiente mente grande como para que r_1 sea positivo. Esto significa que r_1 depende del radio del pistón y de la frecuencia.

Si el radio del pistón es igual a la mitad de la longitud de onda es decir $\frac{\lambda}{2} = a$, Entonces r_1 es 0, lo que significa que no existe el campo cercano como tal; todo el espacio alrededor del pistón sería considerado campo lejano.

Por lo cual al ver la interfaz se puede observar como se añade un límite en el punto máximo, el cual se conoce como r_1 y se establece como el punto hasta donde este dicho campo cercano. o región conocida como Fresnel.

III. CONCLUSIONES

En este caso se logró enfatizar la importancia de la distancia r_1 y los comportamientos de los campos en un pistón plano

como una referencia clave para dividir el campo cercano y el campo lejano. Si el pistón es relativamente pequeño o la frecuencia es baja, el campo cercano desaparece, y todo el análisis se puede hacer como si fuera un campo lejano, lo que simplifica considerablemente la predicción de la radiación acústica.

Este tipo de análisis es crucial para el diseño de sistemas de sonido, ya que permite a los ingenieros comprender dónde los modelos más simples del campo lejano son suficientes y dónde es necesario considerar los efectos complejos del campo cercano.

IV. REFERENCIAS

L. E. Kinsler, A. R. Frey, A. B. Coppens, y J. V. Sanders, *Fundamentals of Acoustics*, 4th ed. New York, NY, USA: John Wiley & Sons, 2000. [1]

L. L. Beranek, *Acoustics*, 2nd ed. Woodbury, NY, USA: Acoustical Society of America, 1996. [2]