Autora: Mª Victoria Gómez Bifante

HOLOGRAFÍA DIGITAL FUERA DE EJE

Método de Fourier o técnica de filtrado

[1]:
```
import cv2
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from matplotlib.colors import LogNorm
from scipy import cluster, constants, fftpack, integrate
```

1 Creamos las gradillas y presentamos los parámetros fijos

[2]:
```
N = 1650; #número máximo de píxeles  recogidos de la imagen en la dirección x
M = 1160; #número máximo de píxeles  recogidos de la imagen en la dirección y
deltax, deltay = (0.001, 0.001); #distancia entre píxeles
X = np.linspace(0,1,num = N+1);
Y = np.linspace(0,1,num = M+1);
x, y = np.meshgrid(X, Y); #creación del sistema N x M
theta = np.pi/4;  #angulo interferencial 1 (rad)
lamb = 632.8 *10**(-8); #longitud de onda (632.8 nm)
z =  N * deltax**(2) / lamb #distancia de propagación hasta el holograma
k = (2*np.pi) /lamb; #vector de propagacion en (rad/m)
```

2 Definimos las funciones que vamos a utilizar

[3]:
```
def UnitBox(coordenate1, coordenate2):
    n1 = coordenate1.ndim;
    n2 = coordenate2.ndim;
    Radius= np.sqrt(coordenate1**2 + coordenate2**2);
    Disk = np.zeros_like((Radius));
    limit = 1/2;
    if (n1 == 1 & n2 == 1):
        for ii in range(0,N-1):
            if  ((coordenate1[ii] <= limit) & (coordenate1[ii] >= -limit)):
                Disk[ii] = 1.0;
    elif (n1 == 2 & n2 == 2):
        for ii in range(0,N-1):
            for jj in range(0,N-1):
                if  (Radius[ii][jj] < limit):
                    Disk[ii][jj] = 1.0;
    return Disk
```

```
def filter_VanderLught(I_F_): # Filtro de VanderLught

    N_2 = int(N/2);
    M_2 = int(M/2);
    Ux = np.arange(-N_2, N_2+1);
    Uy = np.arange(-M_2, M_2+1);
    [ux, uy] = np.meshgrid(Ux, Uy);
    f = 100;
    filtered_signal = (ux > (f - f//2 ))*(ux < (f  + f//2));

    return filtered_signal
```

3 Extraemos la información de la imagen

[4]:
```
img = cv2.imread('holography_test_image_rgb.jpeg', cv2.IMREAD_UNCHANGED); #␣
 ↪equivale a la matriz de variación de amplitud de la onda objeto
img_rgb = np.float64(img); #añadimos precisión
print('Dimensiones originales de la imagen: ',img.shape);
print('Número total de dimensiones: ',img.ndim);
plt.imshow(img, extent=[-N, N, -M, M])
plt.title("Imagen Original")
plt.xlabel("píxeles recogidos en la coordenada x")
plt.ylabel("píxeles recogidos en la coordenada y")
```

```
Dimensiones originales de la imagen:  (1161, 1651, 3)
Número total de dimensiones:  3
```

[4]:
```
Text(0, 0.5, 'píxeles recogidos en la coordenada y')
```

4 La transformamos a blanco y negro

[5]:
```
img = cv2.resize(img, (N, M));
img_g = cv2.imread('holography_test_image_rgb.jpeg', cv2.IMREAD_GRAYSCALE); #␣
 ↪miminizamos la información de la amplitud
img_gray = np.float64(img_g); #añadimos precisión
print('Dimensiones de la imagen en blanco y negro: ',img_gray.shape);
print('Número total de dimensiones de la imagen en blanco y negro: ',img_gray.
 ↪ndim);
A_0= np.fft.fftshift(np.fft.fft2(img_gray)); #amplitud distribución de amplitud␣
 ↪del haz objeto
plt.imshow(img_g, cmap = 'gray', extent=[-N, N, -M, M])
plt.title("Imagen en la escala de grises")
plt.xlabel("píxeles recogidos en la coordenada x")
plt.ylabel("píxeles recogidos en la coordenada y")
```

```
Dimensiones de la imagen en blanco y negro:  (1161, 1651)
Número total de dimensiones de la imagen en blanco y negro:  2
```

[5]:
```
Text(0, 0.5, 'píxeles recogidos en la coordenada y')
```

5 Intensidad de la interferencia en el dominio espacial

[6]:
```
UO = img_gray * np.exp(1j*np.pi/2*UnitBox(X,X))*np.exp(1j*k*x*np.sin(theta));␣
↪#haz objeto
UO= UO/ np.max(UO); #normalizamos
UO_abs = np.abs(UO)**2; #devuelve valores absolutos de la matriz UO
UO_abs = np.where(UO_abs > 0.0000000001, UO_abs, -10); #transformamos UO a␣
↪escala logarítmica
UO_log = np.log10(UO_abs, out=UO_abs, where=UO_abs > 0);
UR = np.exp(1j*k*x); #haz de referencia
UR= UR/ np.max(UR); #normalizamos
```

[7]:
```
I = np.abs(UO + UR)**2; #intensidad resultante de la interferencia entre UO y UR
```

6 Intensidad de la interferencia en el dominio frecuencial

[8]:
```
I_F= np.fft.fftshift(np.fft.fft2(np.fft.fftshift(I))) #distribución de amplitud␣
↪del haz objeto inicial
I_F_abs = np.abs(I_F); # calculamos el valor absoluto de la intensidad en el␣
↪plano de Fourier
I_F_log = 20 * np.log10(I_F_abs); #lo convertimos a la escala logratimica
```

7 Aplicamos el filtro sobre la intensidad espectral

[9]:
```
fil= filter_VanderLught(I_F)
G = I_F *fil; # G es la distribución de amplitud resultante tras aplicar el␣
 ↪filtro
G_abs = np.abs(G) #calculamos los valores absolutos de la matriz G
G_abs_ = np.where(G_abs > 0.0000000001, G_abs, -10);
G_log = np.log10(G_abs, out=G_abs, where=G_abs > 0); #transformamos G a escala␣
 ↪logarítmica
```

8 Reconstrucción de la onda objeto

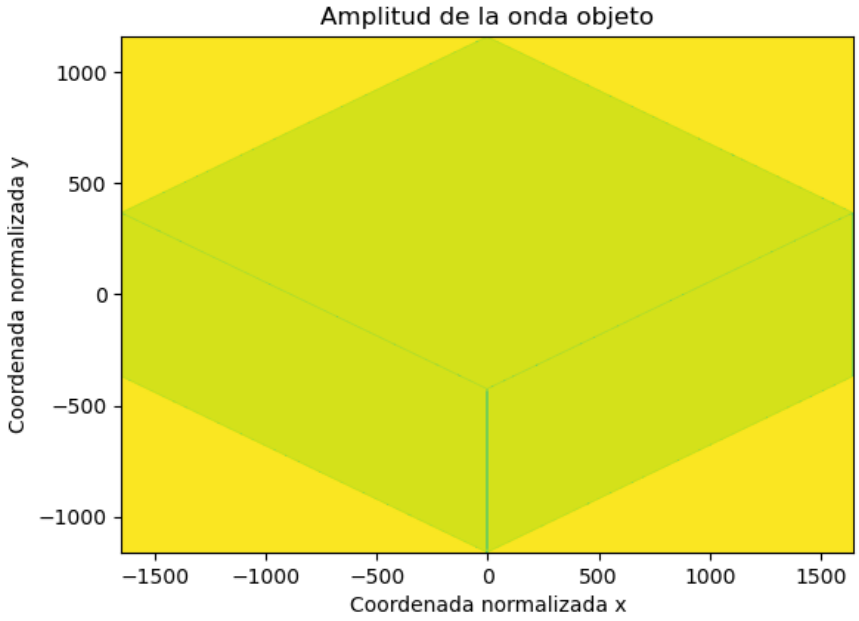
[10]:
```
G = np.fft.ifftshift(np.fft.ifft2(np.fft.ifftshift(G )))
CF = UR * G;
CF_abs = np.abs(CF) #devuelve valores absolutos de la matriz CF
CF_abs_ = np.where(CF_abs > 0.0000000001, CF_abs, -10);
CF_log = np.log10(CF_abs, out=CF_abs, where=CF_abs > 0); #transformamos CF a␣
 ↪escala logarítmica para tener información más precisa
```

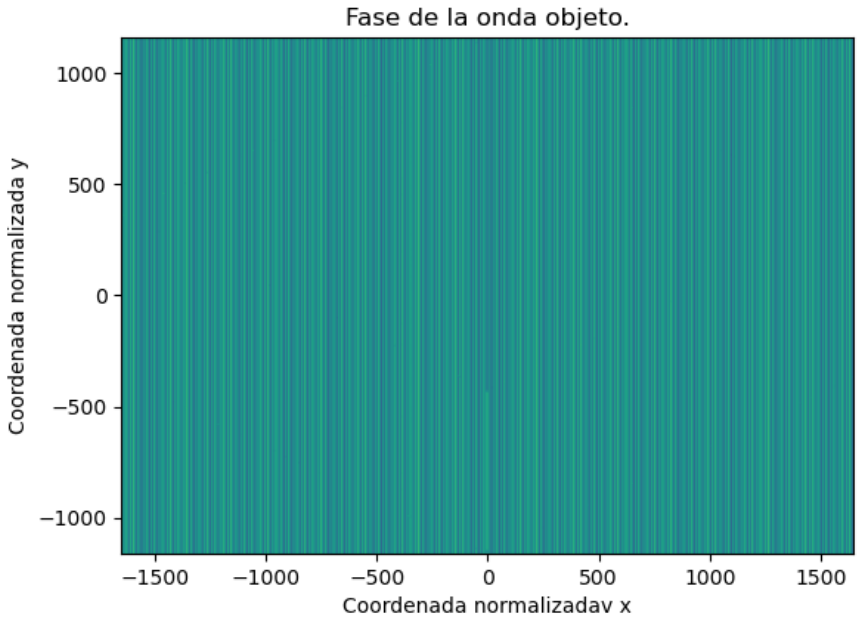
9 Representación de los resultados

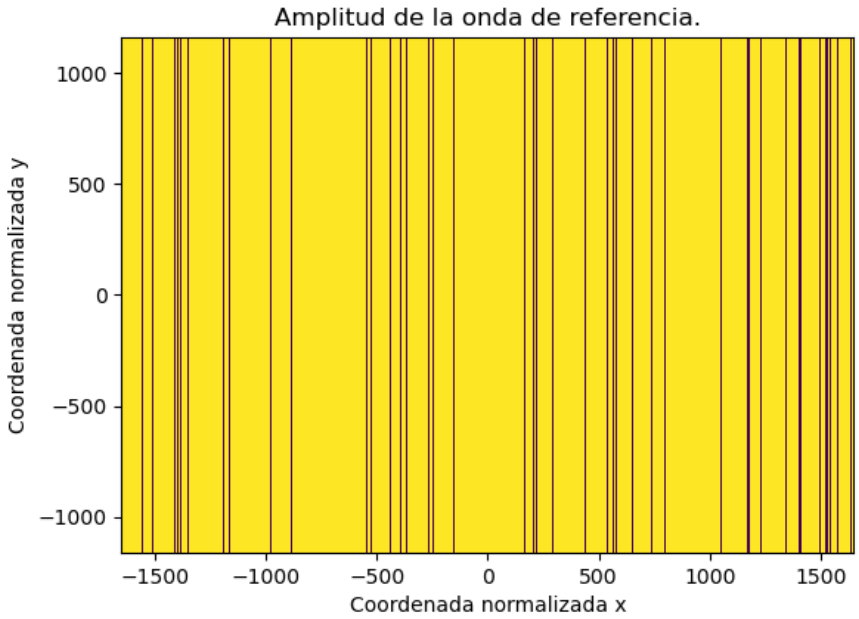
[11]:
```
plt.figure()
plt.subplot()
plt.imshow(UO_log, extent=[-N, N, -M, M])
plt.title('Amplitud de la onda objeto')
plt.xlabel("Coordenada normalizada x")
plt.ylabel("Coordenada normalizada y")

plt.figure()
plt.subplot()
plt.imshow(np.angle(UO), extent=[-N, N, -M, M])
plt.title('Fase de la onda objeto.')
plt.xlabel("Coordenadav normalizadav x")
plt.ylabel("Coordenada normalizada y")

plt.figure()
plt.subplot()
plt.imshow(np.abs(UR), extent=[-N, N, -M, M])
plt.title('Amplitud de la onda de referencia.')
plt.xlabel("Coordenada normalizada x")
plt.ylabel("Coordenada normalizada y")

plt.figure()
plt.subplot()
plt.imshow(np.angle(UR), extent=[-N, N, -M, M])
```

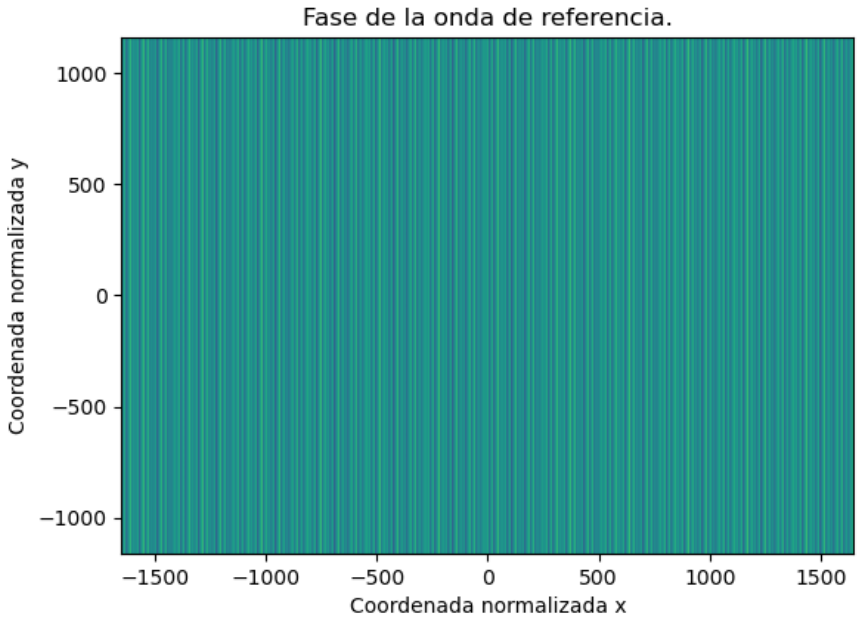
```
plt.title('Fase de la onda de referencia.')
plt.xlabel("Coordenada normalizada x")
plt.ylabel("Coordenada normalizada y")

plt.figure()
plt.subplot()
plt.imshow(I, extent=[-N, N, -M, M])
plt.title('Holograma resultante de la interferencia')
plt.xlabel("Coordenada normalizada x")
plt.ylabel("Coordenada normalizada y")
```

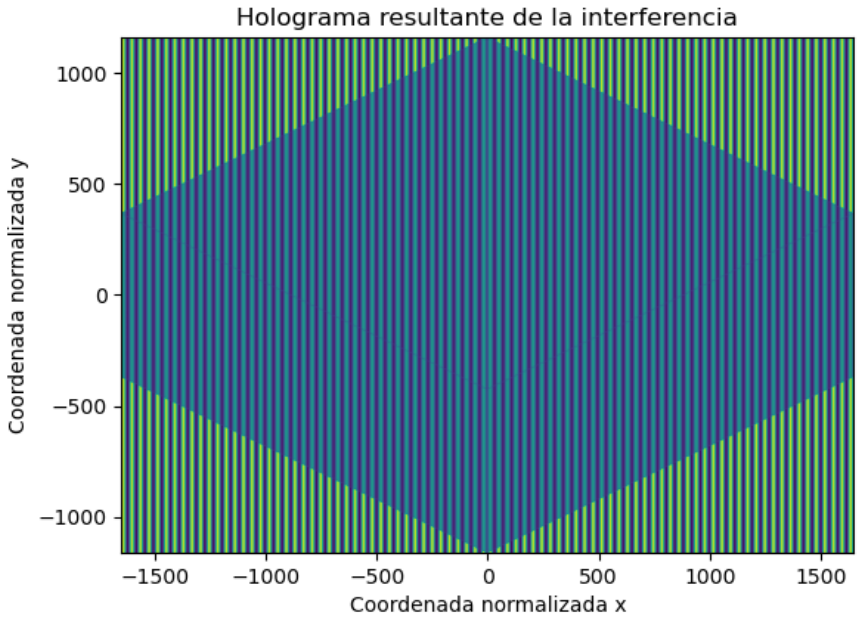
[11]: Text(0, 0.5, 'Coordenada normalizada y')




Fase de la onda objeto.
1000
500
0
−500
−1000
Coordenada normalizada y
−1500
−1000
−500
0
500
1000
1500
Coordenada normalizadav x


Amplitud de la onda de referencia.
1000
500
0
−500
−1000
Coordenada normalizada y
−1500
−1000
−500
0
500
1000
1500
Coordenada normalizada x

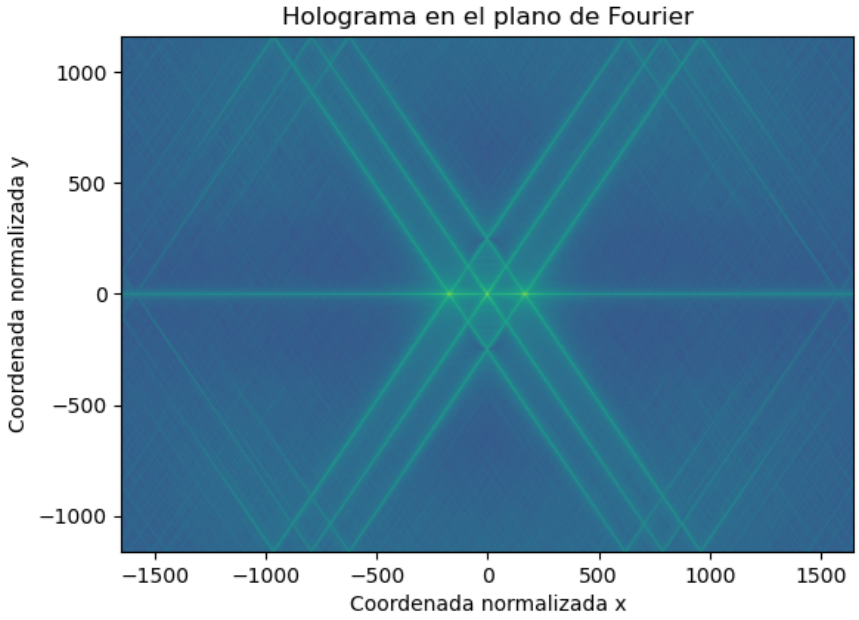


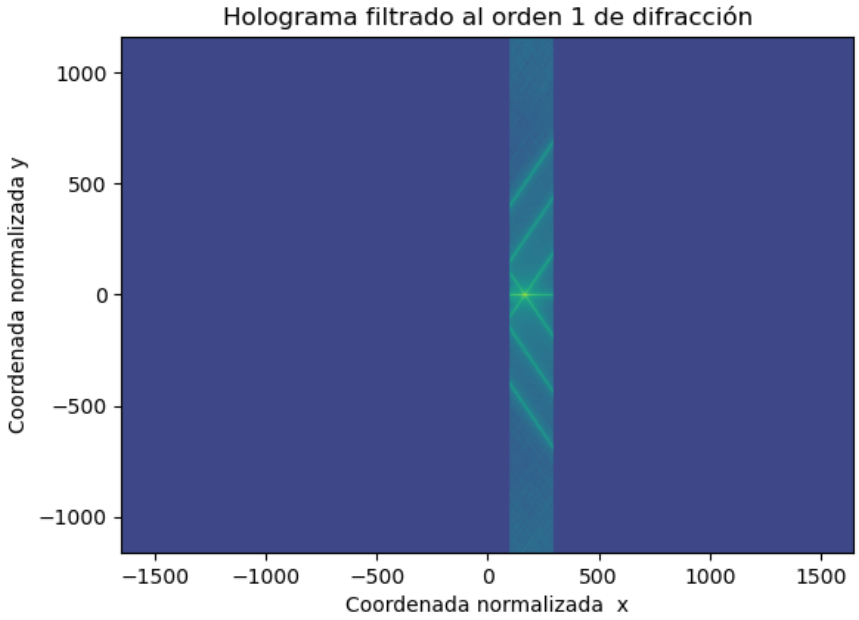


[12]:
```
plt.figure()
plt.imshow(I_F_log, extent=[-N, N, -M, M])
plt.title("Holograma en el plano de Fourier")
plt.xlabel("Coordenada normalizada x")
plt.ylabel("Coordenada normalizada y")

plt.figure()
```

```
plt.imshow(G_log, extent=[- N, N, -M, M])
plt.title("Holograma filtrado al orden 1 de difracción")
plt.xlabel("Coordenada normalizada  x")
plt.ylabel("Coordenada normalizada y")
```

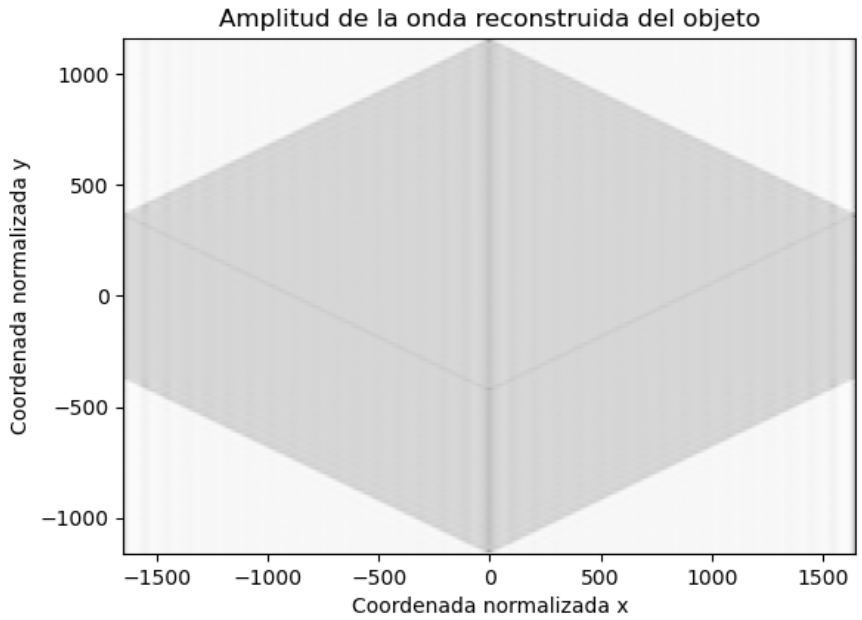
[12]: Text(0, 0.5, 'Coordenada normalizada y')

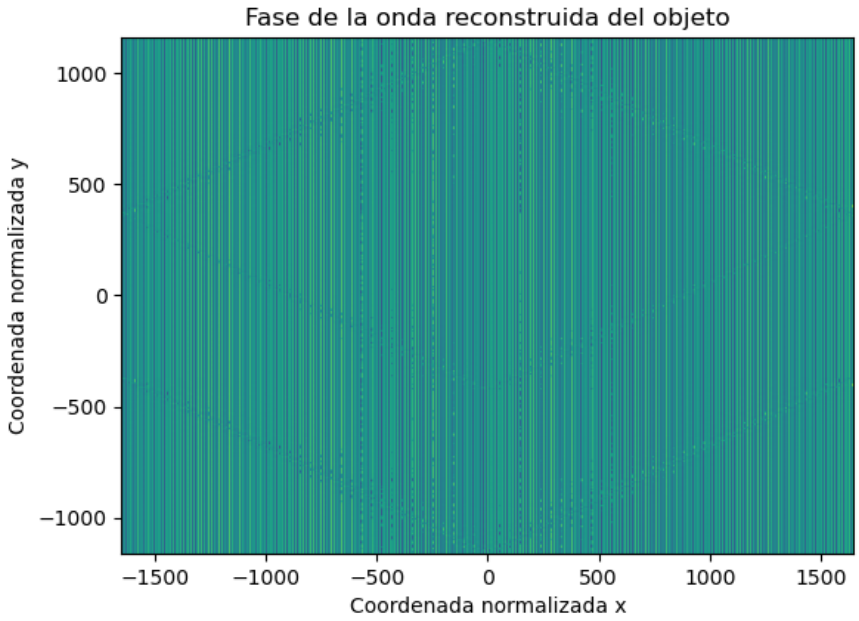




[13]:
```
plt.figure()
plt.subplot()
plt.imshow(CF_log, cmap = 'gray', extent=[-N, N, -M, M])
plt.title("Amplitud de la onda reconstruida del objeto")
plt.xlabel("Coordenada normalizada x")
plt.ylabel("Coordenada normalizada y")

plt.figure()
plt.subplot()
plt.imshow(np.angle(CF), extent=[-N, N, -M, M])
plt.title("Fase de la onda reconstruida del objeto")
plt.xlabel("Coordenada normalizada x")
plt.ylabel("Coordenada normalizada y")
```

[13]:
```
Text(0, 0.5, 'Coordenada normalizada y')
```





Tal y como se esperaba, el método de Fourier pierde información en la reconstrucción.