

# **Radar de Onda Continua**

---

Héctor Cuevas Esteban

Ivan Iturat Beltrán

Francisco Javier Toral Zamorano

Daniel Montesano Martínez

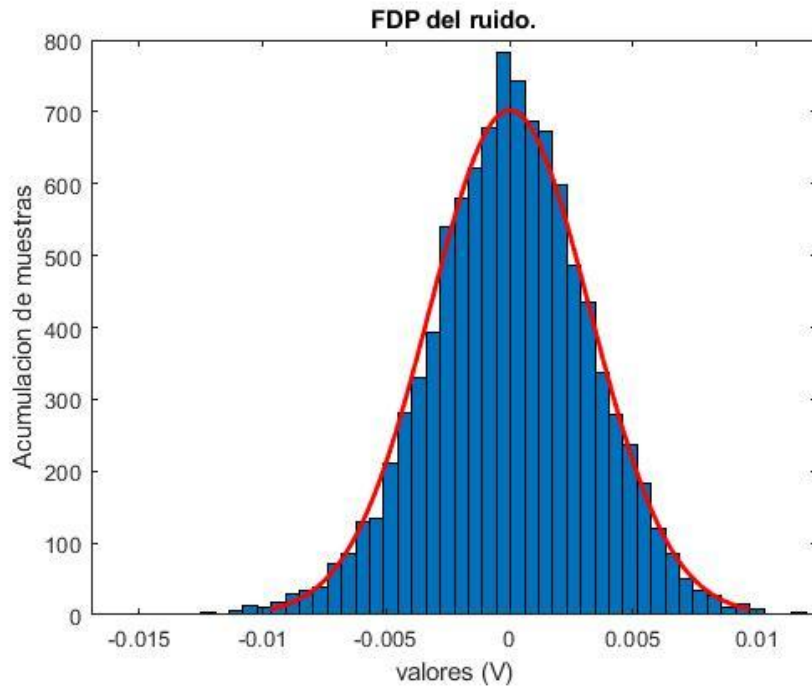
Grupo C

# Índice

1. Ejercicio 1
2. Ejercicio 2
3. Ejercicio 3
4. Ejercicio 4
5. Ejercicio 5
6. Ejercicio 6

Anexo. Códigos

# 1. Ejercicio 1 (I)

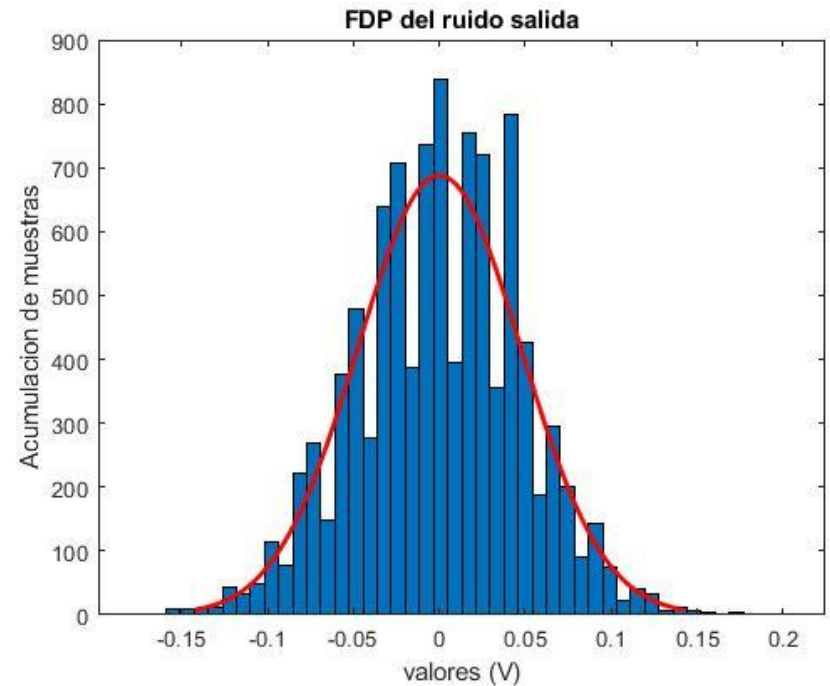


Escala  $\pm 200\text{mV}$

Potencia de ruido  $-49.79\text{ dBW}$

Distribución gaussiana de media nula

El ruido de cuantificación supera al ruido térmico

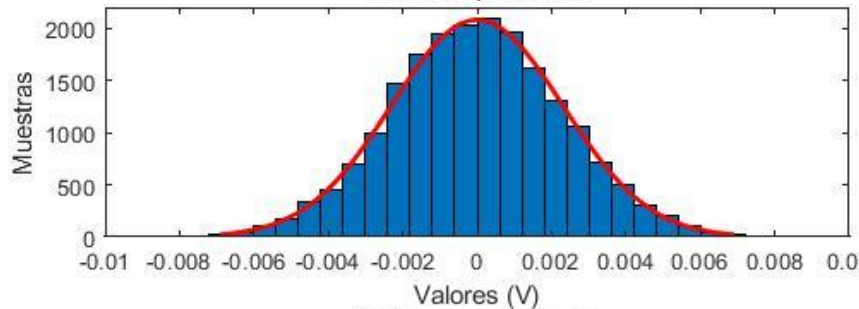


Escala  $\pm 40\text{V}$

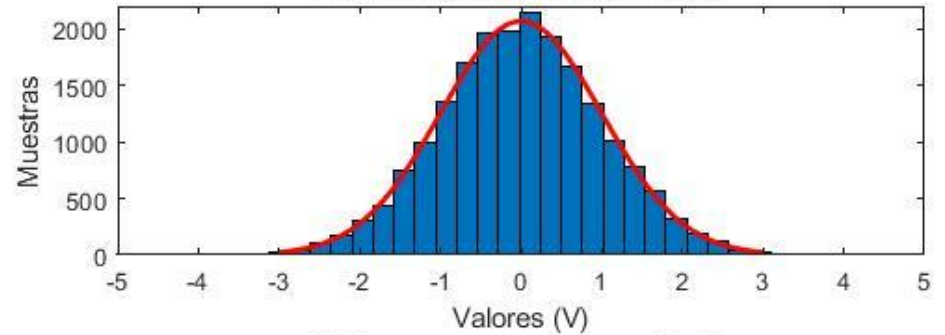
Potencia de ruido  $-26.45\text{ dBW}$

# 1. Ejercicio 1 (II)

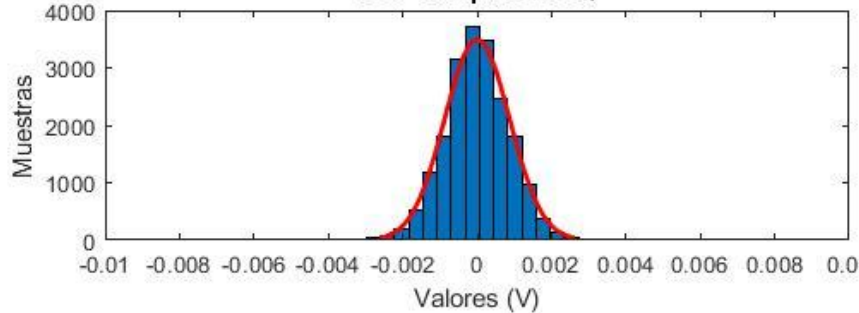
**FDP componente I**



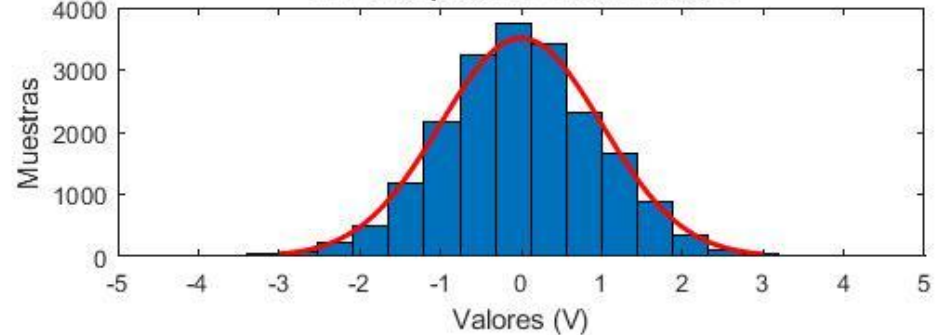
**FDP componente I normalizada**



**FDP componente Q**



**FDP componente Q normalizada**

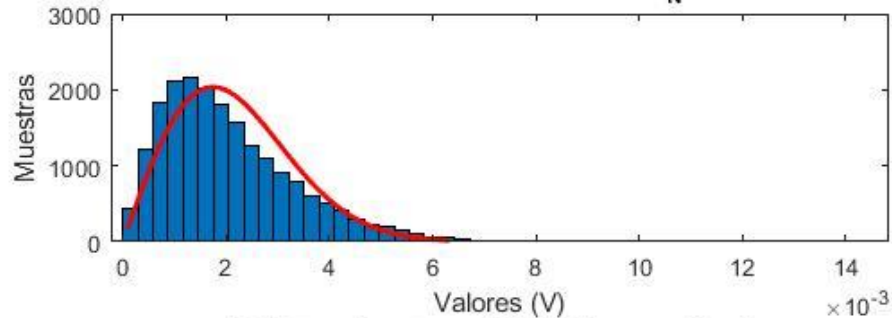


La componente en cuadratura tiene una función más comprimida

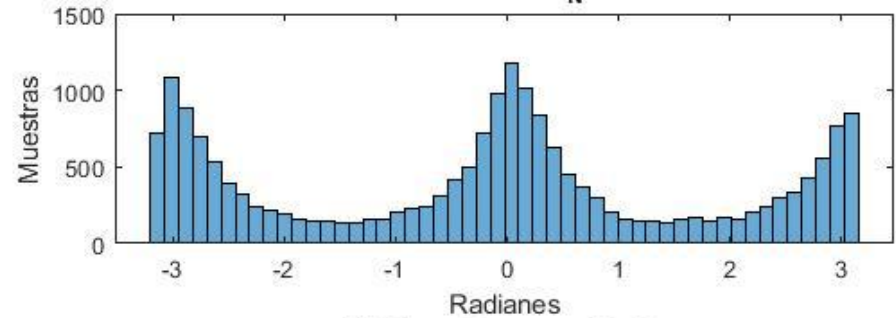
Se normaliza por su desviación típica

# 1. Ejercicio 1 (III)

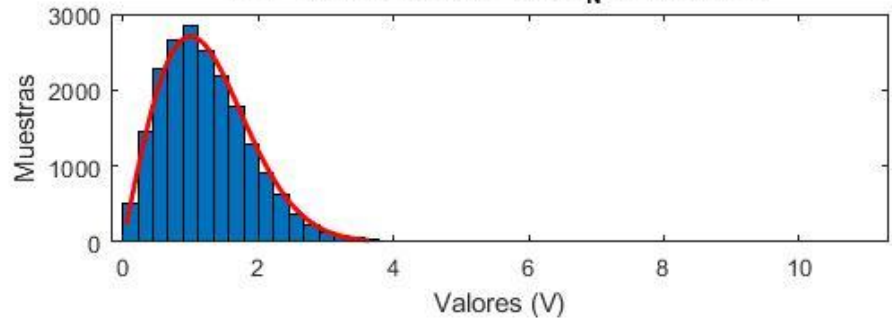
FDP Envolvente o módulo  $V_N$



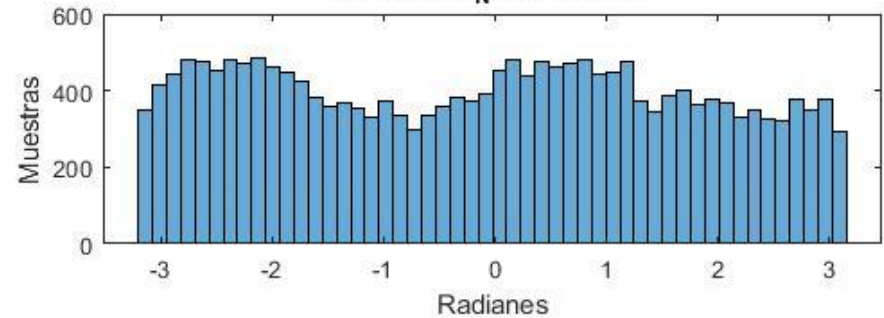
FDP fase  $\Phi_N$



FDP Envolvente o módulo  $V_N$  normalizada



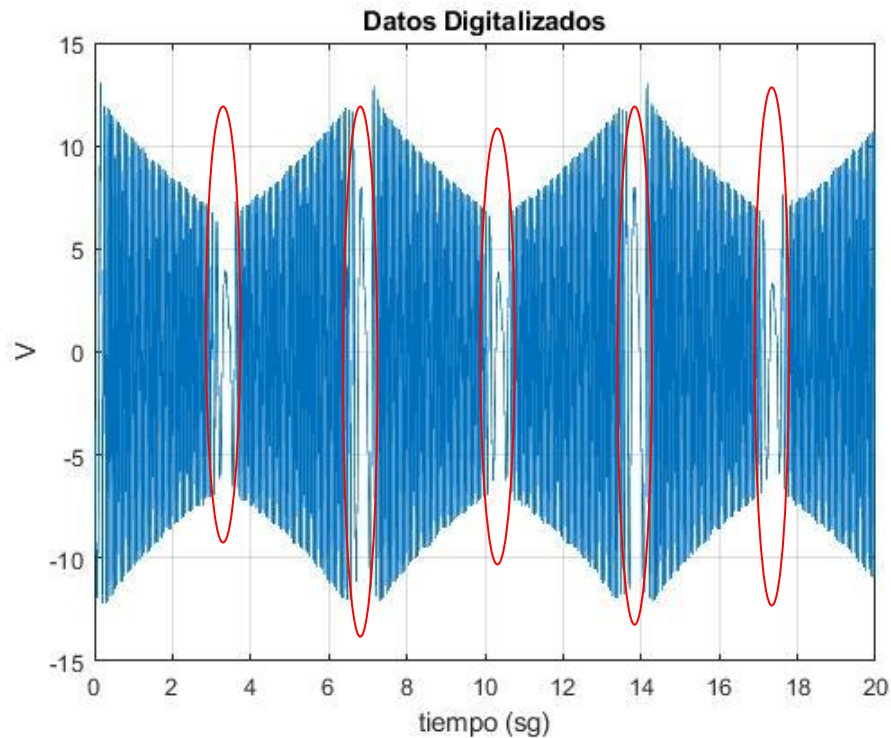
FDP fase  $\Phi_N$  normalizada



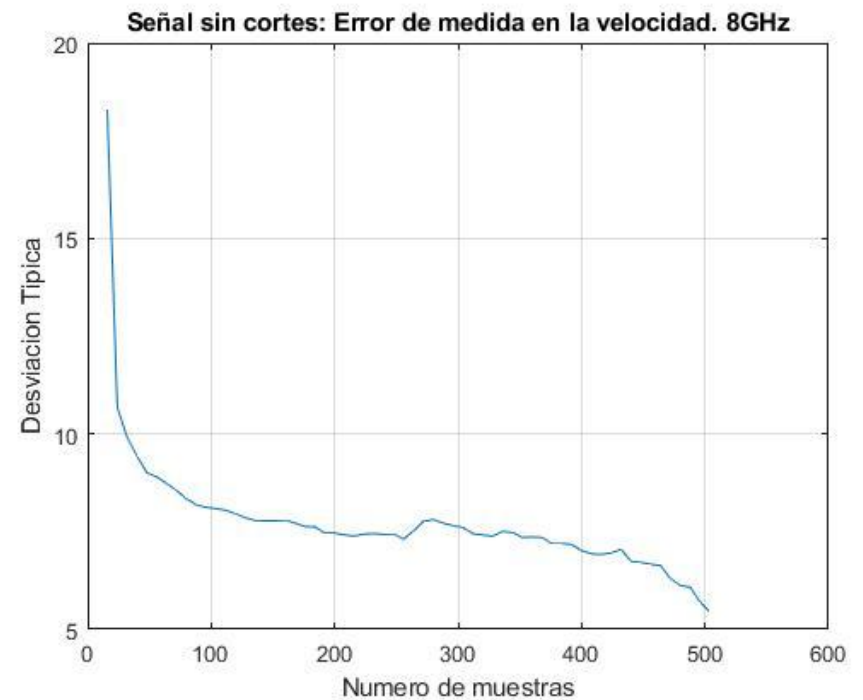
La envolvente sigue una distribución Rayleigh

La fase es una variable aleatoria uniformemente distribuida entre 0 y  $2\pi$

## 2. Ejercicio 2 (I)



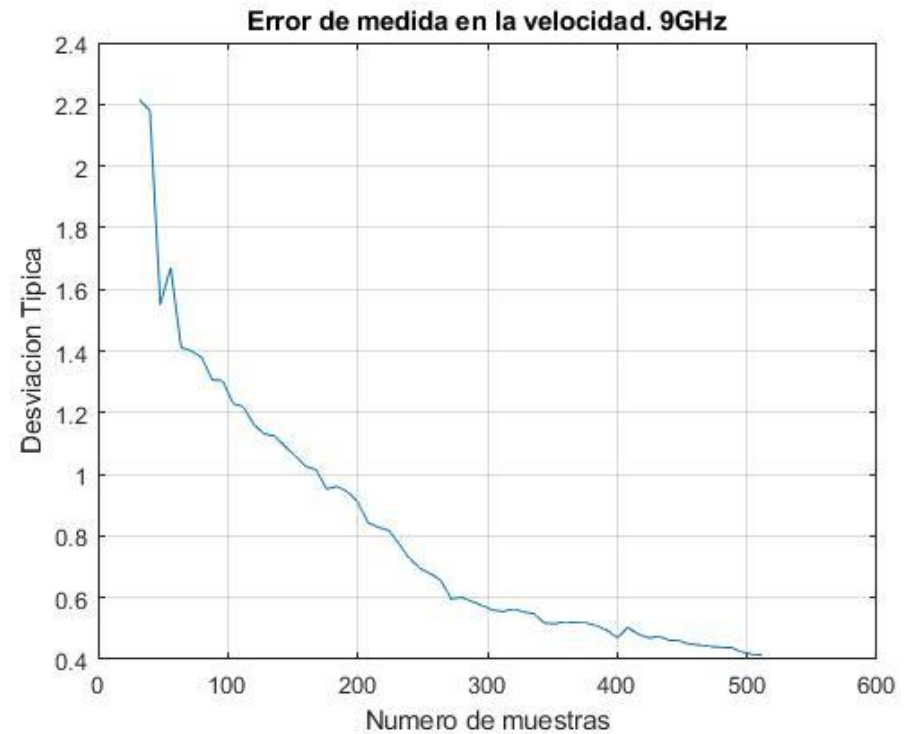
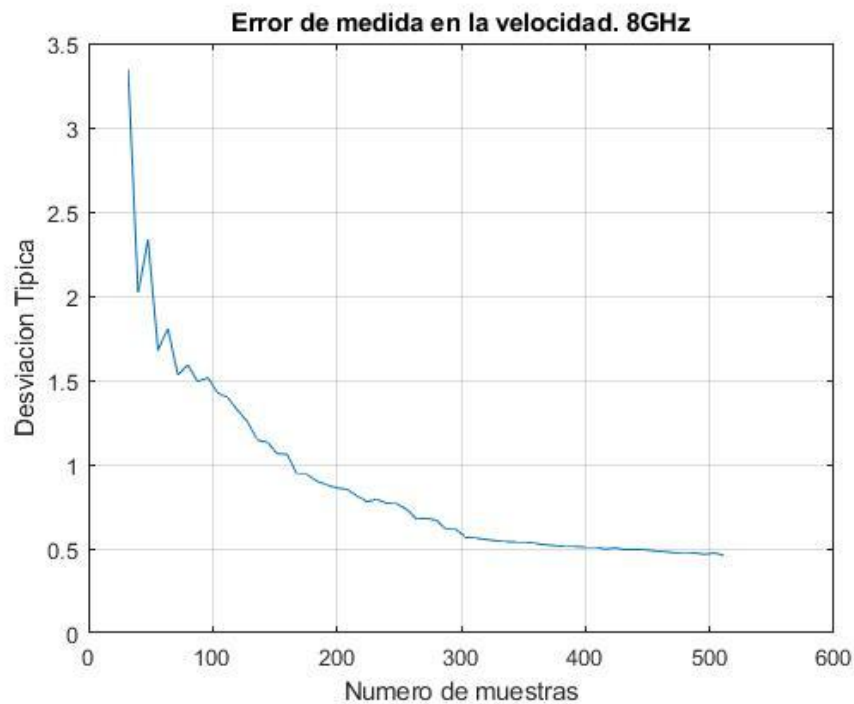
Los cambios de sentido en el movimiento del blanco implican que la estimación de la velocidad no sea correcta



## 2. Ejercicio 2 (II)

- Se ha optado por analizar los intervalos donde el blanco está en movimiento

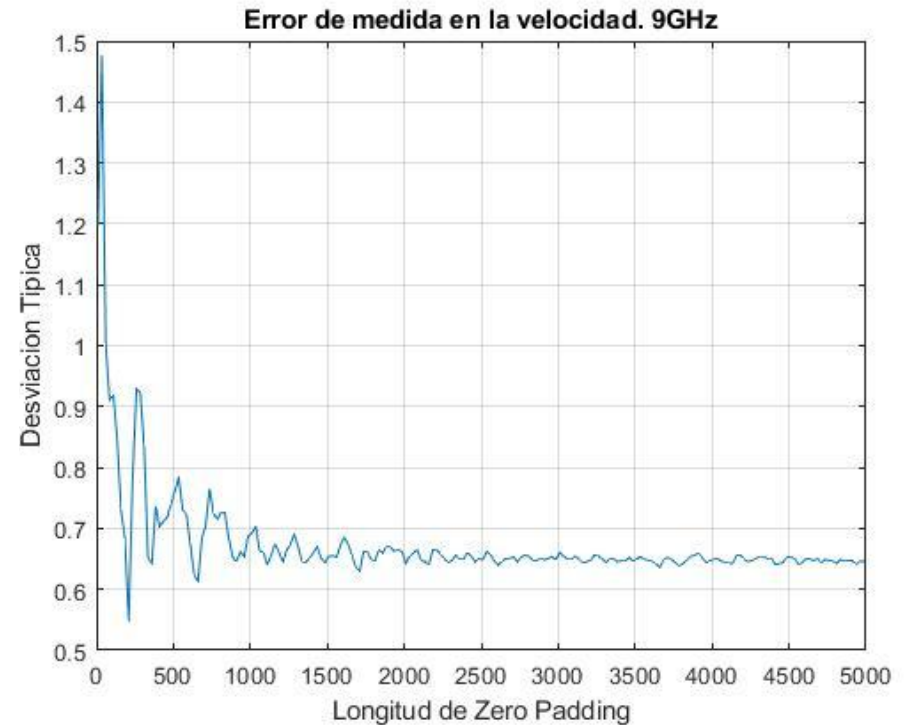
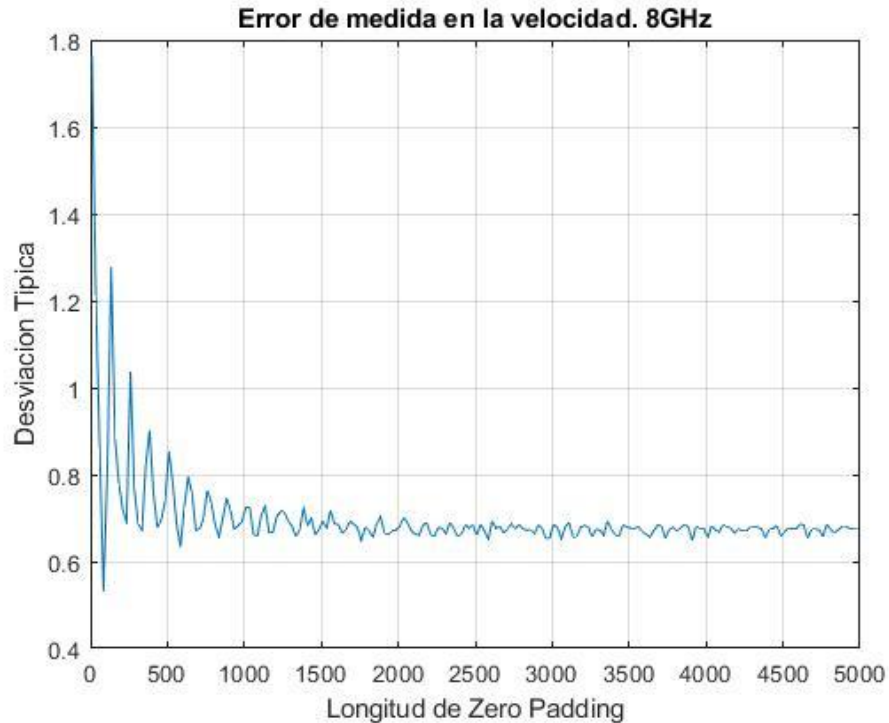
Desviación típica en función del número de muestras:



## 2. Ejercicio 2 (III)

Desviación típica en longitud del zero-padding utilizado para la FFT

El número de muestras escogido para la FFT influye en el valor al que tiende la desviación típica

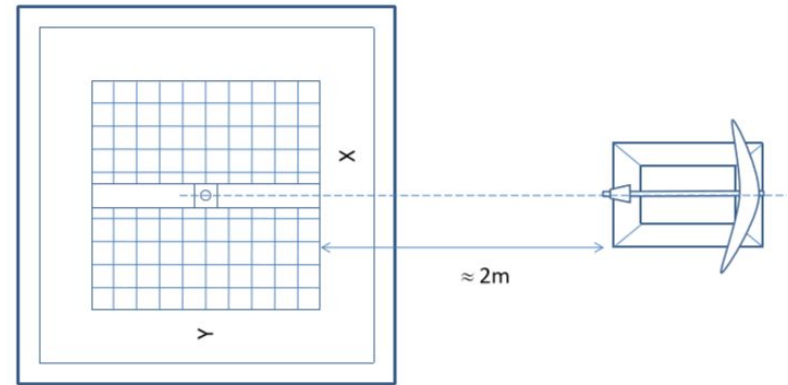




### 3. Ejercicio 3 (I)

- Variación de la potencia ecos  $\leftrightarrow$  Ecuación radar.
- Ecuación radar:

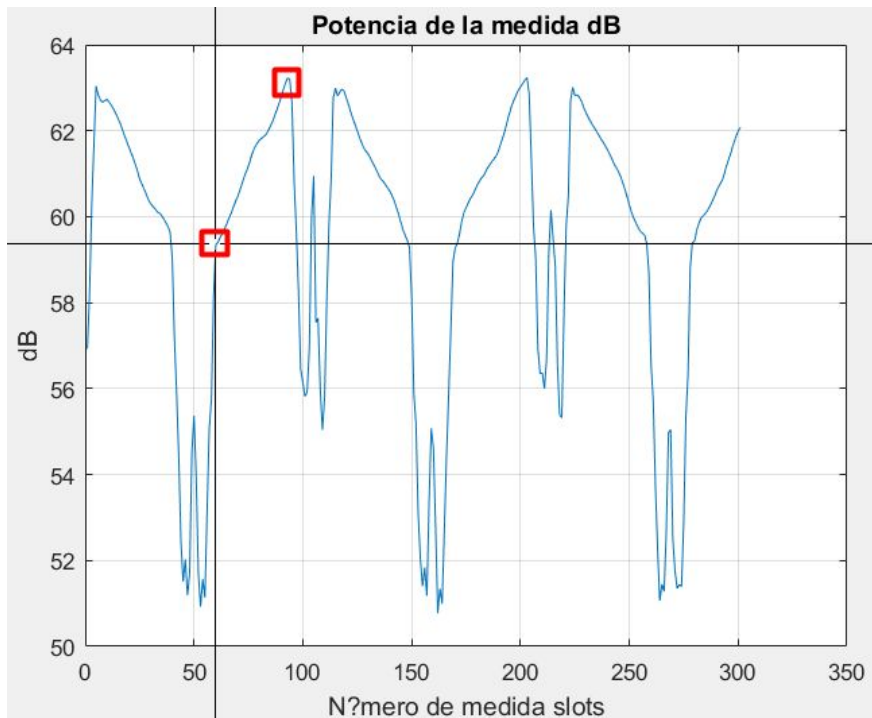
$$P_{Rx} = \frac{P_{Tx} G_{Tx} G_{Rx} \sigma \lambda^2}{(4\pi)^3 R^4}$$



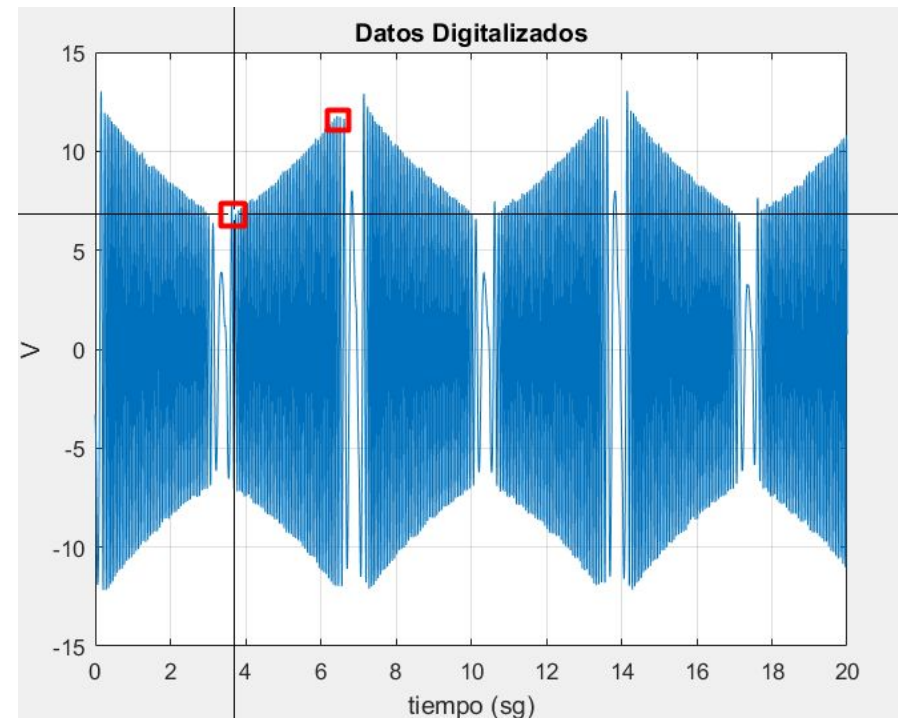
- $R_{min} = 2,4 \text{ m} = R_{ant-mesa}$ .
- $R_{max} = 2,4 + 0,9 \text{ m} = R_{ant-mesa} + R_{mesa}$ .
- Comprobamos la relación entre la  $R_{max}$  y la  $R_{min}$ .
- Comparamos con la relación entre:
  - $(P_{max} \text{ y } P_{min})^{1/4}$ .
  - $(V_{max} \text{ y } V_{min})^{1/2}$ .

### 3. Ejercicio 3 (II)

- Seleccionamos en la figura los puntos de potencia máxima y mínima:



- Seleccionamos en la figura los puntos de Velocidad máxima y mínima:



### 3. Ejercicio 3 (III)

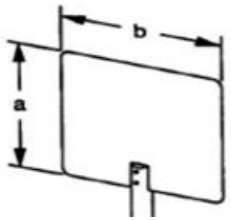
- Comprobamos que se sigue la ecuación radar:

<b>Frecuencia</b>	<b>Relación entre las distancias</b>	<b>Relación en dominio temporal (V)</b>	<b>Relación en dominio frecuencial (P)</b>
8 GHz	1,375	1,3167	1,2466
9 GHz	1,375	1,3135	1,2345

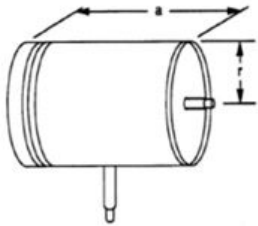
Se mantiene un ratio similar para todas las medidas.

## 4. Ejercicio 4 (I)

- Secciones radar de los blancos utilizados:



Blanco	Expresión	Valor (m2)
PRG	$\sigma = \frac{4\pi(a \cdot b)^2}{\lambda^2}$	18.0956



Blanco	Expresión	Valor (m2)
CILtum	$\sigma = \frac{2\pi r l^2}{\lambda}$	2.6389



Blanco	Expresión	Valor (m2)
CILcirc	$\sigma = \frac{4\pi A^2}{\lambda^2}$	0.0154



Blanco	Expresión	Valor (m2)
ESF	$\sigma = \pi r^2$	0.0314

$$f = 9\text{GHz}$$

## 4. Ejercicio 4 (II)

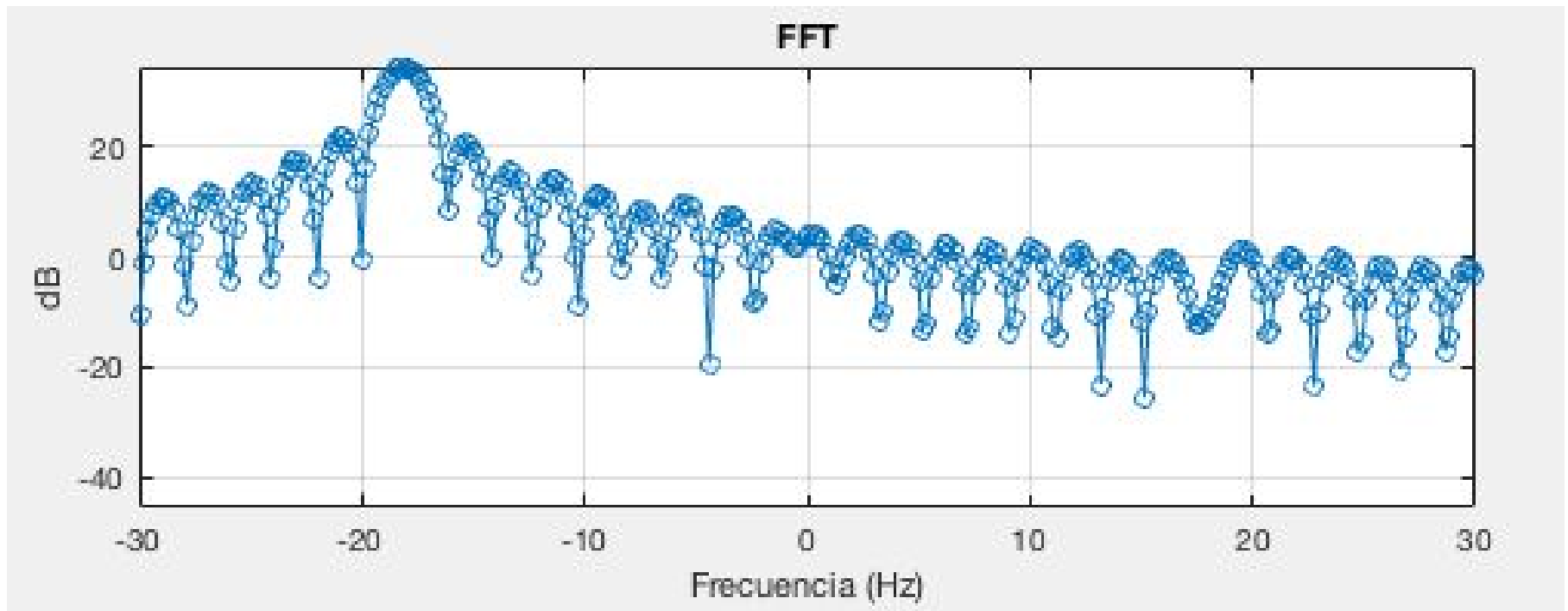
- Comprobamos que se sigue la ecuación radar:

Blanco	Sección relativa al PRG	Relación Pmedida/Pmedida PRG
PRG	1	1
CILcirc	0.1481	0.3015
CILtum	0.0292	0.0346
ESF	0.0017	0.0050

La potencia medida disminuye proporcionalmente a la sección radar.

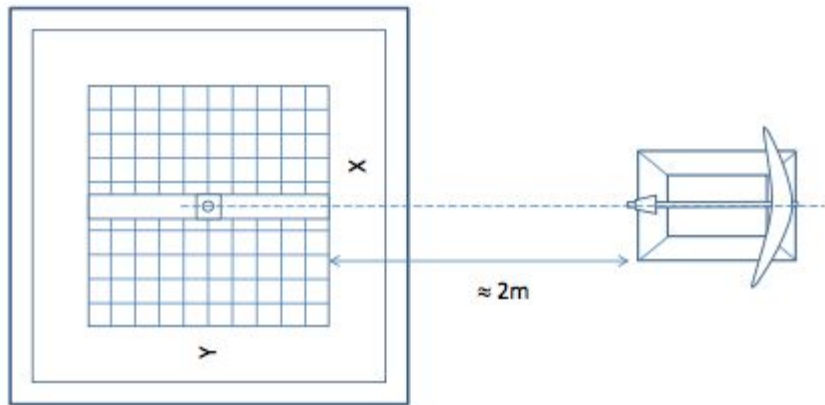
## 5. Ejercicio 5 (I)

- Al procesar la señales I Q somos capaces de obtener información de la fase.
- Al hacer la fft de una señal compleja, las frecuencias positivas no son iguales a las frecuencias negativas.
  - Blanco acercándose: frecuencias negativas.
  - Blanco alejándose: frecuencias positivas.



## 6. Ejercicio 6 (I)

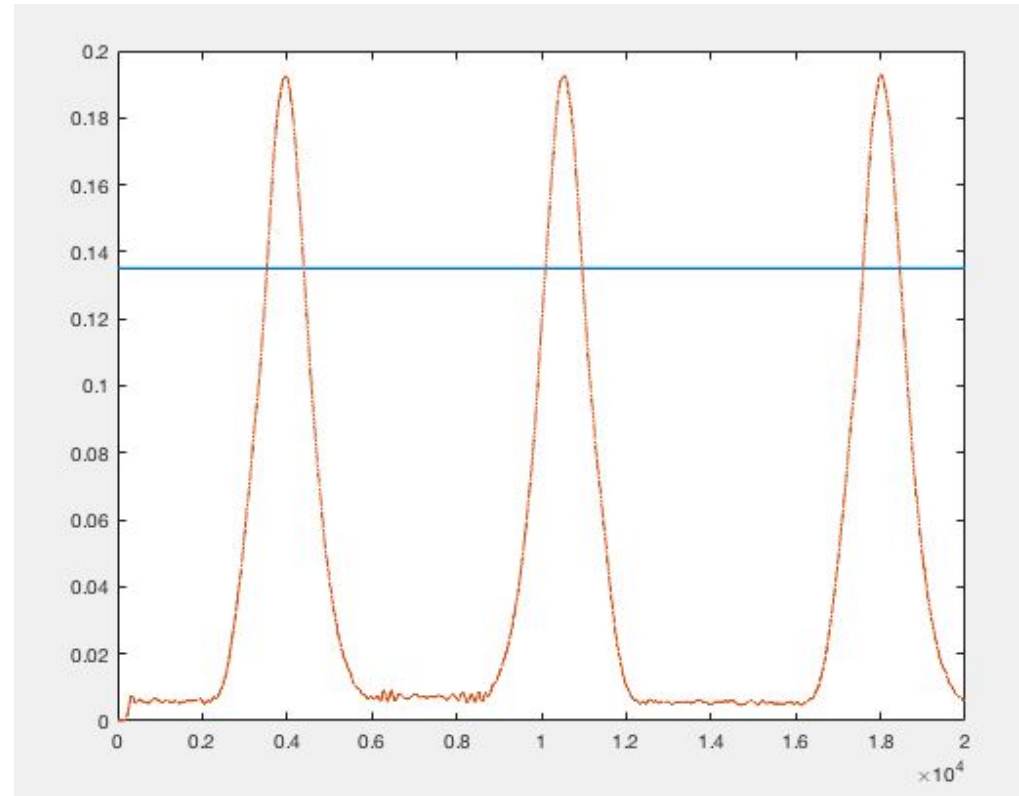
- Para calcular el ancho de haz de la antena hay que tener en cuenta el tamaño del blanco y la velocidad a la que se mueve, así como la distancia al blanco:



Aproximadamente 3 metros  
hasta el blanco

## 6. Ejercicio 6 (II)

- Se suaviza el filtro filtrándolo para quitar la componente doppler, quedándonos con la envolvente.
- Se mide el ancho a amplitud 3dB del pulso, con lo que se calculara el tiempo que ha estado el blanco iluminado.
- Con el tiempo de iluminación y la velocidad, se ve la distancia de iluminación a 3m.
- Las capturas de movimiento diagonal de 10 cm/s y 30 cm/s dan un ancho de haz de 3°.





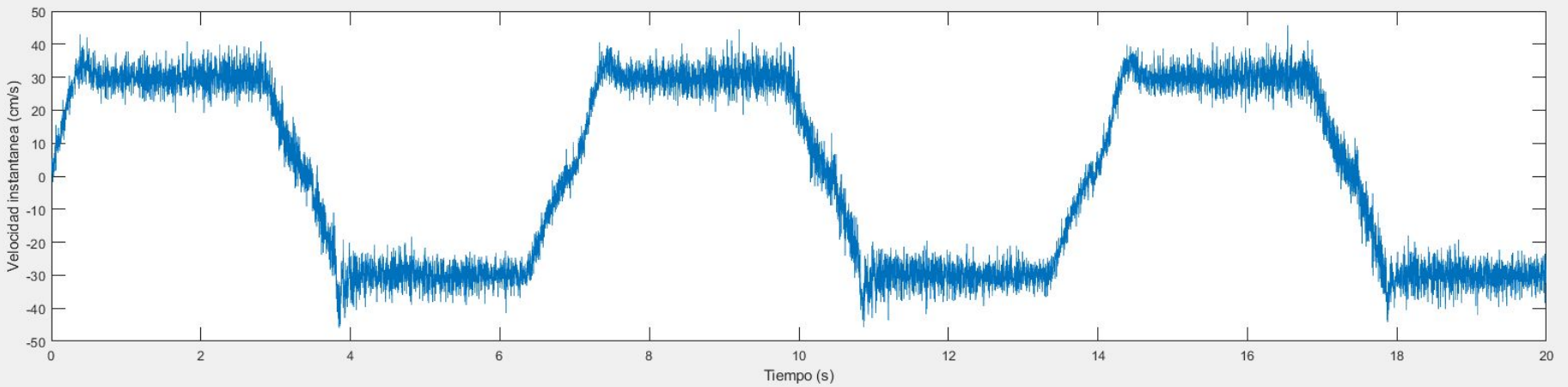
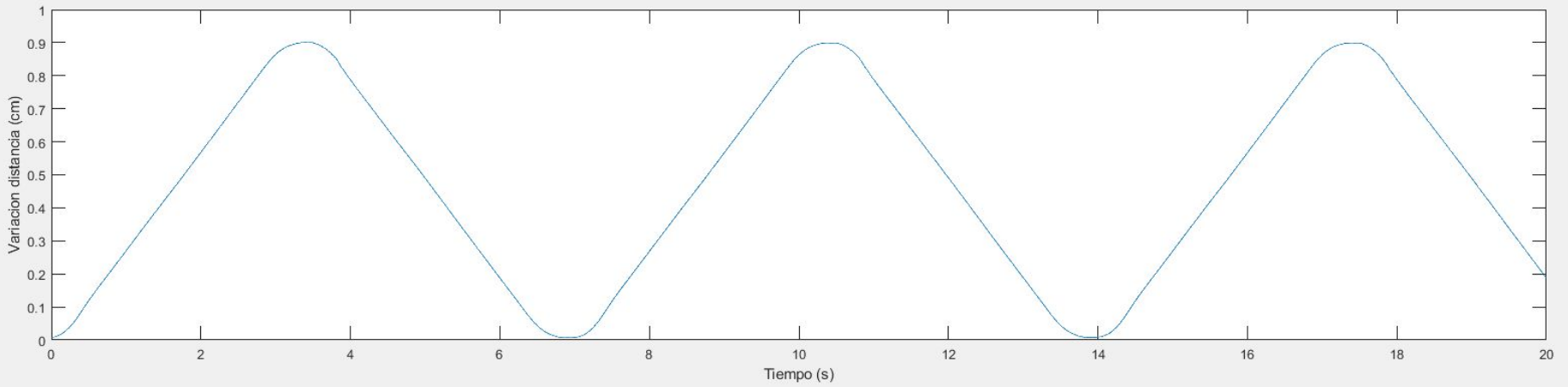
## 7. Ejercicio 7 (I)

- Al procesar la señales I Q somos capaces de obtener información de la fase.
- Un blanco estático no produce variación de la fase.
- Estudiando la variación de la fase, se puede determinar la velocidad y el desplazamiento:
  - Una variación de  $2\pi$  sera un desplazamiento de  $\lambda$
  - Cada incremento de desplazamiento se produce en un periodo de muestreo, con lo que se puede calcular la velocidad.

$$v = \Delta x * F_s$$

- El desplazamiento es siempre relativo, no se puede obtener una distancia absoluta.

## 7. Ejercicio 7 (II)



# **Anexo: Código**

# Código Ejercicio 1

```
[DatosPlots, directorio] = uigetfile('*.mat', 'Escoja el fichero de datos digitalizados a  
procesar del canal I ');  
load (cat(2, directorio, DatosPlots)); % los datos de plots  
fc=input('Frecuencia de la portadora (GHz)=')  
fc=fc*1e9;
```

```
A=src1.Data;  
A=double(A);  
A=A-mean(A);  
fs=src1.SampleFrequency; % frecuencia de muestreo  
N=max(size(A)); % número de muestras
```

```
figure  
histfit(A,50,'normal');title('FDP del ruido. Salida CW')  
xlabel('Valores (V)')  
ylabel('Acumulacion de muestras');  
desviacion = std(A);  
varianza = var(A);  
texto = 'La desviacion tipica es: %.5f y la varianza es %.9f\n';  
fprintf(texto,desviacion,varianza)  
potencia = varianza;  
potencia_dbm = 10*log10(potencia);  
texto2 = 'La potencia es: %.5f\n';  
fprintf(texto2,potencia_dbm)  
t=(0:(N-1))/fs;
```

```
figure  
plot(t,A)  
grid  
xlabel('tiempo (sg)')  
ylabel('V')  
title('Datos Digitalizados')
```

# Código Ejercicio 1. Parte fase y cuadratura

```
[DatosPlots, directorio] = uigetfile('*mat', 'Escoja el fichero de datos digitalizados a
procesar del ruido en fase I ');
load (cat(2, directorio, DatosPlots)); % los datos de plots
%%
I = src1.Data;
I = double(I);
I = I-mean(I);
Inorm = I/std(I);
[DatosPlots, directorio] = uigetfile('*mat', 'Escoja el fichero de datos digitalizados a
procesar del ruido en cuadratura Q');
load (cat(2, directorio, DatosPlots)); % los datos de plots
Q = src1.Data;
Q = double(Q);
Q =Q-mean(Q);
Qnorm = Q/std(Q);
fc=input('Frecuencia de la portadora (GHz)=');
IQ = I + 1i.*Q;
modulo = abs(IQ);
fase = angle(IQ);
IQnorm = Inorm + 1i*Qnorm;
modulonorm = abs(IQnorm);
fasenorm = angle(IQnorm);

figure(1)
subplot(211)
histfit(I,40,'normal'), axis([-0.01 0.01 0 4000])
title('FDP componente I')
xlabel('Valores (V)'),ylabel('Muestras');
subplot(212)
histfit(Q,40,'normal'), axis([-0.01 0.01 0 2500])
title('FDP componente Q')
xlabel('Valores (V)'),ylabel('Muestras');
```

```
figure(2)
subplot(211)
histfit(Inorm,40,'normal'), axis([-5 5 0 4000])
title('FDP componente I normalizada')
xlabel('Valores (V)'),ylabel('Muestras');
subplot(212)
histfit(Qnorm,40,'normal'), axis([-5 5 0 2500])
title('FDP componente Q normalizada')
xlabel('Valores (V)'),ylabel('Muestras');
%%
figure(3)
subplot(211)
histfit(modulo,50,'Rayleigh');title('FDP Envolvente o módulo V_{N}')
xlabel('Valores (V)'),ylabel('Muestras');
subplot(212)
histfit(modulonorm,50,'Rayleigh');title('FDP Envolvente o módulo V_{N}
normalizada')
xlabel('Valores (V)'),ylabel('Muestras');

figure(4)
subplot(211)
histogram(fase,50);title('FDP fase \Phi_{N}')
xlabel('Radianes'),ylabel('Muestras');
subplot(212)
histogram(fasenorm,50);title('FDP fase \Phi_{N} normalizada')
xlabel('Radianes'),ylabel('Muestras');
```

# Código Ejercicio 2

```
[DatosPlots, directorio] = uigetfile('*.mat', 'Escoja el fichero de datos digitalizados a
procesar');
load (cat(2, directorio, DatosPlots)); % los datos de plots
fc_input=input('Frecuencia de la portadora (GHz)=')
A=src1.Data;
A=double(A);
A=A-mean(A);
% Quitamos las partes donde el blanco se mueve
% Guardado archivo PRG_8.gif y PRG_9.gif para buscar los indices
if(fc_input==8)
    load('Partes8GHz.mat');
    Ap=[];
    Ap = [Ap,A(Partes8GHz(1,1):Partes8GHz(1,2))];
    Ap = [Ap,A(Partes8GHz(2,1):Partes8GHz(2,2))];
    Ap = [Ap,A(Partes8GHz(3,1):Partes8GHz(3,2))];
    Ap = [Ap,A(Partes8GHz(4,1):Partes8GHz(4,2))];
    Ap = [Ap,A(Partes8GHz(5,1):Partes8GHz(5,2))];
elseif(fc_input==9)
    load('Partes9GHz.mat');
    Ap =[];
    Ap = [Ap,A(Partes9GHz(1,1):Partes9GHz(1,2))];
    Ap = [Ap,A(Partes9GHz(2,1):Partes9GHz(2,2))];
    Ap = [Ap,A(Partes9GHz(3,1):Partes9GHz(3,2))];
    Ap = [Ap,A(Partes9GHz(4,1):Partes9GHz(4,2))];
    Ap = [Ap,A(Partes9GHz(5,1):Partes9GHz(5,2))];
end

%Comparativa
figure(1),plot(Ap)
figure(2),plot(A)

fc=fc_input*1e9;
```

```
fs=src1.SampleFrequency % frecuencia de muestreo
N=max(size(Ap)); % n?mero de muestras
```

```
%% Variacion del numero de muestras
vec_np = 32:8:512;
```

```
for i = 1:length(vec_np)
```

```
    np=vec_np(i);% % n?mero de muestras de STFT
    zp=np*10; % n?mero de muestras de la FFT, entre np y zp se rellenan con ceros
    Zero-Padding
    paso=32;
    M=N/paso;
    fdop=(0:(zp-1))*fs/zp; % eje de frecuencias de la FFT
    t=(0:(N-1))/fs; %eje de tiempos
    cont=0;
    for k=1:paso:floor(N-1.5*np)
        cont=cont+1;
        Yfft=fft(Ap(1,1+(k-1):np+(k-1)),zp);%FFT en el slot k
        Amax(cont)=max(abs(Yfft));
        fmed(cont)=(find(abs(Yfft)==Amax(cont), 1 )-1)*fs/zp;
        vel(cont) = (fmed(cont)*((3e8)/fc)/2)*100;
    end
    std_vel_np(i) = std(vel);
end
```

```
figure(4)
plot(vec_np, std_vel_np)
title(['Error de medida en la velocidad. ' num2str(fc_input) 'GHz'])
xlabel('Numero de muestras')
ylabel('Desviacion Tipica')
grid
```

# Código Ejercicio 2

```
%% Variacion del Zero Padding
```

```
vec_zp2 = 10:25:5000;
```

```
np2=512;% % n?mero de muestras de STFT
```

```
for i = 1:length(vec_zp2)
```

```
    zp2(i)=np2+vec_zp2(i); % n?mero de muestras de la FFT, entre np y zp se  
    rellenan con ceros Zero-Padding
```

```
    paso=32;
```

```
    M=N/paso;
```

```
    fdop2=(0:(zp2(i)-1))*fs/zp2(i); % eje de frecuencias de la FFT
```

```
    t=(0:(N-1))/fs; %eje de tiempos
```

```
    cont=0;
```

```
        for k=1:paso:floor(N-1.5*np2)
```

```
            cont=cont+1;
```

```
            Yfft2=fft(Ap(1,1+(k-1):np2+(k-1)),zp2(i));%FFT en el slot k
```

```
            Amax2(cont)=max(abs(Yfft2));
```

```
            fmed2(cont)=(find(abs(Yfft2)==Amax2(cont), 1)-1)*fs/zp2(i);
```

```
            vel2(cont) = (fmed2(cont))*((3e8)/fc)/2)*100;
```

```
        end
```

```
        std_vel_zp2(i) = std(vel2);
```

```
    end
```

```
    figure(6)
```

```
    plot(vec_zp2, std_vel_zp2)
```

```
    title(['Error de medida en la velocidad. ' num2str(fc_input) 'GHz'])
```

```
    xlabel('Longitud de Zero Padding')
```

```
    ylabel('Desviacion Tipica')
```

```
    grid
```

```
Sin cortes
```

```
N=max(size(A));
```

```
vec_np_entera = 16:8:511;
```

```
for i = 1:length(vec_np_entera)
```

```
    np=vec_np_entera(i);% % n?mero de muestras de STFT
```

```
    zp=np*10; % n?mero de muestras de la FFT, entre np y zp se rellenan con ceros  
    Zero-Padding
```

```
    paso=32;
```

```
    M=N/paso;
```

```
    fdop=(0:(zp-1))*fs/zp; % eje de frecuencias de la FFT
```

```
    t=(0:(N-1))/fs; %eje de tiempos
```

```
    cont=0;
```

```
        for k=1:paso:floor(N-1.5*np)
```

```
            cont=cont+1;
```

```
            Yfft=fft(A(1,1+(k-1):np+(k-1)),zp);%FFT en el slot k
```

```
            Amax(cont)=max(abs(Yfft));
```

```
            fmed(cont)=(find(abs(Yfft)==Amax(cont), 1)-1)*fs/zp;
```

```
            vel3(cont) = (fmed(cont))*((3e8)/fc)/2)*100;
```

```
        end
```

```
        vel3 = abs(abs(vel3)-30);
```

```
        std_vel_np_entera(i) = std(vel3);
```

```
    end
```

```
    figure(8)
```

```
    plot(vec_np_entera, std_vel_np_entera)
```

```
    title(['Señal sin cortes: Error de medida en la velocidad. ' num2str(fc_input) 'GHz'])
```

```
    xlabel('Numero de muestras')
```

```
    ylabel('Desviacion Tipica')
```

# Código Ejercicio 3

```
figure(1)
plot(t,A)
grid
xlabel('tiempo (sg)')
ylabel('V')
title('Datos Digitalizados')
disp('Seleccione Velocidad minima')
[x, Vmin] =ginput();
disp('Seleccione Velocidad maxima')
[x1, Vmax] =ginput();
```

```
figure(5)
plot(20*log10(Amax))
grid
title ('Potencia de la medida dB')
xlabel('Número de medida slots')
ylabel('dB')
disp('Seleccione Potencia minima')
[x2, Pmin] =ginput();
disp('Seleccione Potencia maxima')
[x3, Pmax] =ginput();
```

```
Rmesa=0.9;
Rantena_mesa=2.4;

relacionR=(Rantena_mesa+Rmesa)/Rantena_mesa;

relacionP=(10^(Pmax/10))/(10^(Pmin/10));
relacionP_1_4= relacionP^(1/4);
relacionV=Vmax/Vmin;
relacionV_1_2=relacionV^(1/2);
```



# Código Ejercicio 4

---

## %% Ejercicio 4

%Calculo de secciones radar

%fc=9e9

lambda=3e8/fc;

%Tamaños dados

a=0.2;

b=0.2;

r=0.07;

l=0.2;

resf=0.1;

s\_PRG=(4\*pi\*(a\*b)^2)/((lambda)^2);

s\_CILcirc=(4\*pi\*(pi\*(r)^2)^2)/((lambda)^2);

s\_CILTum=(2\*pi\*r\*l^2)/lambda;

s\_ESF=pi\*((resf)^2);

% Relacion entre secciones radar con referencia PRG

As\_PRG\_PRG=s\_PRG/s\_PRG;

As\_PRG\_CILcir=s\_CILcirc/s\_PRG;

As\_PRG\_CILTum=s\_CILTum/s\_PRG;

As\_PRG\_ESF=s\_ESF/s\_PRG;

% Relacion potencia maxima medidad y potencia PRG

Pprg =10^6.24;

Pmed\_Pprg= (10^(Pmax/10))/Pprg;

## Código Ejercicio 5

```
A = I + j.*Q;

cont=0;
for k=1:paso:floor(N-1.5*np)
    cont=cont+1;
    Yfft=fft(A(1,1+(k-1):np+(k-1)),zp);
    Yfft = circshift(Yfft, length(Yfft)/2);
    %FFT en el slot k

    Matriz(cont,:)=Yfft;
    %Construyendo Matriz temporal de FFTs
    %Espectrograma o STFT

    [Amax(cont), Imax(cont)] = max(Yfft);

end

%Dibujamos la velocidad a lo largo del tiempo teniendo en cuenta el tiempo
%de esta
figure; plot(abs(Amax).*sign(Imax-mean(Imax)));
```

# Código Ejercicio 6

```
A = I + i.*Q;
Fs = fs; % Sampling Frequency

Fpass = 3; % Passband Frequency
Fstop = 4; % Stopband Frequency
Apass = 1; % Passband Ripple (dB)
Astop = 30; % Stopband Attenuation (dB)
match = 'stopband'; % Band to match exactly

% Construct an FDESIGN object and call its BUTTER method.
h = fdesign.lowpass(Fpass, Fstop, Apass, Astop, Fs);
Hd = design(h, 'butter', 'MatchExactly', match);

envolvente = filter(Hd,abs(A));

halfMax = (min(envolvente) + max(envolvente)) *0.7;
plot(ones(1,length(envolvente))*halfMax)
hold on;
plot(envolvente)

disp('Seleccione primer punto')
x1 = ginput(1);
disp('Seleccione segundo punto')
x2 = ginput(1);
```

# Código Ejercicio 7

```
A = I + j.*Q;

%Se saca la fase del numero complejo. Saca radianes
fase = phase(A);
lambda = 3e8/fc;
%Cada 2pi avanza la longitud de onda. Es distancia relativa.
distancia = fase*lambda/(2*2*pi);

subplot(211);
plot(t,distancia);
xlabel('Tiempo (s)')
ylabel('Variacion distancia (m)')
%Maxima variacion de distancia. La mesa tiene 90cm
fprintf('Variacion maxima: %1.2f cm\n',peak2peak(distancia))

%La velocidad es la derivada de la posicion. Se hace la diferencia entre
%muestras y se divide entre el tiempo de una muestra (1/fs)
velocidad = diff(distancia).*fs;

subplot(212);
plot(t(1:(end-1)),velocidad);
xlabel('Tiempo (s)')
ylabel('Velocidad instantanea (m/s)')
```