

Guía de ejercicios N°2: Antenas lineales - Dipolo y Monopolo

Vázquez, Matías Fernando - 91523
mfvazquezfiuba@gmail.com

25 de junio de 2018

1. Dipolo

Considerando un dipolo de longitud $L = 1$ m, radio $a = 1$ mm y conductividad $\sigma = 5,8 \cdot 10^7$ S/m.

1.1. Dipolo delgado

Se puede considerar como un dipolo delgado ya que su longitud es mucho mayor que su diámetro $L \gg 2a$. Debido a esto se considera al dipolo como un conductor unidimensional y como una sucesión de elementos de corriente unidimensionales. Siendo su distribución de corriente:

$$I(x', y', z') = \begin{cases} I_M \sin \left[\beta \left(\frac{L}{2} - z' \right) \right] & \text{si } z' > 0 \\ I_M \sin \left[\beta \left(\frac{L}{2} + z' \right) \right] & \text{si } z' < 0 \end{cases} \quad (1)$$

1.2. Cálculos

Mediante Matlab 2016b se realizaron los cálculos requeridos. En el apéndice A se encuentra el código utilizado.

1.2.a. Resistencia de radiación y de pérdidas

La resistencia de radiación es la resistencia que se obtiene a partir de la potencia irradiada, esta resistencia disiparía la misma cantidad de potencia que la potencia irradiada por la antena. Mediante la ecuación 2 se puede calcular la resistencia de radiación.

$$R_{radD} = 60 \Omega \int_0^\pi \frac{\left[\cos \left(\pi \frac{L}{\lambda} \cos \theta \right) - \cos \left(\pi \frac{L}{\lambda} \right) \right]^2}{\sin \theta} d\theta \quad (2)$$

La resistencia de pérdidas disipa la misma cantidad de potencia que se disipa en la antena por pérdidas ohmicas. Esta se puede calcular mediante la ecuación 3.

$$R_{perD} = \frac{\sqrt{L}}{2\pi a} \sqrt{\frac{\pi c \mu}{\sigma}} \sqrt{\frac{L}{\lambda}} \left[1 - \text{sinc} \left(\frac{2\pi L}{\lambda} \right) \right] \quad (3)$$

En las figuras 1 se encuentran las curvas de la resistencia de radiación y de pérdidas para $0,01 < L/\lambda < 1$.

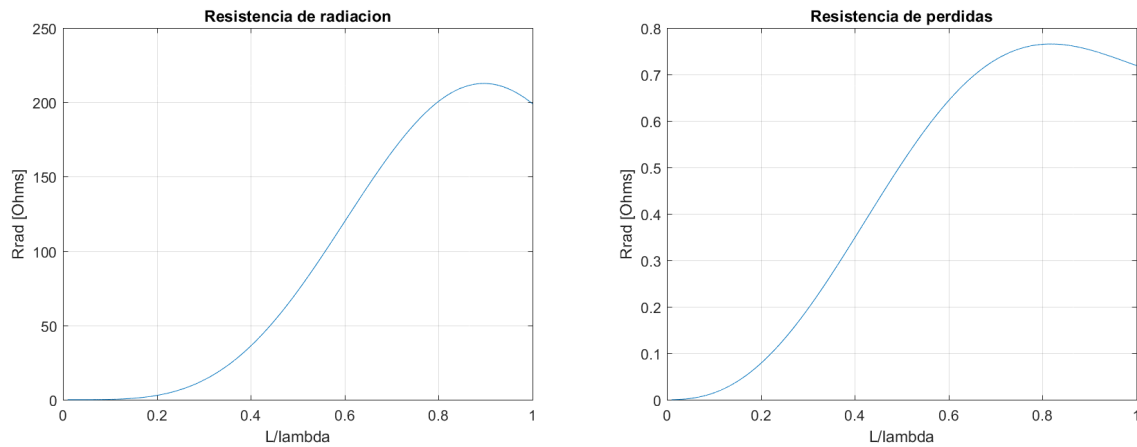


Figura 1: Resistencia de radiación y pérdidas

1.2.b. Rendimiento

El rendimiento es la relación entre la potencia irradiada y la potencia entregada a la antena. Se calcula mediante la ecuación 4. La potencia entregada se puede separar en la suma de la potencia irradiada y la potencia disipada.

$$\eta = \frac{W_{rad}}{W_{entregada}} = \frac{W_{rad}}{W_{rad} + W_{perd}} = \frac{R_{rad}}{R_{rad} + R_{perd}} \quad (4)$$

En la figura 2 se muestra la curva del rendimiento en función del largo de la antena sobre la longitud de onda.

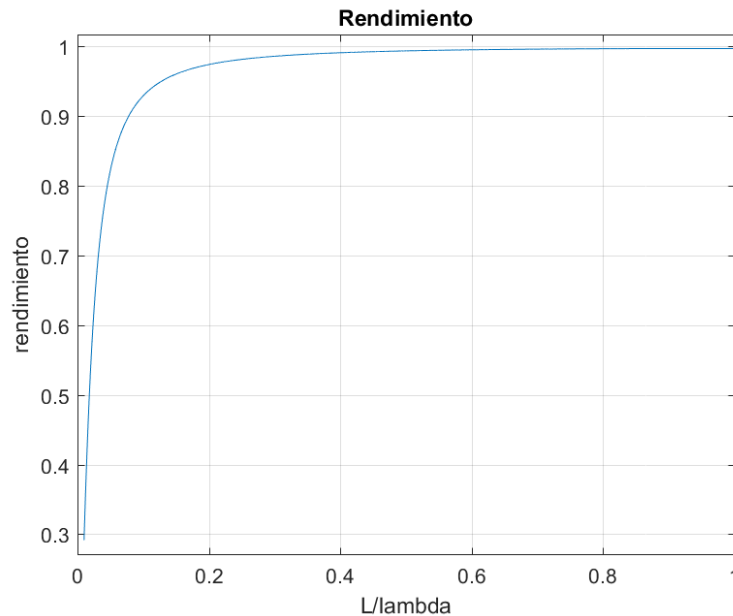


Figura 2: Rendimiento

1.2.c. Directividad y ganancia

La directividad es la relación entre la intensidad de radiación en la dirección del máximo respecto de la intensidad de radiación de una antena isotrópica. Está definida por la ecuación 5.

$$D = \frac{2F(\theta)|_{max}}{\int_0^\pi F(\theta) \sin(\theta) d\theta} \quad (5)$$

Siendo $F(\theta)$ el factor de diagrama del dipolo.

$$F(\theta) = \left[\frac{\cos\left(\pi \frac{L}{\lambda} \cos \theta\right) - \cos\left(\pi \frac{L}{\lambda}\right)}{\sin \theta} \right]^2 \quad (6)$$

En las figuras 3 se muestra la directividad del dipolo en veces y en dBi.

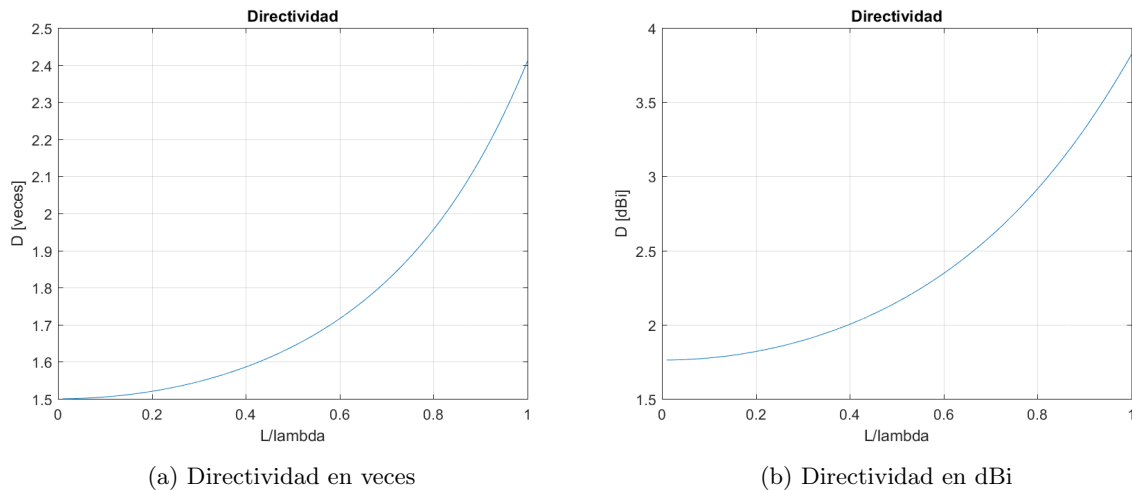


Figura 3: Directividad del dipolo

La ganancia es la relación entre la potencia irradiada y usando como referencia la potencia irradiada por una antena isotrópica. Por lo que es la directividad descontando las pérdidas de la antena. Se calcula mediante la ecuación 7.

$$G = \eta D \quad (7)$$

En la figura 4 se muestran las curvas obtenidas de la ganancia en veces y en dBi.

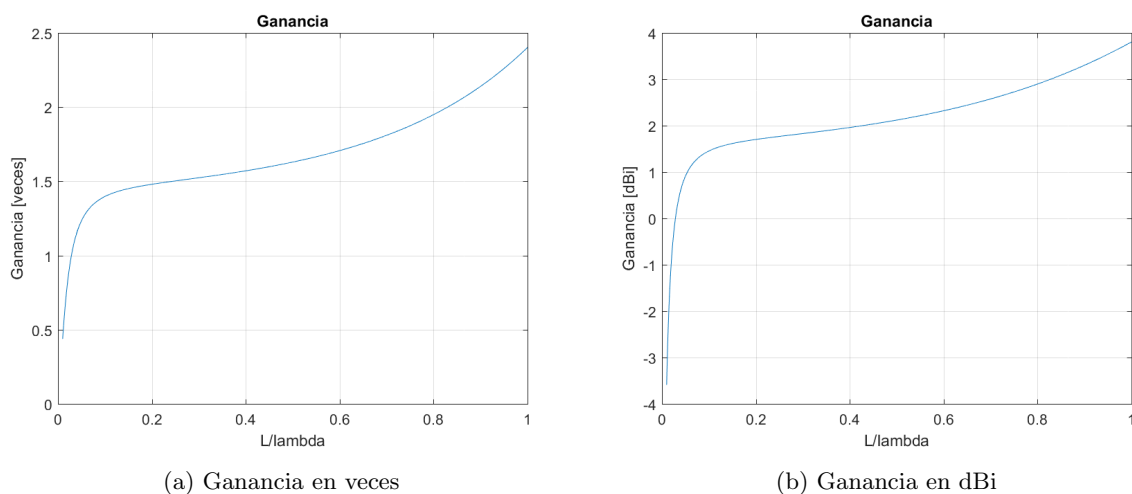
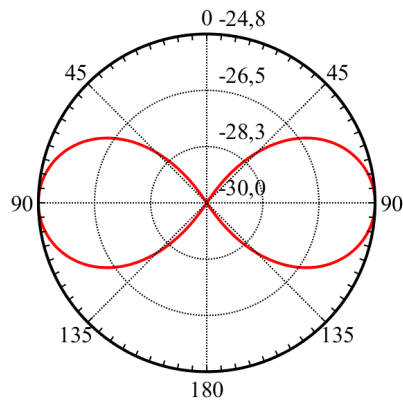


Figura 4: Ganancia del dipolo

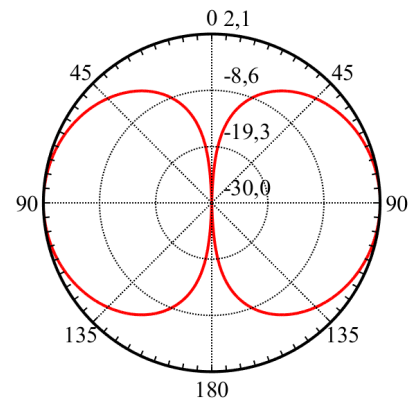
1.2.d. Diagrama de radiación

Los diagramas de radiación se realizaron calculando la ganancia en función de θ mediante la ecuación 8. Se calculó la ganancia para distintos valores de L/λ y mediante la función `polar_dB` fueron realizados.

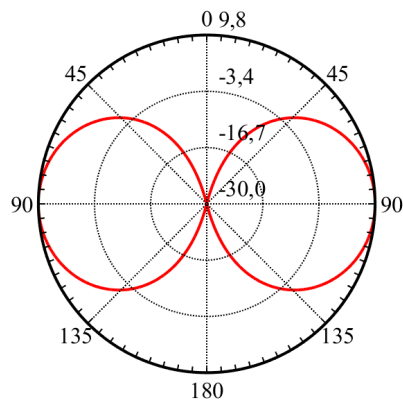
$$G(\theta) = G F(\theta) \quad (8)$$



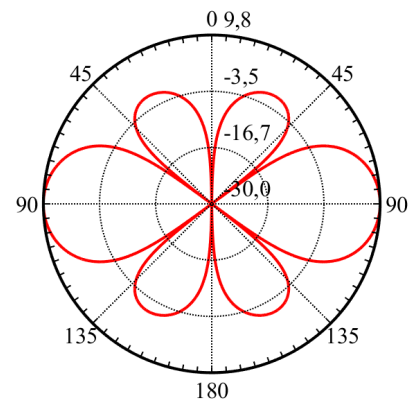
$L/\lambda = 0,1$



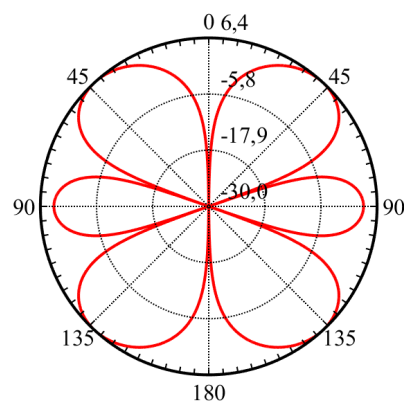
$L/\lambda = 0,5$



$L/\lambda = 1$



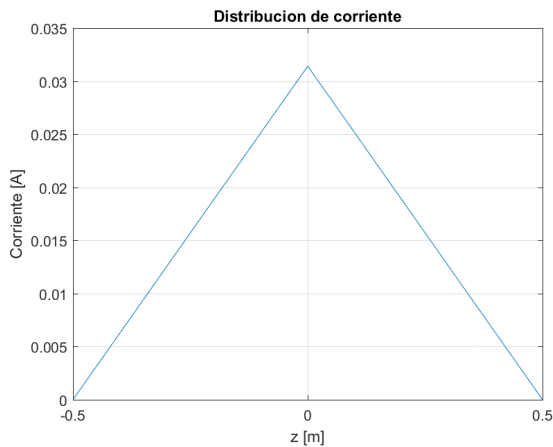
$L/\lambda = 1,25$



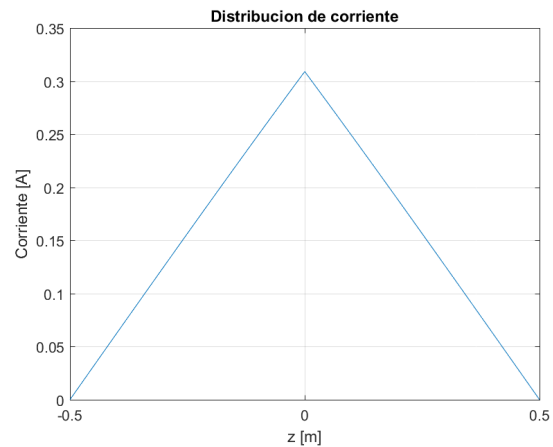
$L/\lambda = 1,5$

1.2.e. Distribución de corriente

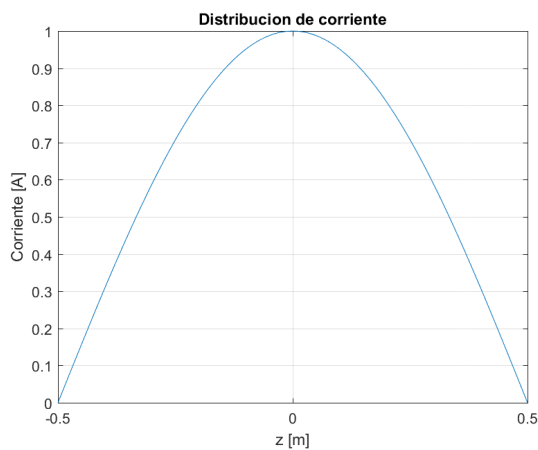
Mediante la ecuación 1 se calculó la distribución de corriente para distintos valores de L/λ .



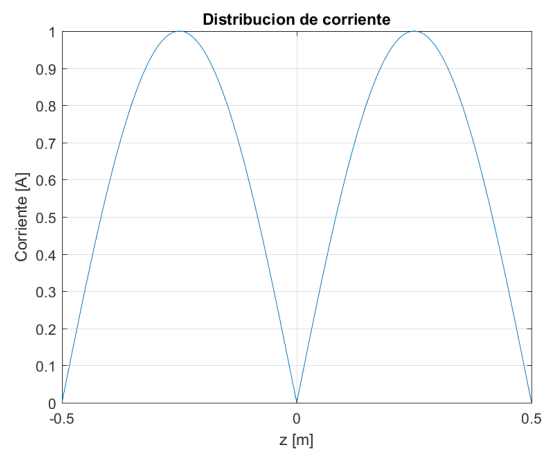
$$L/\lambda = 0,01$$



$$L/\lambda = 0,1$$



$$L/\lambda = 0,5$$



$$L/\lambda = 1$$

1.2.f. Tipos de dipolo

En la tabla 1 se muestran los valores obtenidos para distintos tipos de dipolo.

	Dipolo de Hertz	Dipolo corto	Dipolo de media onda
$R_{rad} [\Omega]$	1.9478e-05	0.017721	13.1848
$R_{perd} [\Omega]$	4.7312e-05	0.0033371	0.19517
η	0.29163	0.84153	0.98541
D [veces]	1.5	1.5015	1.5465
D [dBi]	1.7611	1.7652	1.8936
G [veces]	0.43746	1.2636	1.524
G [dBi]	-3.5906	1.0159	1.8297

Tabla 1: Valores obtenidos para distintos tipos de dipolo

2. Monopolo

Mediante el método de imágenes se obtiene que el monopolo por encima del plano a tierra se comporta como un dipolo de largo $L = 2H$. Por lo que la corriente del dipolo y del monopolo será la misma.

2.1. Cálculos

2.1.a. Resistencia de radiación y de pérdidas

Al tener la misma corriente que el dipolo pero siendo $L = 2H$ siendo H el largo del monopolo y L el largo del dipolo. La resistencia de radiación y la resistencia de pérdidas del monopolo son la mitad

que las resistencias del dipolo.

$$R_{radM} = \frac{R_{radD}}{2} \quad (9)$$

$$R_{perdM} = \frac{R_{perdD}}{2} \quad (10)$$

En la figura 9 se muestran las resistencias obtenidas para el monopolo.

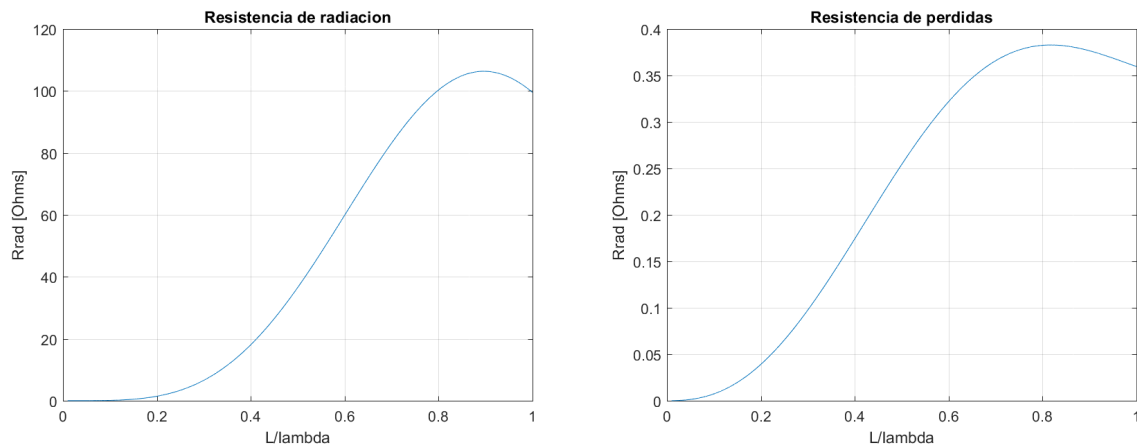


Figura 9: Resistencia de radiación y pérdidas

2.1.b. Rendimiento

Al dividirse por 2, de igual manera, la resistencia de radiación y de pérdidas del monopolo, el rendimiento es igual al del dipolo.

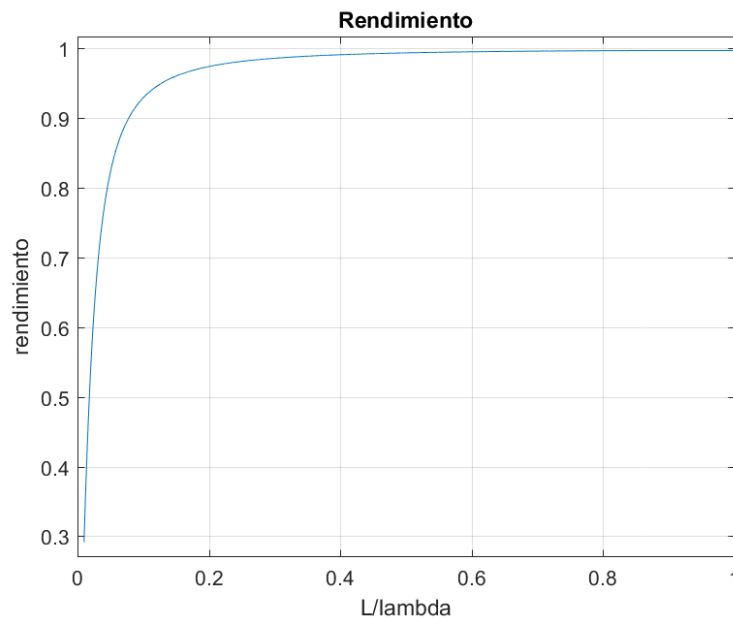
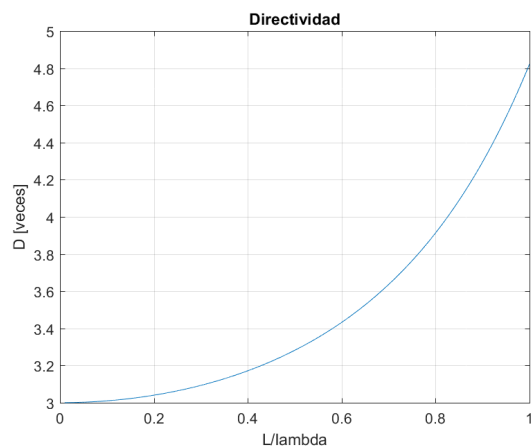


Figura 10: Rendimiento

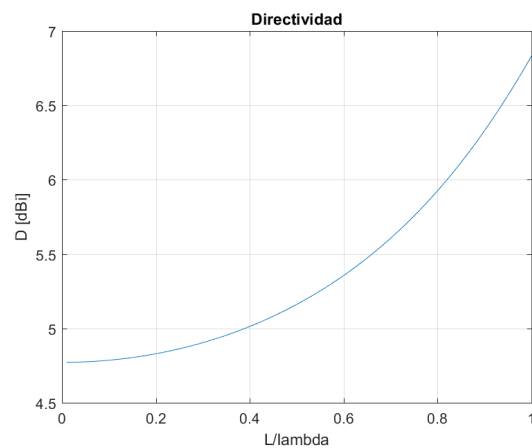
2.1.c. Directividad y ganancia

La directividad del monopolo es el doble que la del dipolo, ya que irradia la misma potencia en la mitad del espacio. De igual forma que para el dipolo, se calcula la ganancia mediante la ecuación 7.

$$D_M = 2 D_D \quad (11)$$

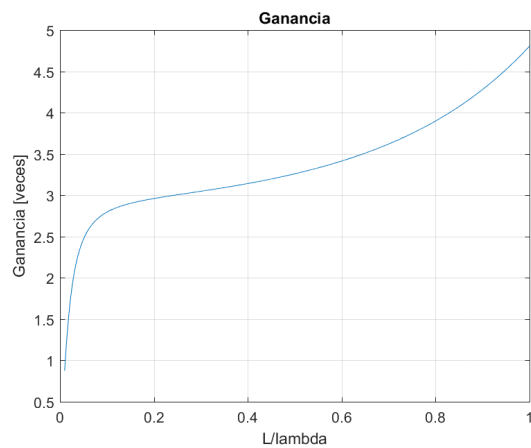


(a) Directividad en veces

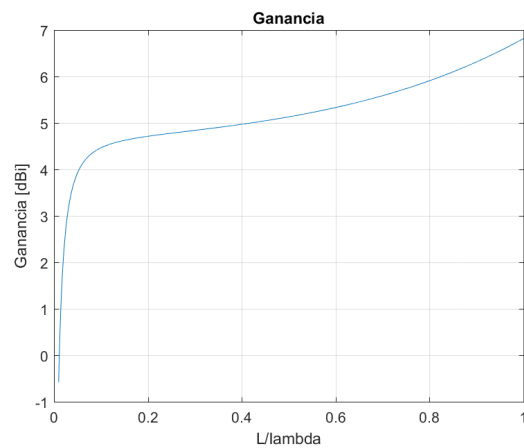


(b) Directividad en dBi

Figura 11: Directividad del dipolo



(a) Ganancia en veces

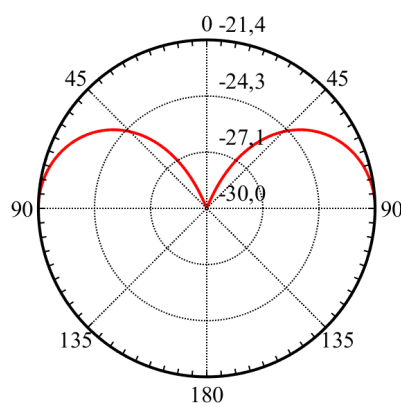


(b) Ganancia en dBi

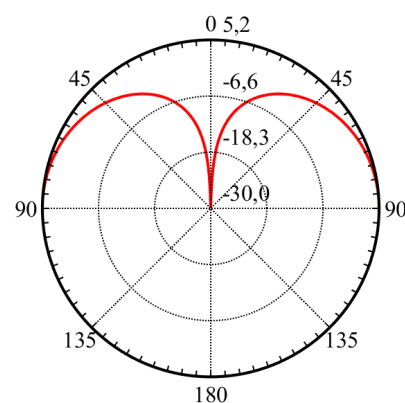
Figura 12: Ganancia del dipolo

2.1.d. Diagrama de radiación

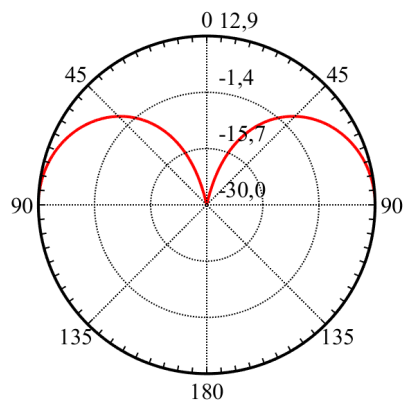
Los diagramas de radiación tienen la misma forma que los del dipolo, pero sólo en el semiespacio superior y como la directividad del monopolo es el doble al dipolo, en amplitud el monopolo tiene 3dB más respecto del dipolo.



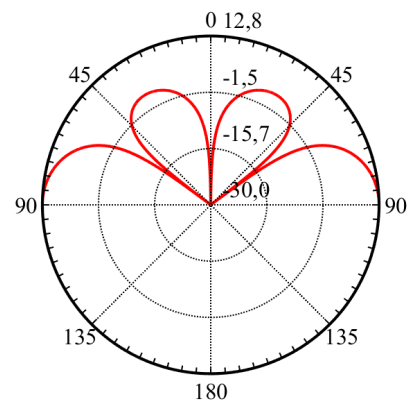
$L/\lambda = 0,1$



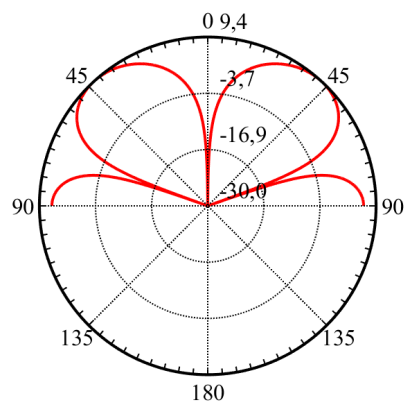
$L/\lambda = 0,5$



$L/\lambda = 1$



$L/\lambda = 1,25$



$L/\lambda = 1,5$

A. Código utilizado para realizar los cálculos

```
1 clear
2 close all
3
4 addpath('lib');
5
6 %% DIPOLO
7
8 L=1;
9 a=0.001;
10 c=3e8;
11 L_lambda = 0.01:1e-4:1;
12
13 sigma=5.8e7;
14 mu=1.256637e-6;
15
16 %x es el valor de l_lambda
17 F = @(theta,x) ((cos(pi.*x.*cos(theta))-cos(pi.*x)) ./ sin(theta)).^2);
18
19 %% Resistencia de radiacion
20
21 for x = 1:length(L_lambda)
22     Rad_int = @(theta) (60* F(theta, L_lambda(x)) .* sin(theta));
23     Rad(x) = integral(Rad_int, 0, pi);
24 end
25
26 figure
27 plot(L_lambda, Rad)
28 ylabel('Rad [Ohms]');
29 xlabel('L/lambda');
30 grid
31 title('Resistencia de radiacion')
32 saveas(gcf, fullfile('imagenes', 'dipolo_rrad.png'))
33
34
35 %% Resistencia de perdidas
36
37 Rperd = sqrt((L)/(2*pi*a)) .* sqrt((pi*c*mu)/(sigma)) .* sqrt(L_lambda) ...
38     .* (1 - sinc(2*L_lambda));
39
40 figure
41 plot(L_lambda, Rperd)
42 ylabel('Rad [Ohms]');
43 xlabel('L/lambda');
44 grid
45 title('Resistencia de perdidas')
46
47 saveas(gcf, fullfile('imagenes', 'dipolo_rperd.png'))
48
49 %% Rendimiento
50
51 rendimiento = Rad ./ (Rad+Rperd);
52 figure
53 plot(L_lambda, rendimiento)
54 ylabel('rendimiento');
55 xlabel('L/lambda');
56 grid
57 title('Rendimiento')
58 ylim([(min(rendimiento) - 0.02) (max(rendimiento)+0.02)]);
```

```
59 saveas(gcf,fullfile('imagenes','dipolo_rendimiento.png'))
60
61
62 %% Directividad
63
64 for x = 1:length(L_lambda)
65
66     maximo = max(F(0:1e-3:pi,L_lambda(x)));
67     divisor = @(theta) (F(theta, L_lambda(x)) .* sin(theta));
68     divisor = integral(divisor,0,pi);
69     D(x) = 2 * maximo ./ divisor;
70 end
71
72 figure
73 plot(L_lambda,D)
74 ylabel('D [veces]');
75 xlabel('L/lambda');
76 grid
77 title('Directividad')
78 saveas(gcf,fullfile('imagenes','dipolo_directividad.png'))
79
80 figure
81 plot(L_lambda,10*log10(D))
82 ylabel('D [dBi]');
83 xlabel('L/lambda');
84 grid
85 title('Directividad')
86 saveas(gcf,fullfile('imagenes','dipolo_directividad_dbi.png'))
87
88 %% Ganancia
89
90 ganancia = rendimiento .* D;
91
92 figure
93 plot(L_lambda, ganancia)
94 ylabel('Ganancia [veces]');
95 xlabel('L/lambda');
96 grid
97 title('Ganancia')
98 saveas(gcf,fullfile('imagenes','dipolo_ganancia.png'))
99
100 figure
101 plot(L_lambda,10.*log10(ganancia))
102 ylabel('Ganancia [dBi]');
103 xlabel('L/lambda');
104 grid
105 title('Ganancia')
106 saveas(gcf,fullfile('imagenes','dipolo_ganancia_dbi.png'))
107
108 %% Diagrama de radiacion
109
110 L_lambda_radiacion = [0.1 0.5 1 1.25 1.5];
111 circs=3;
112 deg=45;
113
114 for x = L_lambda_radiacion
115
116
117     Rad_int = @(theta) (60* F(theta, x) .* sin(theta));
118     Rad_radiacion = integral(Rad_int, 0, pi);
```

```

119     Rperd_radiacion = sqrt((L)/(2*pi*a)) .* sqrt((pi*c*mu)/(sigma)) ...
120     .* sqrt(x) .* (1 - sinc(2*x));
121     rendimiento_radiacion = Rad_radiacion / ...
122     (Rad_radiacion+Rperd_radiacion);
123
124     maximo = max(F(0:1e-3:pi,x));
125     divisor = @(theta) (F(theta,x) .* sin(theta));
126     divisor = integral(divisor,0,pi);
127     D_radiacion = 2 * maximo ./ divisor;
128
129     ganancia_radiacion = @(theta) rendimiento_radiacion *...
130     D_radiacion * F(theta,x);
131
132     theta = 0:1e-3:2*pi;
133     gain_vect = ganancia_radiacion(theta);
134     gain_vect_dbi = 10.*log10(gain_vect);
135     figure
136     polar_dB(theta, gain_vect, -30, max(gain_vect_dbi), circs, deg)
137     saveas(gcf, fullfile('imagenes',...
138     ['dipolo_radiacion' num2str(100*x) '.png']))
139
140 end
141
142 %% Corriente
143
144 lambda = L ./ [0.01 0.1 0.5 1];
145 Im = 1;
146 beta = 2*pi./lambda;
147
148 n = 1;
149 for b = beta
150     I = @(z) ((z < 0) .* Im .* sin(b.*(L/2 + z))) + ((z >= 0) ...
151     .* Im .* sin(b.*(L/2 - z)));
152     z = -0.5:1e-6:0.5;
153
154     figure
155     plot(z,I(z))
156     ylabel('Corriente [A]');
157     xlabel('z [m]');
158     grid
159     title('Distribucion de corriente')
160     saveas(gcf, fullfile('imagenes',['dipolo_corriente_' num2str(n) '.png']))
161     n = n + 1;
162 end
163
164 %% MONOPOLO
165
166 %% Resistencia de radiacion
167
168 Rad_monopolo = Rad/2;
169
170 figure
171 plot(L_lambda, Rad_monopolo)
172 ylabel('Rad [Ohms]');
173 xlabel('L/lambda');
174 grid
175 title('Resistencia de radiacion')
176 saveas(gcf, fullfile('imagenes','monopolo_rrad.png'))
177

```

```
178 %% Resistencia de perdidas
179
180 Rperd_monopolo = Rperd/2;
181
182 figure
183 plot(L_lambda, Rperd_monopolo)
184 ylabel('Rrad [Ohms]');
185 xlabel('L/lambda');
186 grid
187 title('Resistencia de perdidas')
188
189 saveas(gcf, fullfile('imagenes', 'monopolo_rperd.png'))
190
191 %% Rendimiento
192
193 rendimiento_monopolo = Rrad_monopolo ./ (Rrad_monopolo + Rperd_monopolo);
194 figure
195 plot(L_lambda, rendimiento_monopolo)
196 ylabel('rendimiento');
197 xlabel('L/lambda');
198 grid
199 title('Rendimiento')
200 ylim([(min(rendimiento) - 0.02) (max(rendimiento) + 0.02)]);
201 saveas(gcf, fullfile('imagenes', 'monopolo_rendimiento.png'))
202
203 %% Directividad
204
205 D_monopolo = D*2;
206
207 figure
208 plot(L_lambda, D_monopolo)
209 ylabel('D [veces]');
210 xlabel('L/lambda');
211 grid
212 title('Directividad')
213 saveas(gcf, fullfile('imagenes', 'monopolo_directividad.png'))
214
215 figure
216 plot(L_lambda, 10*log10(D_monopolo))
217 ylabel('D [dBi]');
218 xlabel('L/lambda');
219 grid
220 title('Directividad')
221 saveas(gcf, fullfile('imagenes', 'monopolo_directividad_dbi.png'))
222
223 %% Ganancia
224
225 ganancia_monopolo = rendimiento_monopolo .* D_monopolo;
226
227 figure
228 plot(L_lambda, ganancia_monopolo)
229 ylabel('Ganancia [veces]');
230 xlabel('L/lambda');
231 grid
232 title('Ganancia')
233 saveas(gcf, fullfile('imagenes', 'monopolo_ganancia.png'))
234
235 figure
236 plot(L_lambda, 10.*log10(ganancia_monopolo))
237 ylabel('Ganancia [dBi]');
```

```
238 xlabel('L/lambda');
239 grid
240 title('Ganancia')
241 saveas(gcf,fullfile('imagenes','monopolo-ganancia-dbi.png'))
242
243 %% Diagrama de radiacion
244
245
246 L_lambda_radiacion = [0.1 0.5 1 1.25 1.5];
247 circs=3;
248 deg=45;
249
250 for x = L_lambda_radiacion
251
252
253     Rad_int = @(theta) (60* F(theta, x) .* sin(theta));
254     Rad_radiacion = integral(Rad_int, 0, pi);
255     Rperd_radiacion = sqrt((L)/(2*pi*a)) .* sqrt((pi*c*mu)/(sigma)) ...
256         .* sqrt(x) .* (1 - sinc(2*x));
257     rendimiento_radiacion = Rad_radiacion / ...
258         (Rad_radiacion+Rperd_radiacion);
259
260     maximo = max(F(0:1e-3:pi,x));
261     divisor = @(theta) (F(theta, x) .* sin(theta));
262     divisor = integral(divisor,0,pi);
263     D_radiacion = 2 * maximo ./ divisor;
264     D_radiacion = D_radiacion * 2;
265
266     ganancia_radiacion = @(theta) rendimiento_radiacion * ...
267         D_radiacion * F(theta,x);
268
269     theta = -pi/2:1e-3:pi/2;
270     gain_vect = ganancia_radiacion(theta);
271     gain_vect_dbi = 10.*log10(gain_vect);
272     figure
273     polar_dB(theta, gain_vect, -30, max(gain_vect_dbi), circs, deg)
274     saveas(gcf,fullfile('imagenes',['monopolo-radiacion' num2str(100*x) ...
275         '.png']))
276
277 end
```