



# Simulación del efecto acústico en el templo de Kukulcán

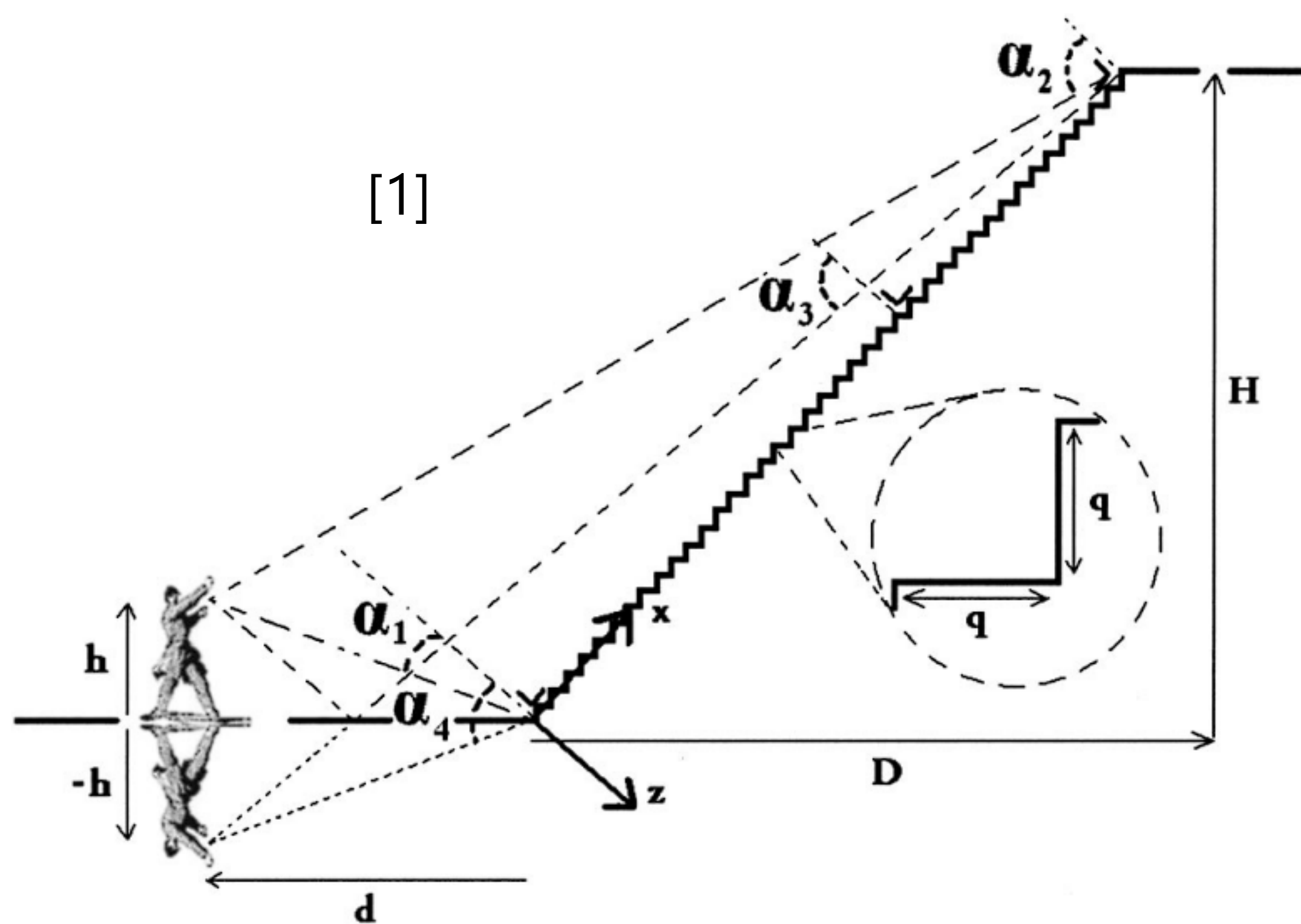
Maximiliano Gandini<sup>1</sup>, Juan Ignacio Sangiorgio<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires

## INTRODUCCIÓN

En lo que hoy es México y alrededores alguna vez se encontro la civilización Maya. Esta perduró por más de 3.000 años, dejando tras su caída unas obras de arquitectura que siguen en pie en la actualidad. Una de ellas es el templo de Kukulcán, una pirámide de 26 metros de alto dedicada a esta deidad. Además de la arquitectura, esta pirámide destaca por un interesante fenómeno acústico: al aplaudir frente a la escalera NNE el eco produce un chirrido similar al canto del quetzál, un ave local de importancia significativa en la cultura Maya.

## EL PROBLEMA



Para explicar este fenómeno, se modeló el aplauso como una onda esférica teniendo en cuenta solo el frente de onda que impactará contra la pirámide, y las reflexiones contra el piso frente a la pirámide.

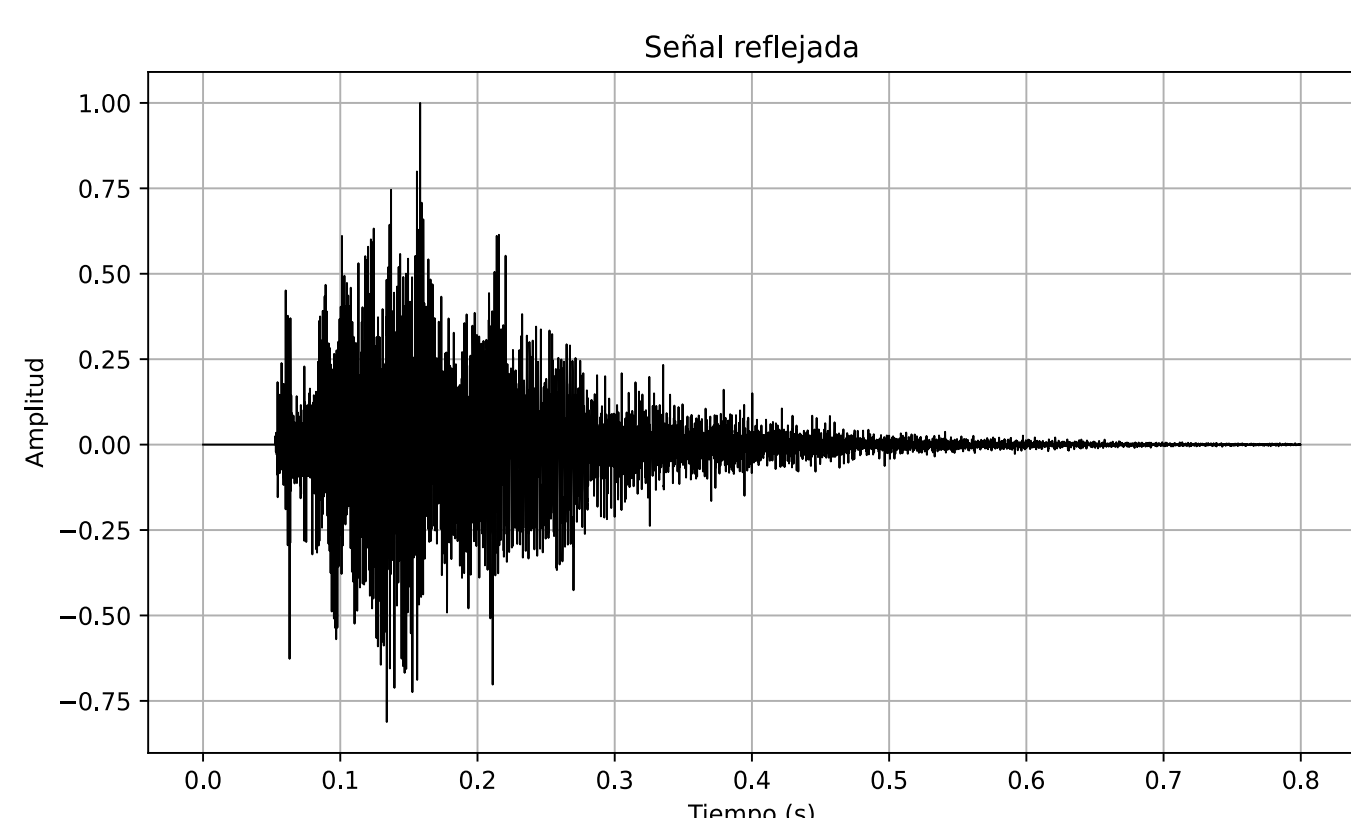
Asumiendo una relación de dispersión lineal, se estudió como este frente de onda se reflejaba contra cada escalón superponiendo las reflexiones en el punto del aplauso.

La expresión para el desplazamiento:

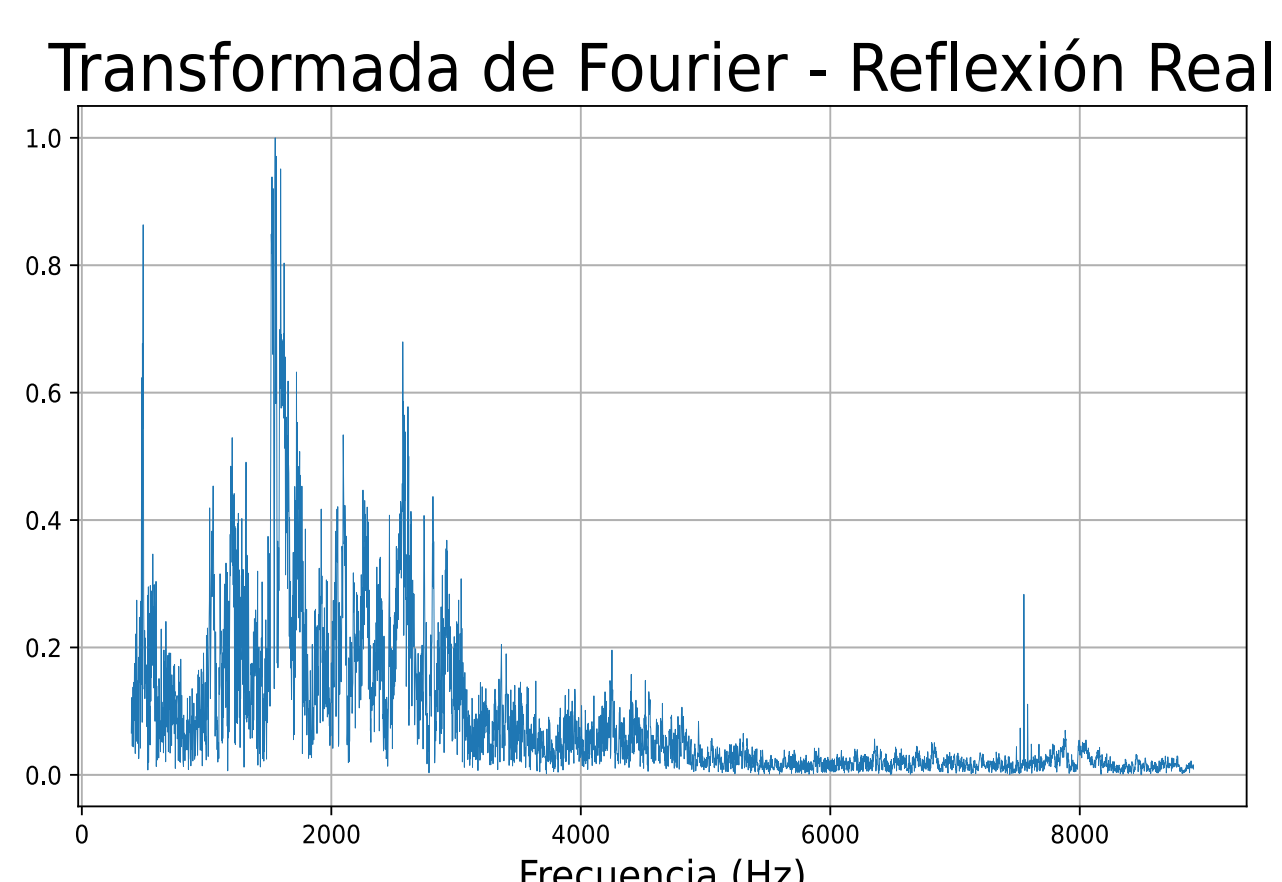
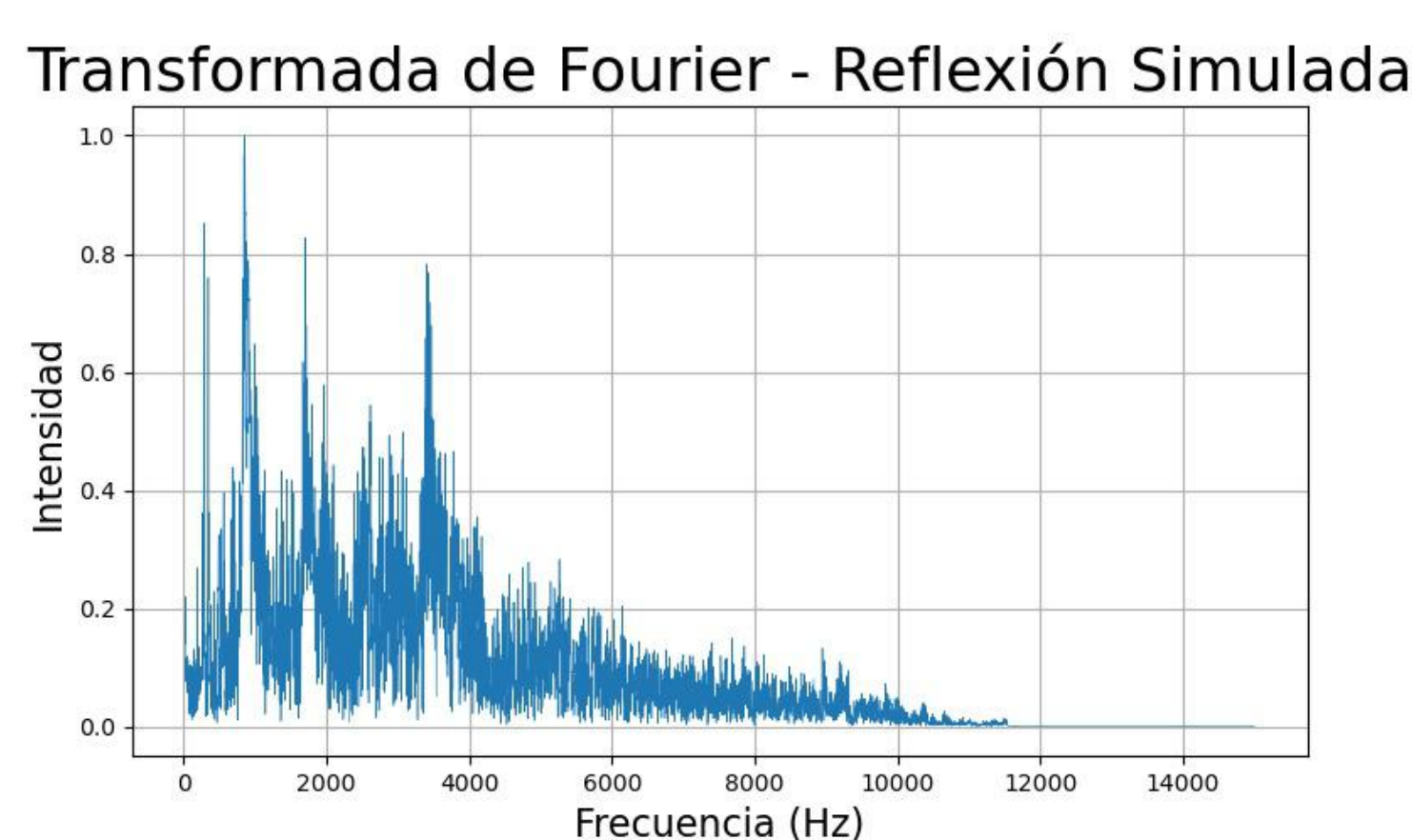
$$\psi_r = \sum_j^N \int \sqrt{2\pi} F(\omega) e^{i(2k_z h - \omega(t - 2t_j))} d\omega$$

$$\text{Con: } k_z = \frac{(n+1)\pi + \omega t_j}{(d + jq) + \left| (j + \frac{1}{2})q - h \right|} \quad \text{Y: } F(\omega) = \frac{(d + jq) + \left| (j + \frac{1}{2})q - h \right| A(\omega_n)}{c\pi\sqrt{2\pi}} e^{i(2k_z h - \omega(t - 2t_j))}$$

## RESULTADOS

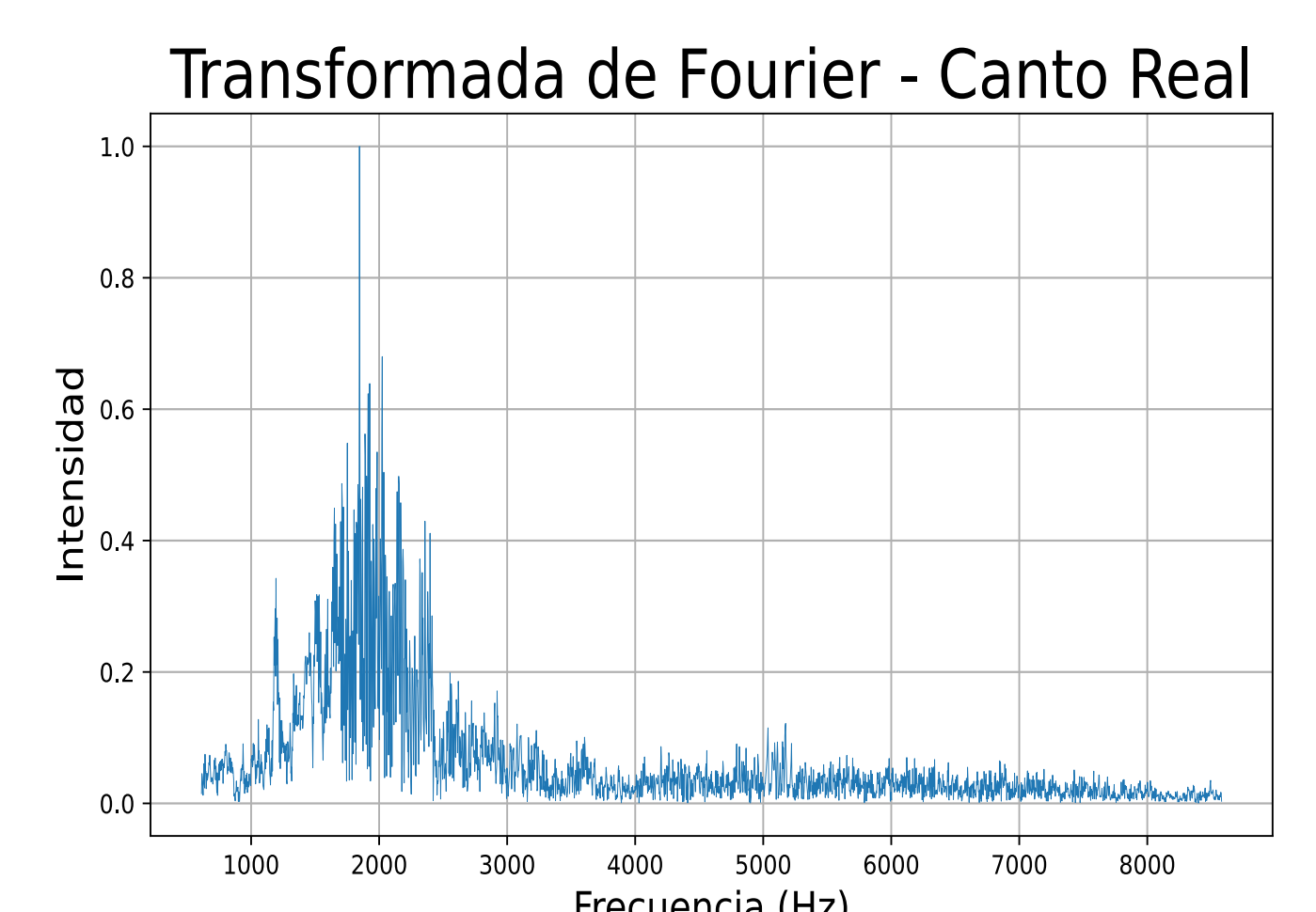
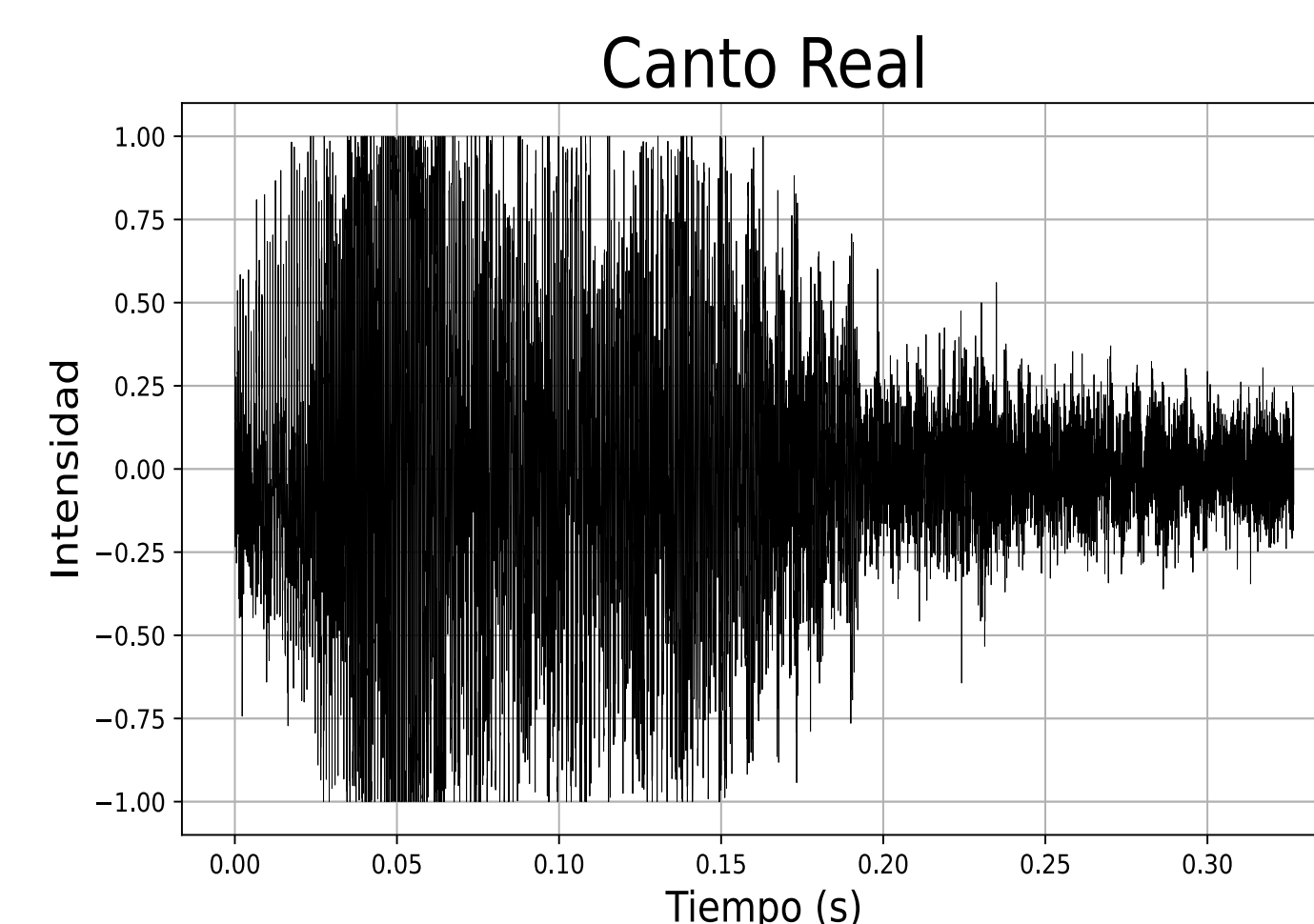


Sonido reflejado:  
Se observa un pequeño intervalo de silencio hasta que las ondas vuelven al observador y se obtiene un pulso que dura aproximadamente 0.3s.



Si bien las diferencias en ruido son notables, la simulación comparte un pico característico con la reflexión real alrededor de los 500 Hz. El la banda situada en 1500 Hz (o 1800 Hz en algunos casos), que posee la reflexión real, parece provenir de una banda característica típica en los aplausos.

## CANTO REAL Y OTROS ESTUDIOS



### Declercq (2004)

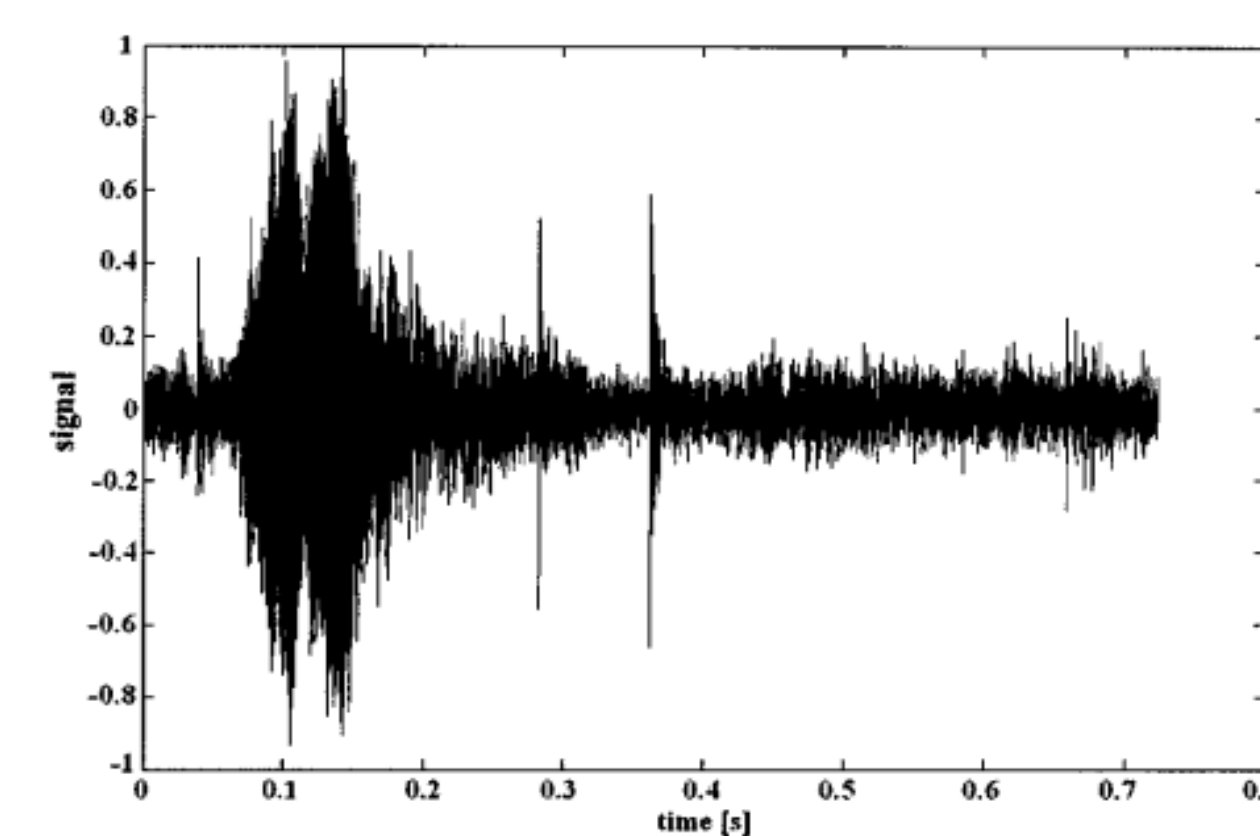


FIG. 3. Normalized recorded signal produced by a Quetzal bird in the forest.

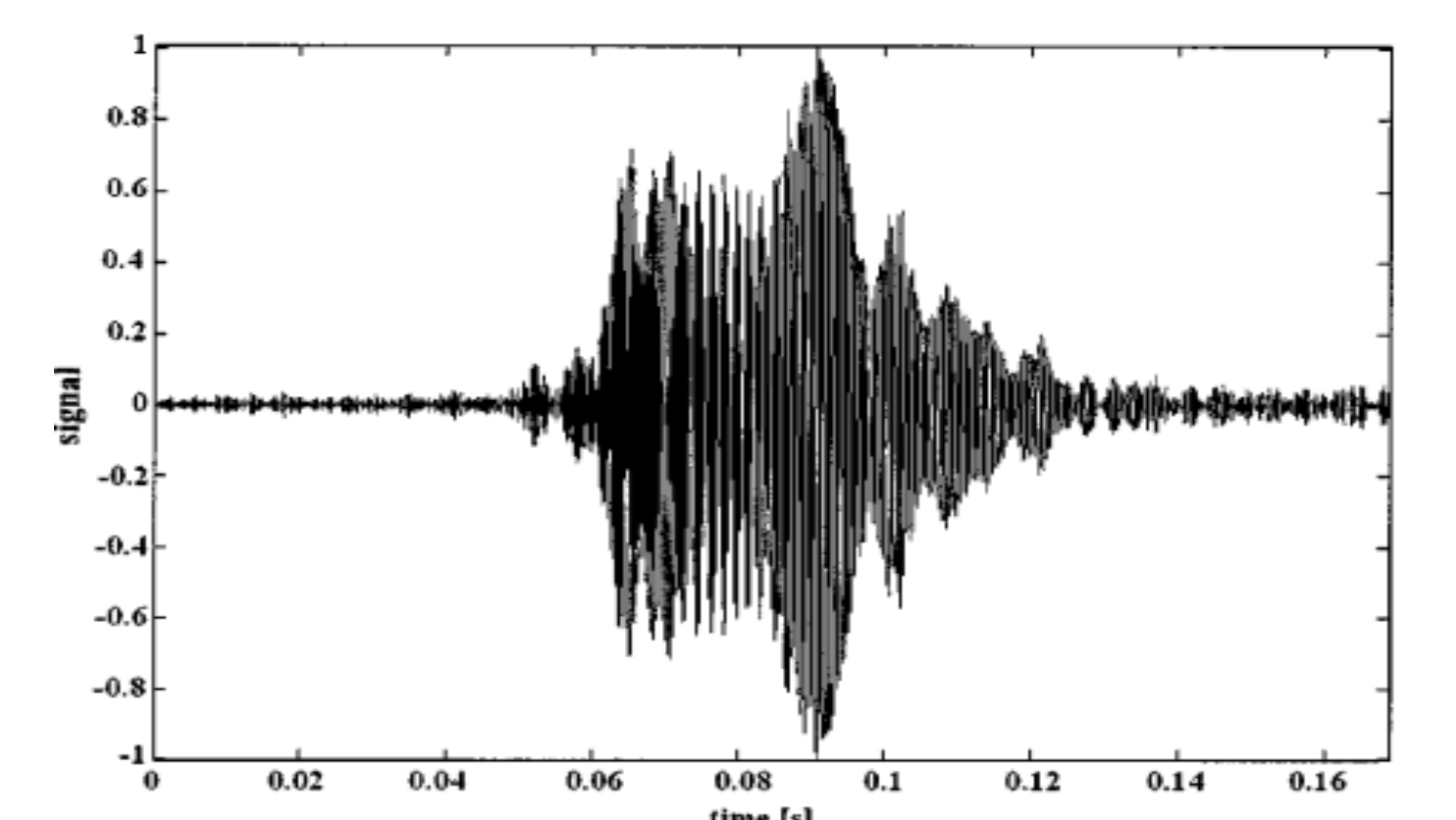


FIG. 2. Normalized calculated direct echo coming from a delta pulse.

Declercq en 2004 realizó una serie de simulaciones utilizando la teoría de ondas no homogéneas, difractadas sobre superficies rugosas (grating).

## MEJORAS AL MODELO

► Tener en cuenta la selectividad en frecuencias del material de las escaleras al reflejar las ondas (Declercq 2004).

► Considerar reflexiones entre escalones (Las cuales podrían estar generando interferencia) y las reflexiones en las paredes de la pirámide.

## Referencias

[1] Nico F. Declercq, Joris Degrieck, "A theoretical study of special acoustic effects caused by the staircase of the El Castillo pyramid at the Maya ruins of Chichen-Itza in Mexico", J. Acoust. Soc. Am. 116, 3328–3335 (2004).