

# Tarea 3 - Propagación radioeléctrica, modelos y caracterización del canal radio

Ruz Nieto, Andrés  
DNI: 58451215G

---

## 1. Ejercicio 1

### 1.1. Cálculo del SPAN y la resolución en frecuencia

$$\begin{aligned}SPAN &\Rightarrow 40GHz - 25GHz = 15GHz \\ RESOLUCION &\Rightarrow \Delta f = SPAN/8192 = 1,831MHz\end{aligned}\tag{1}$$

### 1.2. Función de transferencia cronovariable

El vector de *data\_URA* que se ha empleado es el *data\_URA(5,7,:)*, y el vector de frecuencias se crea a partir de

$$f_{int} = 25e9 : SPAN/8191 : 40e9$$

Donde *SPAN* se ha calculado en la Ecuacion 1. Obteniendo la siguiente gráfica

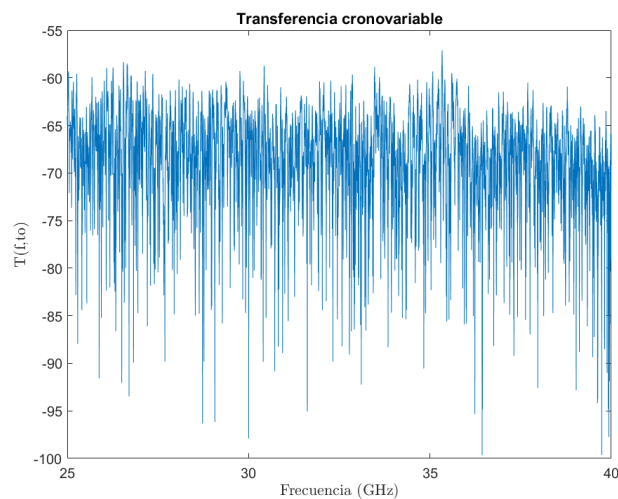


Figura 1: Transferencia cronovariable

La selectividad en frecuencia que se puede apreciar se debe al efecto multicarmino el cual presenta un efecto dispersivo en el tiempo.

### 1.3. Dibujar en unidades lineales y logarítmicas el Power Delay Profile (PDP)

Para obtener el PDP se ha realizado la Transformada de Fourier Inversa (ifft) de los datos iniciales.

```
t_ns = linspace(0,8192/SPAN,8192)
own_data = reshape(data_URA(M,N,:),1,[]);
h = ifft(own_data);
PDP = abs(h).^2;
PDP_normalized = PDP/max(PDP);

figure(1)
plot(t_ns, PDP_normalized)

figure(2)
plot(t_ns, 20*log10(PDP_normalized))

t_prop = t_ns(PDP_normalized(:) == max(PDP_normalized));
dist = t_prop*3e8;
```

Figura 2: Código para PDP

El código ha sido ligeramente modificado para que ocupe menos espacio.

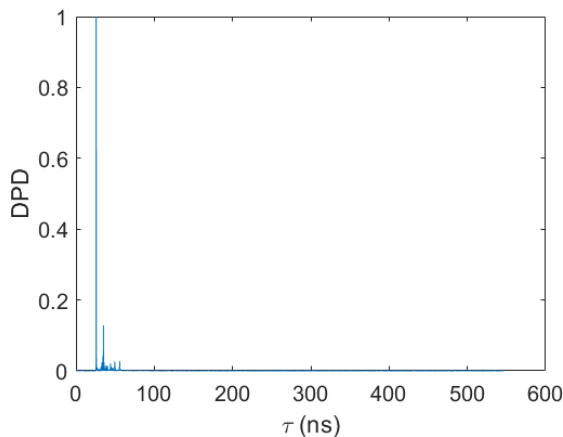


Figura 3: PDP en unidades lineales

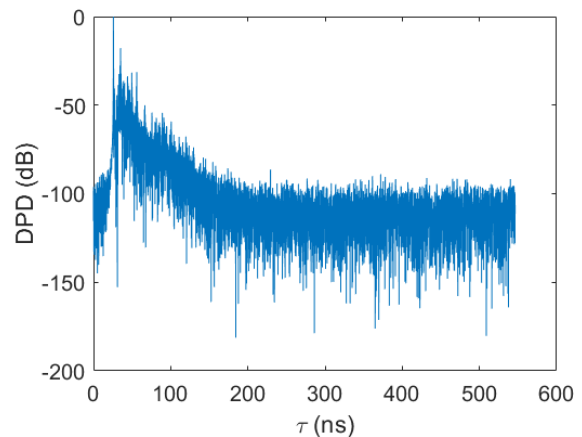


Figura 4: PDP en unidades logarítmicas

El tiempo de propagación y la distancia resultante es:

$$t_{prop} = 25,803 \text{ ns}$$

$$dist = 7,7409 \text{ m}$$

### 1.4. Cálculo del Delay-Spread, $\sigma_t$ , asociado para un nivel de threshold de 20 dB con respecto al máximo.

```
filter = find(20*log10(PDP_normalized) >= -20);
ret_medio = sum(t_ns(filter).*PDP_normalized(filter))/sum(PDP_normalized(filter));
delay_spread = sqrt(sum(((t_ns(filter) - ret_medio).^2).*(abs(PDP_normalized(filter)))/sum(PDP_normalized(filter))));
```

Figura 5: Código para  $\sigma_t$

Se obtiene un valor de  $2,6868 \text{ ns}$

$$\sigma_t = 2,6868 \text{ ns} \quad (2)$$

A menor threshold (acercándonos al nivel del ruido), el delay-spread aumenta, ya que se están teniendo en cuenta más valores de potencia repartidos en el tiempo.

1.5. ¿Cuál es el máximo valor de TH que podría considerarse desde un punto de vista de ruido para estimar el delay-spread

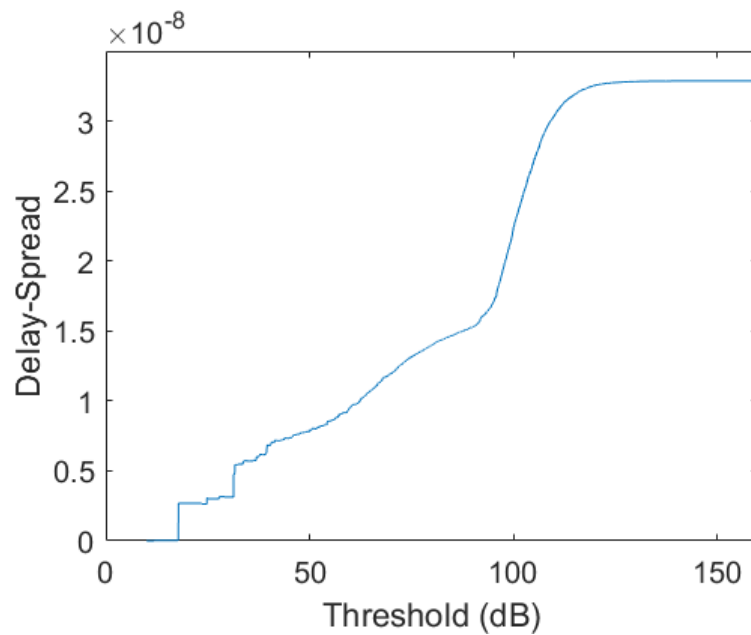


Figura 6: Máximo Threshold

Como se puede ver en la gráfica anterior, podemos considerar un valor máximo de threshold de 125 dB para estimar el delay-spread ya que a partir de ese valor de ganancia se vuelve constante.

### 1.6. Cálculo del ancho de banda de coherencia para un nivel de correlación del 70 %

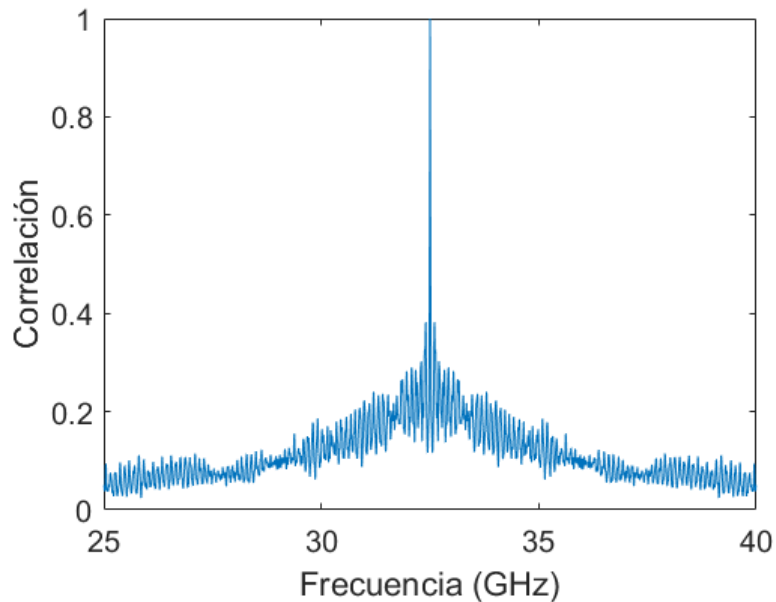


Figura 7: Ancho de banda de coherencia

Se obtiene un valor de ancho de banda al 70 % de 14 MHz ( $32,508\text{GHz} - 32,494\text{GHz}$ )

### 1.7. Average PDP

Se calculan las PDP medias para las 144 posiciones de la antenna a partir del siguiente código

```
ADPD = zeros(1,8192);
for i = 1:12
    for j = 1:12
        PDP = abs(iff(reshape(data_URA(i,j,:),1,[]))).^2;
        PDP_norm = PDP/max(PDP);
        ADPD = ADPD + PDP_norm;
    end
end
ADPD = ADPD/144;

figure()
hold on
plot(t_ns*1e7,20*log10(PDP_normalized))
plot(t_ns*1e7, 20*log10(ADPD))
```

Figura 8: Código para Average DPD

Obteniendo la siguiente gráfica:

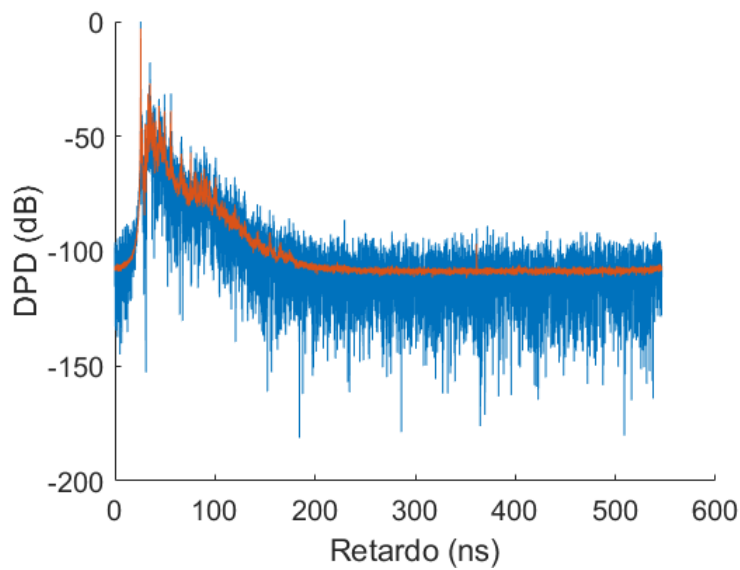


Figura 9: ADPD

1.8. Cálculo del delay-spread y del ancho de banda de coherencia del 70 % a partir del APDP

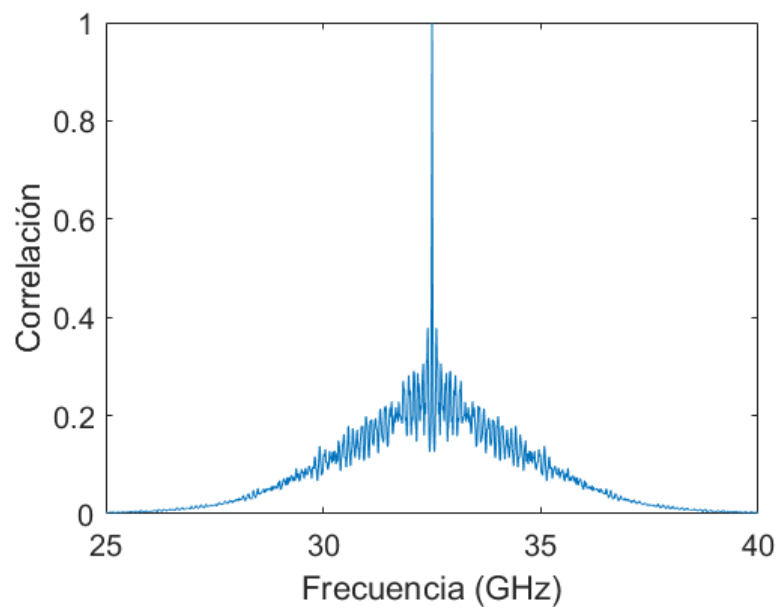


Figura 10: Ancho de banda de coherencia

Se obtiene el mismo ancho de banda de coherencia de 14 MHz.

Si se sitúa el threshold en  $-98 \text{ dB}$  (10 dB por encima del ruido) el delay-spread resultante es de  $0,178 \text{ ns}$

## 2. Ejercicio 2

Se pretende diseñar una sonda de canal basada en el principio de correlación para medir canales MIMO  $M \times M$ , mismo número de antenas en transmisión y recepción. El TX se ubica en lo alto de una azotea simulando una estación base de telefonía móvil. El RX se embarca a bordo de un vehículo que se desplaza a una velocidad máxima de  $v_{max} = (41 + X_1) \text{ km/h}$ . El efecto multicamino provoca un retardo máximo de propagación en el canal igual a  $(5 + X_2) \mu\text{s}$ . ¿Cuál es el número máximo de antenas que podremos utilizar en TX y RX para medir la respuesta del canal a una frecuencia de  $3,5 \text{ GHz}$ .

Los datos que se emplearán en el problema son los siguientes:

$$\begin{aligned} v_{max} &= (41 + 5) \text{ km/h} = 46 \text{ km/h} \Rightarrow 12,78 \text{ m/s} \\ ret_{max} &= (5 + 8) \mu\text{s} = 13 \mu\text{s} \end{aligned} \quad (3)$$

Como se puede leer en el enunciado que el receptor (RX) se está moviendo por lo que en el canal presentará selectividad temporal. Se tendrá que hallar la frecuencia de Doppler.

$$f_{doppler} = \frac{v}{\lambda} = \frac{v \cdot f}{c} = \frac{12,74 \cdot 3,5 \cdot 10^9}{3 \cdot 10^8} = 148,63 \text{ Hz} \quad (4)$$

Se calcula el tiempo de coherencia empleando la frecuencia de Doppler obtenida anteriormente:

$$T_c = \frac{9}{16\pi f_{doppler}} = \frac{9}{16\pi \cdot 148,63} = 1,20 \text{ ms} \quad (5)$$

Se considerará el tiempo mínimo de símbolo el tiempo de coherencia resultante de la Ecuación 5

$$T_c = 1,20 \text{ ms} < t_s \quad (6)$$

El número de antenas de emisión y recepción (misma cantidad) es calculado a partir de la siguiente expresión:

$$\begin{aligned} t_s &= 2 \cdot ret_{max} \cdot M^2 \\ 1,20 \cdot 10^{-3} &= 2 \cdot 13 \cdot 10^{-6} \cdot M^2 \\ M &= \sqrt{\frac{1,20 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 13 \cdot 10^{-6}}} \\ M &= 6,79 \simeq 7 \text{ antenas} \end{aligned} \quad (7)$$

# Anexos

```

1 clear all;
2 close all;
3
4 load('Channel.mat', 'data_URA');
5 d = 3.04e-3;
6 X1 = 5;
7 X3 = 4;
8
9 M = floor((11/9)*X3 + 1);
10 N = floor((11/9)*X1 + 1);
11 own_data = reshape(data_URA(M,N,:), 1,[]);
12
13 %% Apartado 1
14 SPAN = (40e9 - 25e9);
15 reso = SPAN/8192;
16
17 %% Apartado 2 - Funci n de transferencia cronovvariable
18 f_int = 25e9:SPAN/8191:40e9;
19 plot(f_int*1e-9,20*log10(own_data))
20
21 %% Apartado 3 - PDP
22 t_ns = linspace(0,8192/SPAN,8192);
23 h = ifft(own_data);
24 PDP = abs(h).^2;
25 PDP_normalized = PDP/max(PDP);
26
27 figure(1)
28 plot(t_ns, PDP_normalized)
29 figure(2)
30 plot(t_ns, 20*log10(PDP_normalized))
31
32 t_prop = t_ns(PDP_normalized(:) == max(PDP_normalized));
33 dist = t_prop*3e8;
34
35 %% Apartado 4 - Delay-Spread
36 filter = find(20*log10(PDP_normalized) >= -20);
37 ret_medio = sum(t_ns(filter).*PDP_normalized(filter))/sum(PDP_normalized(filter));
38 delay_spread = sqrt(sum(((t_ns(filter) - ret_medio).^2).*abs(PDP_normalized(filter)))/sum(PDP_normalized(filter)));
39
40 %% Apartado 5 - TH MAX
41 th = 10:0.001:160;
42 delay_spread_array = zeros(1,length(th));
43
44 for i = 1:length(th)
45     filter = find(20*log10(PDP_normalized) >= -th(i));
46     ret_medio = sum(t_ns(filter).*PDP_normalized(filter))/sum(PDP_normalized(filter));
47     delay_spread = sqrt(sum(((t_ns(filter) - ret_medio).^2).*abs(PDP_normalized(filter)))/sum(PDP_normalized(filter)));
48     delay_spread_array(i) = delay_spread;
49 end
50
51 plot(th, delay_spread_array);
52
53 %% Apartado 6 - Ancho de banda de coherencia
54 correlacion = abs(fftshift(fft(PDP))).^2;
55 correlacion = correlacion/max(correlacion);
56 figure(6)

```

## Tarea 3

```
57 plot(f_int*10e-10,correlacion)
58
59 %% Apartado 7 - Ancho de banda de coherencia con APDP
60 ADPD = zeros(1,8192);
61 for i = 1:12
62     for j = 1:12
63         PDP = abs( ifft( reshape(data_URA(i,j,:),1,[]) ) ).^2;
64         PDP_norm = PDP/max(PDP);
65         ADPD = ADPD + PDP_norm;
66     end
67 end
68 ADPD = ADPD/144;
69
70 correlacion = abs( fftshift( fft(ADPD) ) ).^2;
71 correlacion = correlacion/max(correlacion);
72 figure(7)
73 plot(f_int*10e-10,correlacion)
```

Script 1: Código Ejercicio 1