



Javier David Jiménez Laffont
Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería,
Universidad Anáhuac México Norte
jdlaffont10@gmail.com



Jean Pablo Ledezma González
Ingeniería Biomédica, Universidad
Anáhuac México Norte
jean.biomedica@gmail.com



Michelle Giraud Villalón
Ingeniería Biomédica,
Universidad Anáhuac México Norte
michellegvi@gmail.com



Isabel Wiechers
Fernández del Castillo
Ingeniería Biomédica,
Universidad Anáhuac México Norte
isabetwfc@gmail.com



Hernando Efraín Caicedo Ortiz
Departamento de Ciencias Básicas,
Facultad de Ingeniería,
Universidad Anáhuac México Norte
hernando.caicedo@anahuac.mx

INTRODUCCIÓN

Las ondas mecánicas son una temática de la física que tiene un gran campo de aplicación en el campo de la ingeniería. Fenómenos como la propagación de ondas son estudiados en los cursos regulares de física, pero pocas veces los estudiantes logran obtener una alta comprensión de estos fenómenos. Un fenómeno de gran interés es el efecto Doppler, en el cual un aparente cambio de frecuencia de onda es presentado por una fuente de sonido con respecto a su observador, cuando esa misma fuente se encuentra en movimiento. El efecto Doppler se aplica tanto a las ondas de luz como a las ondas sonoras. La luz de una fuente que se mueve hacia el observador tiene su frecuencia desplazada hacia arriba, y la luz de algo que se aleja se desplaza hacia abajo. Cuando la fuente de ondas y el observador están en movimiento relativo, la frecuencia de las ondas observadas es distinta a la frecuencia de las ondas emitidas. Los frentes de ondas que emite la fuente son esferas concéntricas, la separación entre las ondas es menor hacia el lado en el cual el emisor se está moviendo y mayor del lado opuesto. Para el observador, en reposo o en movimiento esto corresponde a una mayor o menor frecuencia. Si el observador se aproxima a la fuente por la derecha notará una longitud de onda aún menor (o una mayor frecuencia) y lo contrario advertirá si se aleja de la fuente. La ecuación que relaciona la frecuencia emitida por la fuente y la recibida por el observador es:

$$f' = \frac{v + v_0}{v - v_s} \cdot f_0$$

Diagrama de la ecuación de Doppler:

- f' : Frecuencia percibida
- f_0 : Frecuencia emitida
- v : Velocidad de propagación de la onda
- v_0 : Velocidad del observador
- v_s : Velocidad de la fuente

MATERIAL Y MÉTODO

La representación del efecto Doppler se modela con el software OpenScad, el cual permite construir modelos en 3D para posteriormente generar una impresión de este sistema a escala.

El código usado es el siguiente:

```
// File doppler.scad
// An OpenSCAD model of a snapshot of the waves
// around a moving object

// The model is based on the waves models in
// Volume 1 of 3D Printed Science Projects
// Rich "Whosawhatsis" Cameron, December 2016
// Units: lengths in mm, angles in degrees
// per OpenSCAD conventions
// This program creates a res*xmax mm by res*yymax rectangle
// As shown here will be 100 mm square.

// Model only valid for subsonic objects(mach<1)

mach=.5; // mach number - must be less than 1.0
frequency=20; // frequency - increase to show more waves
// setting frequency to high for the mach number will
// result in sampling artifacts
amplitude=.5; // Height of wave peaks on either side of the base plane, mm
thickness=2; // thickness of the slab, mm
xmax=199; // max dimension in x (before scaling by res)
ymax=199; //max dimension in y (before scaling by res)
res=.5; // scaling factor

// This function calculates a cosine wave with doppler shift:
function f(x, y)=amplitude * cos(r(x, y) / sin(theta(x, y)
+asin(sin(theta(x, y)) * mach)) * sin(theta(x, y)) * frequency);

// These two functions convert x/y values to polar coordinates:
function r(x, y, center=[xmax/2, ymax/2])=sqrt(pow(center[0] - x, 2)
+pow(center[1] - y, 2));
function theta(x, y, center=[xmax/2, ymax/2])=atan2((center[1] - y),
(center[0] - x));

// The rest of the model is the same as the
// wave model in Volume 1.
// It creates and interpolates a surface z=f(x,y)
// 3D printer conventions are that z is vertical -
// The model is rotated at the end
// so that the (x, y) surface is vertical, not horizontal
// This gives better print quality and allows for a wave
// surface on both sides of a print
// without support

topoints=(xmax+1) * (ymax+1);

center=[xmax/2, ymax / 2];

points=concat(
// top face
[for(y=[0:ymax], x=[0:xmax]) [x, y, f(x, y)]],
[thick ? //bottom face
[for(y=[0:ymax], x=[0:xmax]) [x, y, f(x, y) - thick]]
:
[for(y=[0:ymax], x=[0:xmax]) [x, y, 0]]
]);

zbounds=[
min([for(i=points) i[2]]),
max([for(i=points) i[2]])
];

function quad(a, b, c, d, r=false)=r ?
[[a, b, c], [c, d, a]]:
[[c, b, a], [a, d, c]]; //create triangles from quad

faces=concat(
//build top and bottom
[for(
bottom=[0, toppoints],
s1=[for(x=[0:xmax - 1],
y=[0:ymax - 1])
quad(
x+(xmax+1) * (y+1)+bottom,
x+(xmax+1) * y+bottom,
x+1+(xmax+1) * y+bottom,
x+1+(xmax+1) * (y+1)+bottom,
bottom
)], v=1) v],
//build left and right
[for(i=[for(x=[0:xmax - 1], y=[0:ymax - 1])
quad(
x+(xmax+1) * y+toppoints,
x+(xmax+1) * y,
x+(xmax+1) * (y+1),
x+(xmax+1) * (y+1)+toppoints,
x
)], v=1) v],
//build front and back
[for(i=[for(x=[0:xmax - 1], y=[0, ymax])
quad(
x+(xmax+1) * y+toppoints,
x+1+(xmax+1) * y+toppoints,
// prevent an incorrect model from being generated
if(i>mach && mach>-1) {
// Scale and rotate the print
rotate([90, 0, 0]) scale([res, res, 1]) {
polyhedron(points, faces);
}
} else echo("mach number must be less than 1");
// end model
```

RESULTADOS

Al correr el código y realizar un proceso de depuración de los errores se obtiene una representación 3D de este fenómeno, tal como se observa en las siguientes figuras.

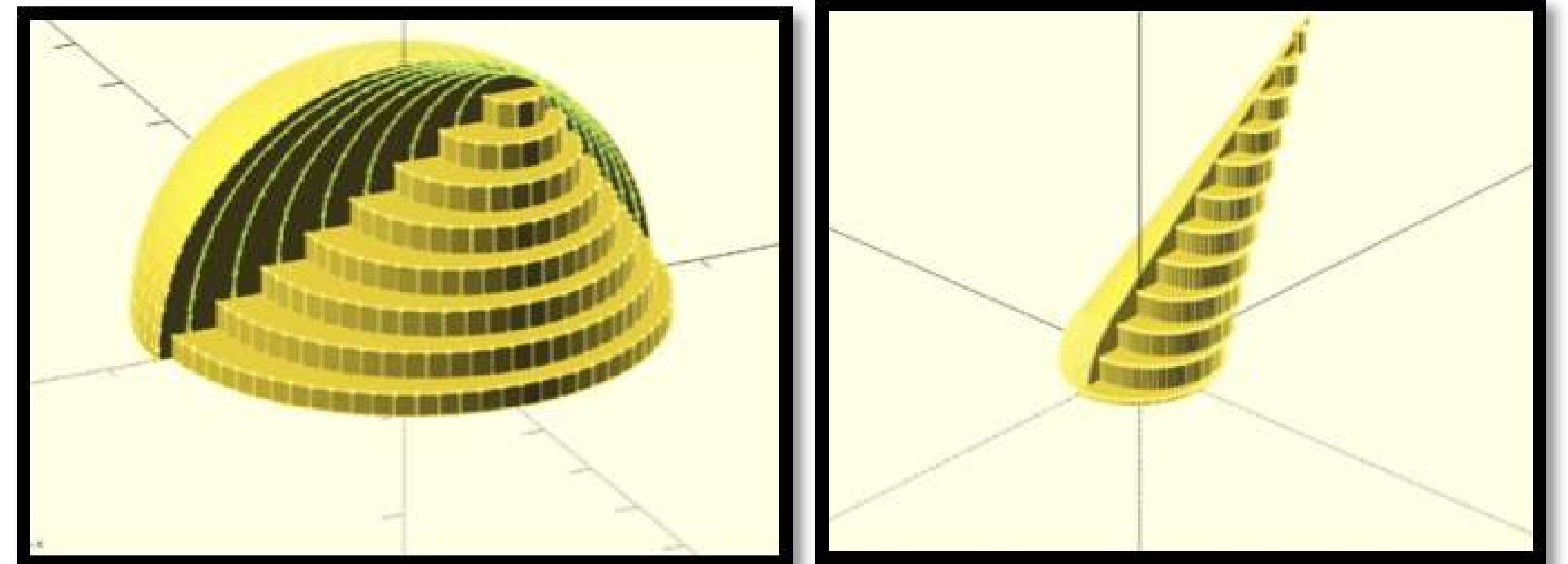


Figura 1. Modelado del efecto Doppler en la aplicación OpenScad

La impresión en 3D de estos modelos se presenta en las figuras.

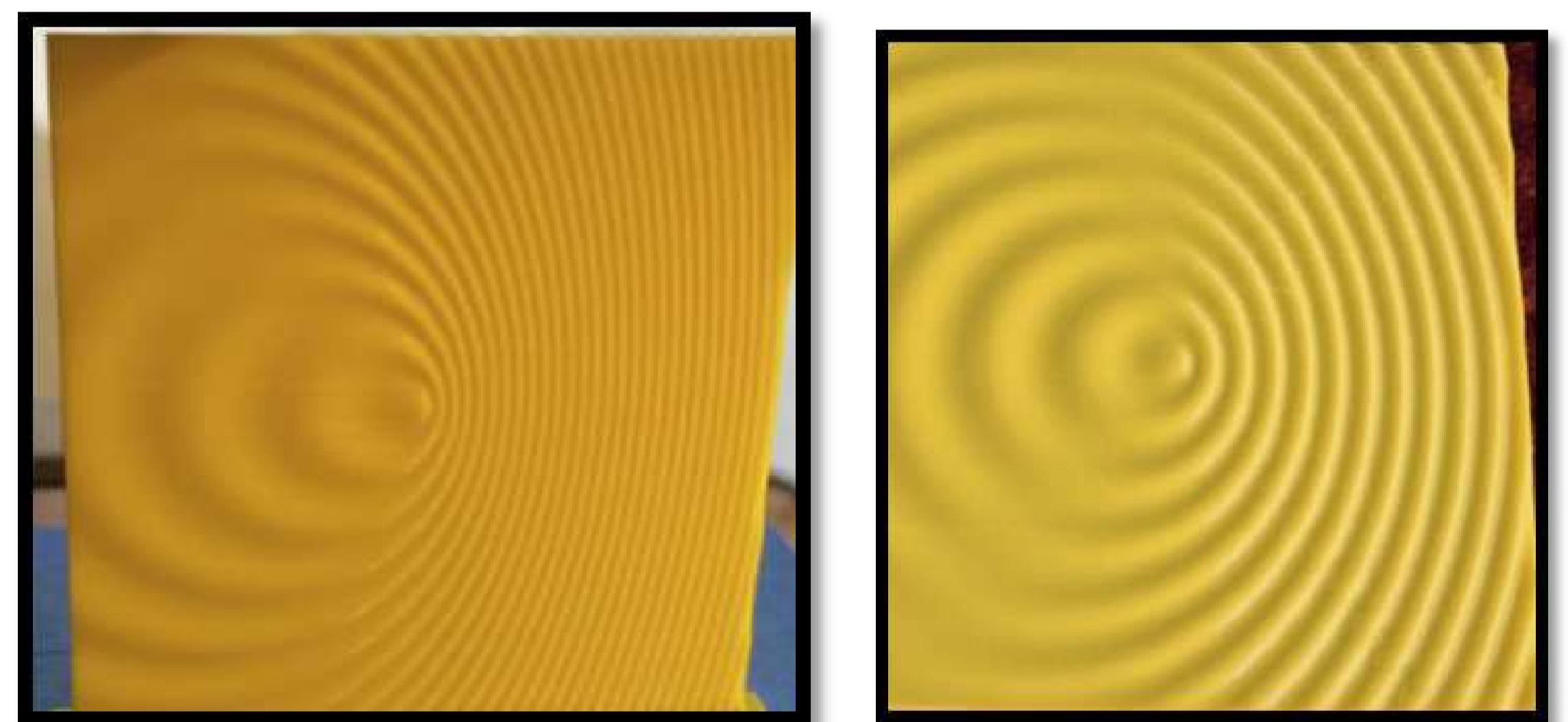


Figura 2. Impresión 3D del efecto Doppler, modelado en OpenScad

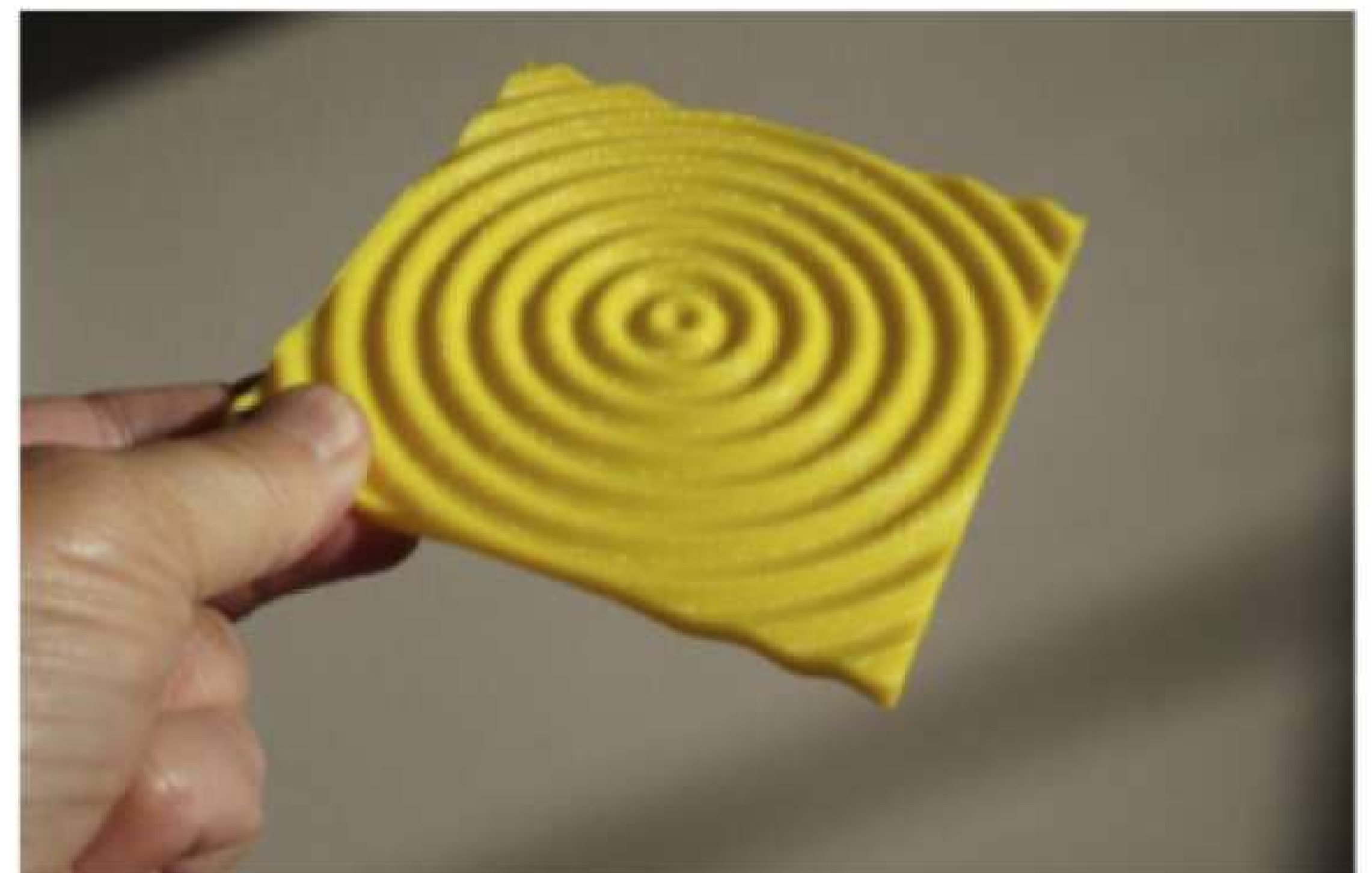


Figura 3. Impresión 3D de una onda propagándose en un medio mecánico. El modelo fue realizado en OpenScad

DISCUSIÓN

Al construir una representación en 3D de este fenómeno físico, resulta altamente ilustrativo cómo se realiza la propagación del sonido a ciertas velocidades, permitiendo comprender qué otras variables se ven afectadas por el del efecto Doppler.

REFERENCIAS

1. Horvath J, Cameron R. 3D Printed Science Projects 1. New York: Apress; 2017.
2. Horvath J, Cameron R. 3D Printed Science Projects 2. New York: Apress; 2017.