

I. INTRODUCCIÓN

Modulación QAM

Del inglés QAM (Quadrature Amplitude Modulation), es una señal en la que se modulan y combinan dos portadoras desplazadas en fase 90 grados (es decir, seno y coseno). De esta diferencia se dice que están en cuadratura. Por lo general, una de las señales se denomina señal en fase o "I" del inglés (In-phase), y la otra es la señal en cuadratura o "Q" (quadrature).

La señal global resultante, que consiste en la combinación de las portadoras I y Q, contiene variaciones tanto de amplitud como de fase. Debido a la presencia de variaciones de amplitud y de fase, también puede considerarse como una mezcla de modulación de amplitud y de fase (ASK & PSK).

Desventajas

Aunque la tecnología QAM parece aumentar la eficacia de la transmisión en los sistemas de radiocomunicación al utilizar variaciones de amplitud y fase, tiene una serie de inconvenientes. El primero es que es más susceptible al ruido, ya que los estados están más próximos entre sí, por lo que se necesita un menor nivel de ruido para desplazar la señal a un punto de decisión diferente. Los receptores que se utilizan con modulación de fase o de frecuencia pueden utilizar amplificadores limitadores que eliminan el ruido de amplitud y, por tanto, mejoran la fiabilidad del ruido. Este no es el caso de QAM.

La segunda limitación también está asociada a la componente de amplitud de la señal. Cuando se amplifica una señal modulada en fase o en frecuencia en un transmisor de radio, no es necesario utilizar amplificadores lineales, mientras que cuando se utiliza QAM que contiene un componente de amplitud, es necesario mantener la linealidad. Por desgracia, los amplificadores lineales son menos eficaces y consumen más energía, lo que los hace menos atractivos para las aplicaciones móviles.

Aplicaciones

Diversos protocolos de comunicación utilizan la modulación de amplitud en cuadratura (QAM). Los protocolos actuales, como la Ethernet inalámbrica 802.11b (Wi-Fi) y la difusión de vídeo digital (DVB), por ejemplo, utilizan la modulación 64-QAM. Además, las tecnologías inalámbricas emergentes, como Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX), 802.11n y HSDPA/HSUPA (un nuevo estándar de datos celulares), también implementarán QAM. Por ello, es importante comprender la tecnología QAM por su uso generalizado en las tecnologías actuales y emergentes.

Ejemplos:

Standard Version	Modulation Mode	Bits in Each Symbol	Gain to Mode of Previous-Order
Wi-Fi 4 (802.11n)	64-QAM	6	-
Wi-Fi 5 (802.11ac)	256-QAM	8	33%
Wi-Fi 6 (802.11ax)	1024-QAM	10	25%

Fig. 1: Formatos QAM adoptados por los diferentes estándares Wi-Fi

Diagrama de constelación QAM

En la modulación de señales digitales, se suele utilizar un diagrama de constelación para representar un gráfico de modulación QAM bidimensional. En comparación con la modulación IQ, el diagrama de constelación mapea la información de modulación de datos (incluyendo la información de amplitud y fase de las señales) en coordenadas polares.

Cada punto de constelación representa un símbolo. Las componentes de un punto en los ejes I y Q representan el ajuste de amplitud de las portadoras ortogonales. La distancia A del punto al origen (0,0) representa la amplitud tras la modulación, y el ángulo θ del punto representa la fase tras la modulación.

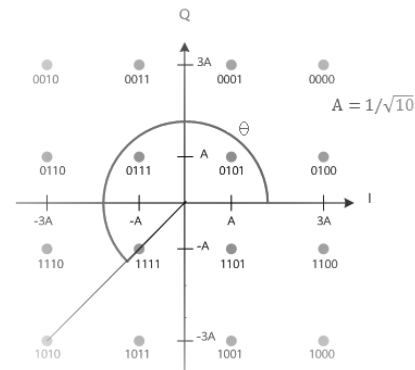


Fig. 2: Diagrama de constelación 16 QAM

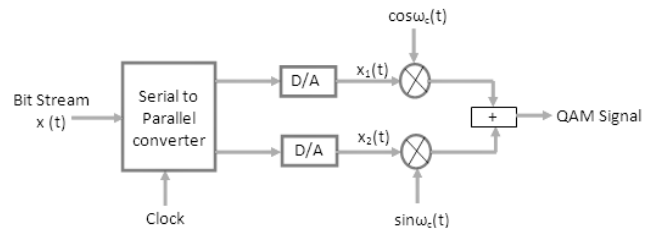


Fig. 3: Diagrama de bloques general

II. DESARROLLO

A. Ocho QAM

Es una técnica de codificación M-aria en la que $M = 8$ donde a la salida del modulador la señal no es de amplitud constante.

1) *Transmisor 8-QAM*: La única diferencia entre los transmisores 8-QAM y el 8-PSK es la omisión del inversor entre el canal C y el modulador de producto Q. Como en la 8-PSK, los datos que llegan se dividen en grupos de tres bits (tribits).

De acuerdo con el siguiente diagrama a bloques

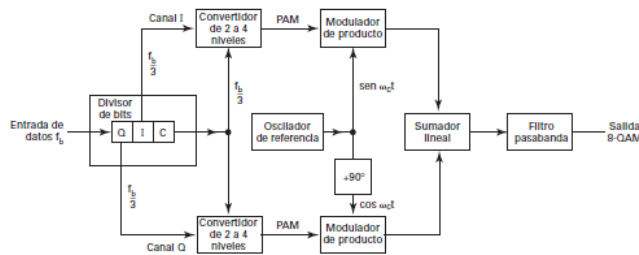


Fig. 4: Transmisor 8-QAM

Se generó una secuencia aleatoria de 255 bits para poder separar en tribits.

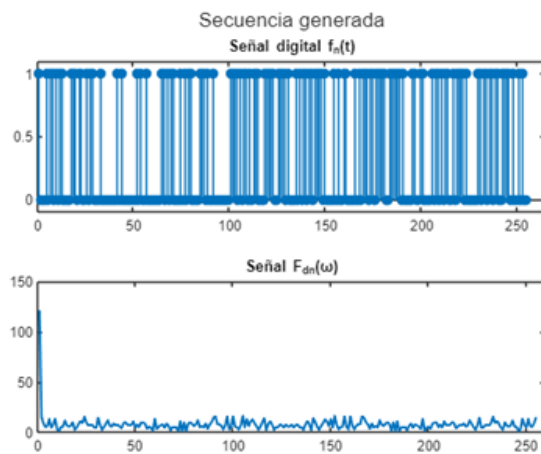


Fig. 5: Transmisor 8-QAM

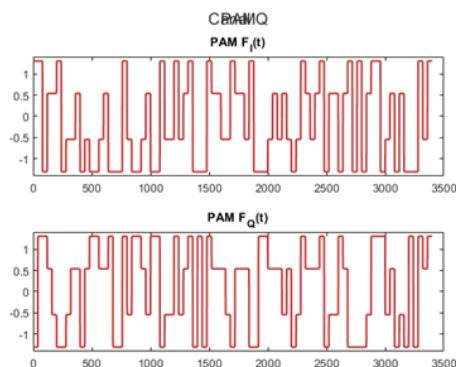


Fig. 6

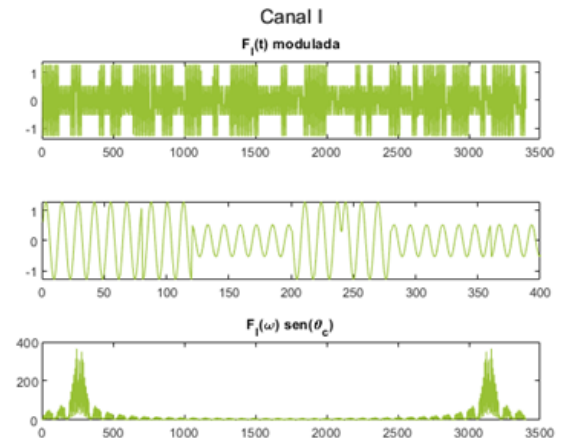


Fig. 7

El filtro pasabajas que se utilizó fue un filtro butterworth de primer grado

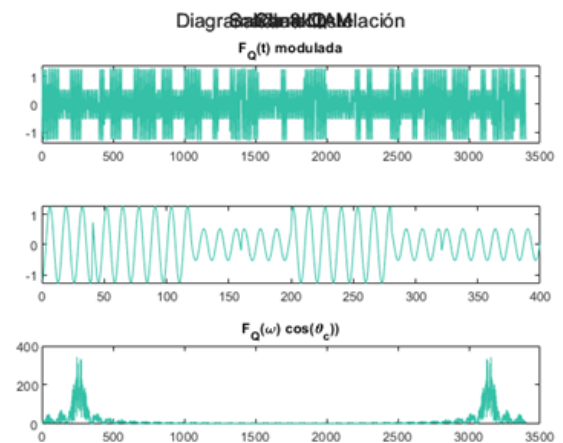


Fig. 8

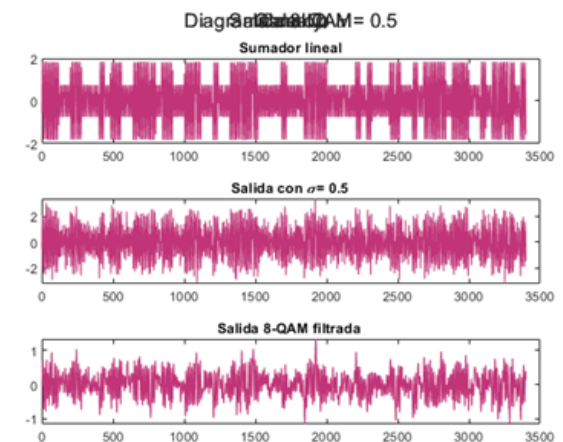


Fig. 9: Salida 8-PSK

2) *Receptor 8-QAM*:

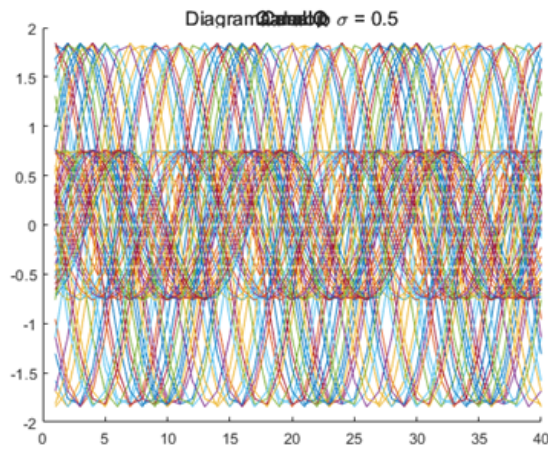


Fig. 10

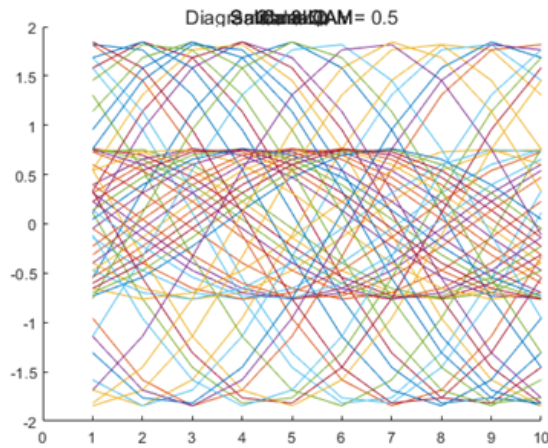


Fig. 11

III. CÓDIGO UTILIZADO EN LA PRÁCTICA

```

1 clc
2 close all
3 clear all
4
5
6 %Valor de a y b
7 a=0.541;
8 b=1.307;
9
10 % ----- SECUENCIA DE BITS -----
11 fdn = randi([0 1],255,1);
12 fdn=fdn';
13 n=1:3400;
14
15
16 %-----GRAFICA DE LA SECUENCIA GENERADA
17 -----
18 figure(1)
19 h=tiledlayout(2,1)
20 title(h,'Secuencia generada');
21 nexttile
22 stem(fdn,'filled')
23 axis([0 265 -0.1 1.1])
24 title('Senal digital f_n(t)')
25 nexttile
26 plot(abs(fft(fdn)), 'LineWidth', 1.5)

```

```

27 title('Señal F_{dn}(\omega)')
28 xlim([0 260])
29
30
31
32 %----- CONVERTIDOR DE 2 A 4 NIVELES
33 -----
34 FI=[];
35 FQ=[];
36 for i=1:3:length(fdn)-1
37 I=fdn(1,i);
38 Q=fdn(1,i+1);
39 C=fdn(1,i+2);
40
41 %----- PARA I
42 switch num2str([I C])
43 case '0 0'
44 FI=[FI, ones(1,40)*a*-1];
45 case '0 1'
46 FI=[FI, ones(1,40)*b*-1];
47 case '1 0'
48 FI=[FI, ones(1,40)*a];
49 case '1 1'
50 FI=[FI, ones(1,40)*b];
51 end
52
53 %----- PARA Q
54
55 switch num2str([Q C])
56 case '0 0'
57 FQ=[FQ, ones(1,40)*a*-1];
58 case '0 1'
59 FQ=[FQ, ones(1,40)*b*-1];
60 case '1 0'
61 FQ=[FQ, ones(1,40)*a];
62 case '1 1'
63 FQ=[FQ, ones(1,40)*b];
64 end
65
66
67 end
68
69 figure(2)
70 w=tiledlayout(2,1);
71 title(w,'PAM')
72 nexttile
73 plot(FI,'Color','#C13535','LineWidth',1.5)
74 ylim([-b-0.1 b+0.1])
75 title("PAM F_I(t)")
76 nexttile
77 plot(FQ,'Color','#C13535','LineWidth',1.5);
78 title("PAM F_Q(t)")
79 ylim([-b-0.1 b+0.1])
80
81
82
83 %----- MODULACION -----
84
85 p1=sin(2*pi*n*(1/13));
86 p2=cos(2*pi*n*(1/13));
87
88 PAM1= FI.*p1; %Canal I
89 PAM2= FQ.*p2; %Canal Q
90
91 figure(3)
92 t=tiledlayout(3,1);
93 title(t,'Canal I')
94 nexttile
95 plot(PAM1,'Color','#98C135')
96 ylim([-b-0.1 b+0.1])
97 title('F_I(t) modulada')
98 nexttile
99 plot(PAM1,'Color','#98C135')
100 xlim([0 400])
101 nexttile
102 plot(abs(fft(PAM1)), 'Color','#98C135')

```

```

103 title('F_I(\omega) sen(\theta_c)')
104
105
106 figure(4)
107 q=tiledlayout(3,1);
108 title(q,'Canal Q')
109 nexttile
110 plot(PAM2,'Color','#35C1A7')
111 ylim([-b-0.1 b+0.1])
112 title('F_Q(t) modulada')
113 nexttile
114 plot(PAM2,'Color','#35C1A7')
115 xlim([0 400])
116 nexttile
117 plot(abs(fft(PAM2)),'Color','#35C1A7')
118 title('F_Q(\omega) cos(\theta_c)')
119
120 %----- SALIDA 8-QAM -----
121
122 Suma= PAM1+PAM2;
123 Ruido=Suma+randn(1,length(n))*0.5;
124
125 %-----FILTRO PASABAJA -----
126 wc=1/20; % Frecuencia de corte del filtro deberia
127           ser menor que la portadora
128 [N,D] = butter(1,wc,'low');
129 Salida8QAM=filter(N,D,Ruido); %sigma=0.5
130
131 figure(5)
132 f=tiledlayout(3,1);
133 title(f,'Salida 8-QAM')
134 nexttile
135 plot(Suma,'Color','#C13578')
136 title('Sumador lineal')
137 nexttile
138 plot(Ruido,'Color','#C13578')
139 title('Salida con \sigma= 0.5')
140 nexttile
141 plot(Salida8QAM,'Color','#C13578')
142 title('Salida 8-QAM filtrada ')
143
144 %----- DIAGRAMA DE OJO -----
145 figure(6)
146 z=tiledlayout(2,1);
147 title(z,'Diagrama de ojo \sigma = 0.5');
148 k=length(Suma);
149 for j=1:40:k-40
150 for i=1:40
151 ojo(i)=Suma(j+i-1);
152 end
153 hold on
154 plot(ojo)
155 end
156 nexttile
157 for j=1:40:k-40
158 for i=1:40
159 ojo(i)=Suma(j+i-1);
160 end
161 hold on
162 plot(ojo)
163 end
164 xlim([0,10])
165
166
167
168
169 %----- RECEPTOR 8QAM -----
170
171 %DEMODULACION
172 demFI=cad( Salida8QAM.*sin(2*pi*n/13));
173 demFQ = cad(Salida8QAM.*cos(2*pi*n/13));
174
175 FIrec=[];
176 FQrec=[];
177
178 % De acuerdo con la documentacion de MatLab
179
180 AvI=cad(demFI);
181 AvQ=cad(demFQ);
182
183
184 for i=1:2:85-1
185 FIrec=[FIrec Detector(AvI(i),AvI(i+1)) ];
186 FQrec=[FQrec Detector(AvQ(i),AvQ(i+1)) ];
187 end
188
189
190 figure(7)
191 m=tiledlayout('flow');
192 title(m,'Diagrama de constelacion');
193 plot(FIrec, FQrec, 'r','markersize', 20)
194
195
196
197 function detec = cad(x)
198 k=length(x);
199 detec = zeros(1,85);
200 r=1;
201
202 for j=0:40:k-40
203 avera=0;
204 for i=1:40
205 avera= avera+x(j+i);
206 end
207 avera=avera/40;
208 if avera <= 0
209 detec(r)= 0;
210 else
211 detec(r)= 1;
212 end
213 r=r+1;
214 end
215 end
216
217 function nv = Detector(x,y)
218 a=0.541;
219 b=1.307;
220 nv = 0;
221 if x == 0 && y == 0
222 nv = -a;
223 else
224 if x == 0 && y == 1
225 nv = -b;
226 else
227 if x == 1 && y == 0
228 nv = a;
229 else
230 if x == 1 && y == 1
231 nv = b;
232 end
233 end
234 end
235 end
236 return
237 end

```

IV. CONCLUSIONES

La modulación QAM implica el uso de una sola banda de frecuencia para transmitir dos señales. Para una clara separación, en el receptor ambas señales de información, las señales portadoras deben ser desplazadas la una contra la otra en una fase de unos 90 grados (Caso del 16-QAM). Esta práctica ilustra el principio general de QAM. Se desarrolló una simulación de la modulación digital 8-QAM para 255 bits, se mostró también el método de demodulación basado en las dos primeras señales QAM siendo este el más complicado de implementar debido a la lógica al programar el detector.

V. BIBLIOGRAFÍA

- Notes, E. (n.d.). What is QAM: Quadrature Amplitude Modulation » Electronics Notes. Electronicsnotes. Retrieved June 21, 2022, from <https://www.electronics-notes.com/articles/radio/modulation/quadrature-amplitude-modulation-what-is-qam-basics.php>
- Xia, Z. (2022, April 2). What Is QAM? Huawei. Retrieved June 21, 2022, from <https://info.support.huawei.com/info-finder/encyclopedia/en/QAM.html>
- Górnica, D. (n.d.). DIGITAL SIMULATION OF 16-QAM MODULATION. KOWALIK Stanisław. Retrieved June 21, 2022, from <https://ipmm.polsl.pl/wp-content/uploads/2019/02/KOWALIK-Stanis%C5%82aw.pdf>
- Tomasi, W. (2001). Electronic Communication Systems: Fundamentals through Advanced (4th Edition) (4th ed.). Prentice Hall.