

Figura 10.12

Ejemplos de duplicación del número de símbolos.

a) QPSK a 8PSK, razón 2/3. b) 16QAM a 32QAM, razón 4/5.

El método de ataque consiste en dividir una constelación M -aria en 2, 4, 8... subconjuntos de tamaño $M/2$, $M/4$, $M/8$... cuya mínima distancia euclidiana entre los puntos se incremente progresivamente. La figura 10.13 ilustra la división a dos niveles de la constelación circular del 8FSK, en 2 y 4 subconjuntos. Todos los subconjuntos comparten la propiedad de que la mínima distancia euclidiana entre sus puntos crece monótonicamente, es decir que $d_0 < d_1 < d_2$. Igual podría hacerse, por ejemplo, con la constelación del 16QAM, dividiéndola en 2, 4 y 8 subconjuntos y encontrando que se cumple la relación $d_0 < d_1 < d_2 < d_3$. (Ver problema 10.4-1). Con base en los subconjuntos provenientes de la división sucesiva de las constelaciones bidimensionales, se puede diseñar un esquema de codificación sencillo y altamente eficiente. Específicamente, para enviar n bits por símbolo mediante *modulación en cuadratura* (o sea, con componentes en fase y en cuadratura), se empieza con una constelación bidimensional de 2^{n+1} puntos adecuada al formato de modulación de interés; una rejilla circular se emplea para el MFSK y una rejilla rectangular para el MQAM. En cualquier caso, la constelación se divide en cuatro u ocho subconjuntos. Uno o dos bits de entrada por símbolo entran a un codificador convolucional binario de razón $1/2$ ó $2/3$, respectivamente. Los dos o tres bits por símbolo resultantes determinan la selección de un subconjunto en particular; los restantes bits de datos no codificados determinan cual punto en particular del subconjunto seleccionado es el señalizado. A este tipo de códigos se les conoce como *códigos de Ungerboeck*.

Ocurrencia de un error

La figura 10.14 ilustra una secuencia transmitida identificada como $U = \dots U_1, U_2, U_3, \dots$ y otra secuencia alterna $V = \dots V_1, V_2, V_3, \dots$. La secuencia alterna primero diverge de la secuencia transmitida y luego converge con ella. Cuando los símbolos recibidos están más cerca en distancia euclidiana de la secuencia alterna V que de la realmente transmitida U , ocurrirá un error. Así, la separación entre U y V describe un evento errado. Esto implica que los códigos para señalamiento multinivel y/o multifase, deben diseñarse para alcanzar la

máxima distancia euclidiana libre, en lugar de la máxima distancia Hamming libre. Por lo tanto, la optimización de los códigos de enrejado se logra asignando a los puntos de la constelación los bits codificados de manera que sea máxima la distancia euclidiana. El mapeo entre bits y símbolos responde al proceso de asignación indicado de *división en subconjuntos*, el cual permite lograr una ganancia de codificación mediante una adecuada selección de los estados del enrejado. Las reglas de tal método se resumen de la siguiente forma:

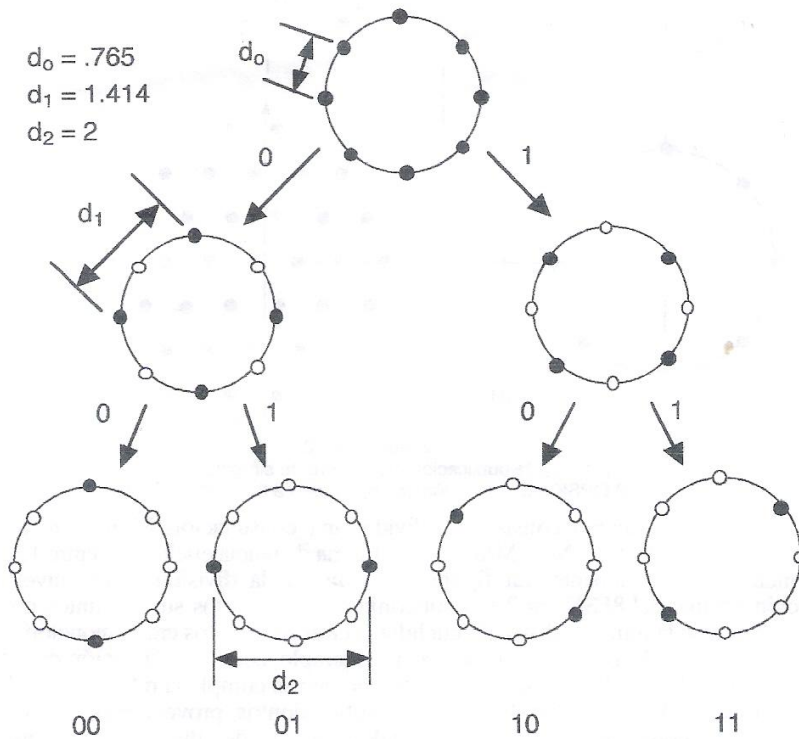


Figura 10.13
División de la constelación de 8PSK

1. Todas las transiciones en paralelo en la estructura del enrejado deben quedar separadas por la máxima distancia euclidiana.
2. A toda transición que sale o llega a un estado del enrejado se le asigna, en distancia euclidiana, la siguiente máxima separación posible.

Las *transiciones en paralelo* se refiere a las palabras de las ramas que resultan de la transmisión de bits no codificados junto con bits codificados. La asignación señalada toma en cuenta que en esas palabras pueden ocurrir errores debido a un solo bit errado en la señal. Esto se aclarará con el siguiente ejemplo.

♦ Ejemplo: La figura 10.15 ilustra un codificador convolucional de razón 2/3 con una memoria $K = 2$. La razón de codificación 2/3 se logra transmitiendo sin modificación uno de cada dos bits de entrada y codificando el otro bit en dos canales, usando un codificador de razón 1/2.