

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 604 453**

51 Int. Cl.:

H04B 1/38 (2006.01)

H04L 5/16 (2006.01)

H04L 27/34 (2006.01)

H04B 17/00 (2015.01)

H04B 7/185 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **03.07.2003 PCT/US2003/020847**

87 Fecha y número de publicación internacional: **15.01.2004 WO04006455**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.07.2003 E 03742393 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.08.2016 EP 1529347**

54 Título: **Método y aparato para modulación en capas**

30 Prioridad:

03.07.2002 US 393437 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

07.03.2017

73 Titular/es:

**THE DIRECTV GROUP, INC. (100.0%)
2250 E. IMPERIAL HIGHWAY
EL SEGUNDO, CA 90245, US**

72 Inventor/es:

**CHEN, ERNEST, C. y
SANTORU, JOSEPH**

74 Agente/Representante:

IZQUIERDO BLANCO, María Alicia

ES 2 604 453 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

Método y aparato para modulación en capas

DESCRIPCIÓN

5 ANTECEDENTES DE LA INVENCION

1. Campo de la invención

10 La presente invención se refiere generalmente a sistemas y métodos para transmitir y recibir señales digitales, y en particular, a sistemas y métodos para transmitir y recibir señales digitales usando técnicas de modulación en capas.

2. Descripción de la técnica relacionada

15 Los sistemas de comunicación de señales digitales se han usado en diversos campos, que incluyen la transmisión de señales de TV digital, tanto terrestre como vía satélite.

20 A medida que evolucionan los diversos sistemas de comunicación de señales digitales y servicios, hay una demanda creciente de elevado procesamiento de datos y servicios añadidos. Sin embargo, es más difícil de implementar tanto la mejora en sistemas antiguos como sistemas nuevos cuando es necesario sustituir el hardware heredado existente, tal como transmisores y receptores. Los nuevos sistemas y servicios son ventajosos cuando pueden utilizar el hardware heredado existente. En el campo de las comunicaciones inalámbricas, este principio se resalta adicionalmente por la disponibilidad limitada del espectro electromagnético. Así, no es posible (o al menos no es práctico) transmitir simplemente datos potenciados o adicionales a una nueva frecuencia.

25 El método convencional de aumentar la capacidad espectral es moverse a una modulación orden superior, tal como de modulación por desplazamiento de fase en cuadratura (QPSK) a modulación por desplazamiento de ocho fases (8PSK) o modulación de amplitud en cuadratura de dieciséis estados (16QAM). Desafortunadamente, los receptores de QPSK no pueden demodular las señales de 8PSK o 16QAM convencionales. Como resultado, los clientes heredados con receptores de QPSK deben actualizar sus receptores con el fin de continuar recibiendo cualquier
30 señal transmitida con una modulación 8PSK o 16QAM.

35 Se han identificado y desarrollado técnicas de modulación en capas para aumentar la capacidad, tanto en implementaciones compatibles hacia atrás como no compatibles hacia atrás. La modulación jerárquica, particularmente 8PSK jerárquica (H-8PSK), también es un tipo especial de modulación en capas que ha sido desarrollada dirigido a una implementación de modulación en capas compatible hacia atrás.

El documento WO 01/39455A1 describe un sistema en el que un transmisor codifica y modula dos corrientes de datos coherentemente.

40 Lo que se necesitan son sistemas y métodos que mejoren la implementación de modulación en capas, que incluyen implementaciones de modulación jerárquica. Además, existe la necesidad de sistemas y métodos que simulen el rendimiento de los sistemas de modulación en capas. La presente invención cumple estas y otras necesidades.

SUMARIO DE LA INVENCION

45 Se desvelan mejoras a una implementación de modulación en capas (LM). La presente invención se refiere a dos implementaciones de LM, usando transpondedores únicos y múltiples por frecuencia señal, respectivamente. La 8PSK jerárquica en capas (H-8PSK) es un caso especial de LM. Recodificando la porción de alta prioridad (HP) de una señal de H-8PSK, LM puede mejorar la relación portadora a ruido (CNR) de una señal de H-8PSK.

50 Además, la LM puede simularse por ordenador y una señal de dos capas puede ser demodulada secuencialmente con un rendimiento de CNR predicho. Una señal de LM puede ser emulada usando señales en vivo para el procesamiento fuera de línea. Además, un aparato de procesamiento de señales puede procesar señales de LM en tiempo real emuladas de señales de satélite en vivo.

55 Realizaciones de la invención comprenden sistemas y métodos para simular una señal modulada en capas, que incluyen una señal jerárquicamente modulada. Tales sistemas y métodos son útiles en el desarrollo de sistemas modulados en capas debido a que permiten pruebas convenientes de implementaciones propuestas y ajustes a los sistemas existentes y proporcionan indicadores de rendimiento a bajo coste.

60 Un método típico de simulación de una señal modulada en capas que tiene una primera modulación de una capa superior y una segunda modulación de una capa inferior comprende proporcionar una señal de la capa superior que comprende una primera corriente de bits, proporcionar una señal de la capa inferior que comprende una segunda corriente de bits, atenuar la señal de la capa inferior y combinar la señal de la capa superior y la señal de la capa inferior atenuada para producir la señal compuesta modulada en capas. La segunda corriente de bits se modula por
65 una segunda portadora no coherente con la primera portadora. Las capas superior e inferior pueden ser moduladas

por separado en un entorno de laboratorio o ser recibidas de distintas antenas.

Un simulador de sistema modulado en capas a modo de ejemplo comprende un primer modulador para modular una corriente de bits de la capa superior para producir una señal de la capa superior, un generador de ruido para añadir ruido a la señal de la capa superior, un segundo modulador para modular una corriente de bits de una capa inferior para producir una señal de la capa inferior, un atenuador para atenuar la señal de la capa inferior y un combinador para combinar la señal de la capa superior con ruido añadido y la señal de la capa inferior atenuada para producir la señal compuesta modulada en capas. La segunda corriente de bits se modula por una segunda portadora no coherente con la primera portadora. Esta realización de la invención puede usarse para emular una señal compuesta modulada en capas completamente dentro de un laboratorio.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Con referencia ahora a los dibujos en los que números de referencia similares representan partes correspondientes en todas partes:

Las FIGS. 1A-1C ilustran la relación de capas de señal en una transmisión de modulación en capas;

las FIGS. 2A-2C ilustran una constelación de señales, junto con características de la fase, de una segunda capa de transmisión sobre una primera capa de transmisión no coherentemente;

la FIG. 3A es un diagrama que ilustra una constelación de señales de QPSK;

la FIG. 3B es un diagrama que ilustra una constelación de señales de 8PSK no uniforme lograda mediante modulación en capas;

la FIG. 4A es un diagrama de bloques que ilustra un sistema de modulación en capas usando un único transpondedor;

la FIG. 4B es un diagrama de bloques que ilustra un sistema de modulación en capas usando dos transpondedores;

la FIG. 5 es un diagrama de bloques de un receptor a modo de ejemplo de una señal de modulación en capas;

la FIG. 6 es un gráfico que ilustra la capacidad de canal compartida entre las capas superior e inferior;

las FIGS. 7 es un diagrama de bloques de un receptor a modo de ejemplo para modulación jerárquica;

las FIGS. 8 es un diagrama de bloques de un segundo receptor a modo de ejemplo para modulación jerárquica;

la FIG. 9 es un diagrama de bloques de un simulador de señales moduladas en capas a modo de ejemplo;

la FIG. 10 es una GUI de un simulador de señales moduladas en capas a modo de ejemplo que muestra resultados de la prueba de BER;

la FIG. 11A es un diagrama de bloques de un sistema a modo de ejemplo para simular una señal modulada en capas en un laboratorio;

la FIG. 11B es un diagrama de bloques de un sistema a modo de ejemplo para simular una señal modulada en capas usando señales de satélite;

la FIG. 12 es un diagrama de flujo de un método a modo de ejemplo de simulación de una señal modulada en capas;

la FIG. 13 es un diagrama de flujo de un procesamiento a modo de ejemplo para una señal modulada en capas;

la FIG. 14 es la representación del espectro de potencia de una señal modulada en capas a modo de ejemplo;

las FIGS. 15A-15C son representaciones que ilustran la recuperación de reloj de símbolo de la capa superior para una señal modulada en capas a modo de ejemplo;

las FIGS. 15D-15F son representaciones que ilustran una señal recuperada del reloj de símbolo de la capa superior para una señal modulada en capas a modo de ejemplo;

las FIGS. 16A-16C son representaciones que ilustran la recuperación de portadora de capa superior para una

señal modulada en capas a modo de ejemplo;

las FIGS. 16D-16F son representaciones que ilustran una señal recuperada de portadora de capa superior para una señal modulada en capas a modo de ejemplo;

la FIG. 17A es un gráfico de errores binarios de capa superior no codificados en la salida del demodulador para una señal modulada en capas a modo de ejemplo;

la FIG. 17B es un gráfico de errores de byte de capa superior en la salida del decodificador de Viterbi para una señal modulada en capas a modo de ejemplo;

la FIG. 17C es un gráfico de errores de byte de capa superior en la salida del desentrelazador para una señal modulada en capas a modo de ejemplo;

la FIG. 17D es un gráfico de errores de la capa superior corregibles por un decodificador de Reed-Solomon para una señal modulada en capas a modo de ejemplo;

la FIG. 18 es un gráfico de adaptación del nivel de potencia para una señal modulada en capas a modo de ejemplo;

la FIG. 19 es una representación del espectro de potencia de una señal de la capa inferior extraída de una señal modulada en capas a modo de ejemplo;

las FIGS. 20A-20C son representaciones que ilustran la recuperación de reloj de símbolo de la capa inferior para una señal modulada en capas a modo de ejemplo;

las FIGS. 20D-20F son representaciones que ilustran una señal recuperada del reloj de símbolo de la capa inferior para una señal modulada en capas a modo de ejemplo;

las FIGS. 21A-21C son representaciones que ilustran la recuperación de portadora de la capa inferior para una señal modulada en capas a modo de ejemplo;

las FIGS. 21D-21F son representaciones que ilustran una señal recuperada de la portadora de la capa inferior para una señal modulada en capas a modo de ejemplo;

la FIG. 22A es un gráfico de errores binarios de la capa inferior no codificados en la salida del demodulador para una señal modulada en capas a modo de ejemplo;

la FIG. 22B es un gráfico de los errores de byte de capa inferior en la salida del decodificador de Viterbi para una señal modulada en capas a modo de ejemplo;

la FIG. 22C es un gráfico de los errores de byte de capa inferior en la salida del desentrelazador para una señal modulada en capas a modo de ejemplo;

la FIG. 22D es un gráfico de errores de la capa superior corregibles por un decodificador de Reed-Solomon para una señal modulada en capas a modo de ejemplo;

la FIG. 23A es un gráfico de las tasas de error binario no codificado para las capas superior e inferior de una señal modulada en capas a modo de ejemplo; y

la FIG. 23B es un gráfico de las tasas de error binario de la salida del decodificador de Viterbi para las capas superior e inferior de una señal modulada en capas a modo de ejemplo.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE REALIZACIONES PREFERIDAS

En la siguiente descripción, se hace referencia a los dibujos adjuntos que forman parte de la misma, y que muestran, a modo de ilustración, varias realizaciones de la presente invención. Se entiende que pueden utilizarse otras realizaciones y pueden hacerse cambios estructurales sin apartarse del alcance de la presente invención, como se define por las reivindicaciones adjuntas.

MODULACIÓN/DEMODULACIÓN EN CAPAS Y JERÁRQUICA

Las FIGS. 1A-1C ilustran la relación básica de capas de señal en una transmisión de modulación en capas. La FIG. 1A ilustra una constelación de señales de la primera capa 100 de una señal de transmisión que muestra los puntos de señal o símbolos 102. La FIG. 1B ilustra la constelación de señales de la segunda capa de símbolos 104 sobre la constelación de señales de la primera capa 100 donde las capas son coherentes. La FIG. 1C ilustra una segunda

capa de señales 106 de una segunda capa de transmisión sobre la constelación de la primera capa donde las capas pueden ser no coherentes. La segunda capa 106 gira alrededor de la constelación de la primera capa 102 debido a la frecuencia de modulación relativa de las dos capas en una transmisión no coherente. Tanto la primera como la segunda capas giran alrededor del origen debido a la primera frecuencia de modulación en capas como se describe por la trayectoria 108.

Las FIGS. 2A-2C ilustran una constelación de señales de una segunda capa de transmisión sobre la primera capa de transmisión después de la primera demodulación de capas. La FIG. 2A muestra la constelación 200 antes del primer bucle de recuperación de portadora (CRL) y la FIG. 2B muestra la constelación 200 después de CRL. En este caso, los puntos de señal de la segunda capa son en realidad anillos 202. La FIG. 2C representa una distribución de fase de la señal recibida con respecto a los nodos 102. Una frecuencia de modulación relativa hace que la constelación de la segunda capa gire alrededor de los nodos de la constelación de la primera capa. Después del CRL de la segunda capa se elimina esta rotación. El radio de la constelación de la segunda capa se determina por su nivel de potencia. El espesor de los anillos 202 se determina por la relación de la portadora con respecto al ruido (CNR) de la segunda capa. Como las dos capas son no coherentes, la segunda capa también puede usarse para transmitir señales analógicas o digitales. Un caso especial de modulación en capas se encuentra en la modulación jerárquica, tal como 8PSK no uniforme jerárquica.

La FIG. 3A es un diagrama que ilustra una constelación de señales para una señal de datos de QPSK HP. La constelación de señales incluye cuatro posibles resultados de la señal 302 para A y B en la que $\{A,B\} = \{0,0\}$ (punto 302A en el primer cuadrante), $\{1,0\}$ (punto 302B en el segundo cuadrante), $\{1,1\}$ (punto 302C en el tercer cuadrante), y $\{0,1\}$ (punto 302D en el cuarto cuadrante). A partir de ella se determina una señal entrante y demodulada mapeada con uno de los cuadrantes (I-IV) y el valor para $\{A,B\}$ (y, por tanto, el valor para la porción relevante de la corriente de datos de HP).

La FIG. 3B es un diagrama que ilustra una constelación de 8PSK creada mediante la adición de una corriente de datos de LP (representada por "C"). La aplicación de modulación jerárquica añade dos valores de datos posibles para "C" ($C = \{1,0\}$) a cada uno de los resultados 302A-302D. Por ejemplo, el resultado 302A ($\{A,B\} = \{0,0\}$) se amplía a un par de resultados 304A y 304A' ($\{A,B,C\} = \{0,0,1\}$ y $\{0,0,0\}$), respectivamente, con los miembros del par separados por un ángulo θ de $\{A,B\}$. Esto amplía la constelación de señales para incluir 8 nodos 104A-104D (cada uno mostrado como puntos sólidos).

Si el ángulo θ es suficientemente pequeño, una señal de QPSK heredada recibirá tanto $\{A,B,C\} = \{0,0,1\}$ y $\{0,0,0\}$ como $\{A,B\} = \{0,0\}$. Solo los receptores capaces de realizar el segundo nivel jerárquico de modulación (LP) pueden extraer el valor para $\{C\}$ bien como $\{0\}$ o bien como $\{1\}$. Esta estructura de señal jerárquica se ha llamado 8PSK "no uniforme".

La elección de la variable 0 depende de una variedad de factores. La FIG. 3B, por ejemplo, presenta los puntos de datos idealizados sin ruido. El ruido y los errores en la transmisión y/o recepción de la señal varían la posición real de los nodos 304A-304D y 304A'-304D' en la FIG. 3B. Las regiones de ruido 306 que rodean cada nodo indican áreas en la constelación donde los datos medidos pueden en realidad residir. La capacidad del receptor para detectar los símbolos y representarlos con exactitud depende del ángulo Θ , la potencia de la señal (por ejemplo, la portadora), representada por r_c , y el ruido (que puede representarse por r_n). Como puede apreciarse inspeccionando la FIG. 3B, la interferencia de LP en HP se reduce a medida que aumenta la potencia de la señal, o a medida que aumenta Θ . El rendimiento de este sistema de modulación jerárquica puede expresarse en términos de su relación de portadora con respecto a interferencia (C/I).

Con una demodulación tipo en capas como en la presente invención, se evita el ruido contribuido por los errores de símbolo UL a la señal LL extraída. Con un mapeo de modulación en capas, el valor de bit de LP para los 8 nodos alterna entre 0 y 1 alrededor del círculo, es decir, $\{0, 1, 0, 1, 0, 1, 0, 1\}$. Esto es a diferencia de la asignación $\{0, 0, 1, 1, 0, 0, 1, 1\}$ en la Figura 3B para la modulación jerárquica convencional. La demodulación en capas primero decodifica en FEC los símbolos de la capa superior con un rendimiento cuasi libre de error (QEF), luego usa los símbolos de QEF para extraer la señal de la capa inferior. Por tanto, no se introducen errores por los errores de símbolo de la capa inferior no codificados. La memoria de retardo requerida para obtener los símbolos de la capa superior de QEF para la presente solicitud presenta un pequeño coste de receptor adicional, particularmente en vista del coste de memoria en estado sólido cada vez más decreciente con el tiempo.

En un receptor jerárquico convencional que usa 8PSK no uniforme, el rendimiento de la señal de LP puede ser afectado por el rendimiento del demodulador de HP. El demodulador normalmente incluye un reloj y bucle de recuperación de portadora. En la mayoría de los bucles de recuperación convencionales, se incluye un bucle de retroalimentación dirigido por decisión. Se usan decisiones de símbolo no codificadas en la predicción del error de seguimiento en cada tiempo de símbolo del bucle de recuperación. El bucle de seguimiento recuperaría un vector de error siempre que una decisión de símbolo esté en error; la tasa de error de símbolo (SER) no codificado podría ser de hasta el 6 % en muchos sistemas heredados. Un demodulador corregido con FEC de la presente invención evita la degradación.

La FIG. 4A es un diagrama de bloques que ilustra un primer sistema de modulación en capas 400 usando un único transpondedor 402 en un satélite. La señal de enlace ascendente 406 se procesa en el centro de transmisión 408. Tanto las señales 410, 412 de la capa superior (UL) como de la capa inferior (LL) están codificadas y mapeadas y se modulan juntas 414 antes de la conversión ascendente de la frecuencia 416. Las señales 410, 412 se combinan después de codificar FEC. Un receptor 418 decodifica el enlace descendente del transpondedor 402. Los amplificadores de tubo de onda progresiva (TWTAs) individuales convencionales son adecuados para señal de envolvente constante tal como 8PSK y derivados. Este sistema es apto para la modulación en capas usando señales UL y LL coherentes.

La FIG. 4B es un diagrama de bloques que ilustra un segundo sistema de modulación en capas 420 usando múltiples transpondedores 402A, 402B. Las señales 410, 412 de la capa superior (UL) y de la capa inferior (LL) se codifican y mapean separadas y se modulan 414A, 414B antes de la conversión ascendente de la frecuencia separada 416A, 416B. Puede usarse un centro de transmisión separado 408 para cada capa. Las señales 410, 412 se combinan en el espacio antes del enlace descendente. Un receptor 418 decodifica las señales de enlace descendente recibidas simultáneamente de los transpondedores 402A, 402B. Los TWTAs separados para los transpondedores 402A, 402B permiten que las salidas de TWTA no lineales se combinen en el espacio. Las señales de la capa superior y de la capa inferior 410, 412 son no coherentes.

La FIG. 5 es un diagrama de bloques de un receptor 500 a modo de ejemplo de una señal de modulación en capas, similar a aquella descrita en la solicitud de patente de EE.UU. N.º de serie 09/844.401, presentada el 27 de abril de 2001, y titulada "LAYERED MODULATION FOR DIGITAL SIGNALS", por Ernest C. Chen. La re-codificación y re-modulación de FEC puede empezar antes de la decodificación final de la capa superior. Además, el procesamiento se simplifica para señales que son coherentes entre capas, particularmente el procesamiento de la capa inferior.

El efecto de la modulación en dos capas sobre la capacidad de canal puede demostrarse por el siguiente análisis.

N : Potencia de ruido térmico

S_L : Potencia de la señal de la capa inferior con distrib. de fuente gaussiana

N_U : Potencia eficaz del ruido de la capa superior ($N_U = S_L + N$)

S_U : Potencia de la señal de la capa superior con distrib. de fuente gaussiana

C_{CM} : Capacidad de canal para modulación convencional (bps/Hz) con la potencia total

C_{LM} : Capacidad de canal para modulación en capas (bps/Hz)

$$C_{CM} = \log_2 \left(1 + \frac{S_L + S_U}{N} \right)$$

$$C_{LM} = \log_2 \left(1 + \frac{S_L}{N} \right) + \log_2 \left(1 + \frac{S_U}{N_U} \right) = \log_2 \left[\left(1 + \frac{S_L}{N} \right) \left(1 + \frac{S_U}{N_U} \right) \right]$$

Como

$$\left(1 + \frac{S_L}{N} \right) \left(1 + \frac{S_U}{N_U} \right) = 1 + \frac{S_L}{N} + \left(1 + \frac{S_L}{N} \right) \frac{S_U}{S_L + N} = 1 + \frac{S_L + S_U}{N}$$

De esto resulta que

$$C_{LM} = C_{CM}$$

Así, suponiendo fuente gaussiana y distribuciones de ruido, el compartir la potencia entre dos capas no reduce la capacidad total de un sistema de modulación en capas.

El efecto de una capa adicional en un sistema de modulación en capas sobre la capacidad de canal también puede demostrarse por el siguiente análisis.

N : Potencia del ruido térmico

S_B : Suma de potencia de 2 señales inferiores con distrib. de fuente gaussiana

$$(B \equiv U + L; \quad S_B = S_U + S_L)$$

N_T : Potencia del ruido de la capa superior ($N_T = S_B + N$)

S_T : Potencia de la señal de la capa superior con distrib. de fuente gaussiana

C_{CM} : Capacidad de canal para modulación convencional (bps/Hz)

con la potencia total

C_{LM} : Capacidad de canal para modulación en capas (bps/Hz)

$$C_{CM} = \log_2 \left(1 + \frac{S_B + S_T}{N} \right)$$

$$C_{LM} = \log_2 \left(1 + \frac{S_B}{N} \right) + \log_2 \left(1 + \frac{S_T}{N_T} \right) = \log_2 \left[\left(1 + \frac{S_B}{N} \right) \left(1 + \frac{S_T}{N_T} \right) \right]$$

Como

$$\left(1 + \frac{S_B}{N} \right) \left(1 + \frac{S_T}{N_T} \right) = 1 + \frac{S_B}{N} + \left(1 + \frac{S_B}{N} \right) \frac{S_T}{S_B + N} = 1 + \frac{S_B + S_T}{N}$$

De esto resulta que

$$C_{LM} = C_{CM}$$

Así, suponiendo otra vez fuente gaussiana y distribuciones de ruido, el compartir la potencia entre cualquier número de capas no reduce la capacidad total.

La FIG. 6 es una representación de ejemplo que ilustra la capacidad de canal compartida entre las capas superior e inferior. Este ejemplo es para una potencia de señal total de 11,76 dB (referida a ruido térmico). La potencia es compartida entre las señales de la capa superior e inferior. Se supone una distribución de fuente gaussiana para ambas capas, además de una distribución de ruido gaussiana. La capacidad de canal es aproximadamente 4 bps/Hz para CNR de 11,76 dB. Como se muestra, la suma de las capacidades de las dos capas siempre es igual a la capacidad total.

Puede visualizarse 8PSK jerárquica como un caso especial de modulación en capas. Con referencia a la FIG. 3B, puede aplicarse potencia constante para todas las señales. La señal de datos de alta prioridad (HP), representada por los nodos 302A-302D, se corresponde con la capa superior. La señal de baja prioridad (LP), representada por los nodos 304A-304D y 304A'-304D', se corresponde con la capa inferior. Las señales de HP y LP son sincronas, teniendo fase coherente y reloj de baudios idéntico. La capa de HP de una señal jerárquicamente modulada de 8PSK puede ser demodulada como si la señal compuesta fuera QPSK, normalmente usando un bucle de seguimiento de retroalimentación dirigida por decisión.

Las FIGS. 7 y 8 son diagramas de bloques de receptores a modo de ejemplo para modulación jerárquica similar a aquella descrita en la solicitud de patente PCT N.º PCT/US03/20862, presentada el 1 de julio de 2003, y titulada "IMPROVING HIERARCHICAL 8PSK PERFORMANCE", por Ernest C. Chen et al.

SIMULACIÓN EN CAPAS Y JERÁRQUICA

Las realizaciones de la invención comprenden sistemas y métodos para simular una señal modulada en capas, que incluye una señal jerárquicamente modulada. Los métodos y sistemas presentados en el presente documento pueden usarse para acelerar el estudio y el desarrollo de sistemas de modulación en capas, mientras que se reducen los costes. Pueden evaluarse rápida y económicamente muchas implementaciones de modulación en capas propuestas diferentes.

En una realización a modo de ejemplo, se desarrolla una simulación de extremo a extremo de canal de comunicación, que incluye distorsiones de satélite, ruido de enlace descendente, ruido de fase de receptor y errores de implementación del receptor. El simulador puede desarrollarse usando una herramienta de programación matemática tal como MATLAB. Pueden incorporarse señales estándar en el simulador para aplicación rápida, por ejemplo, señales de DIRECTV y DVB-S, además de turbo códigos y otras señales.

El simulador puede usarse para procesar señales simuladas por ordenador o datos capturados de moduladores y/o satélites. Por ejemplo, las señales de LM pueden ser emuladas por señales en tiempo real de combinación de RF. Además, pueden realizarse pruebas de laboratorio de comprobación cruzada con rendimiento de señales sintetizadas. El procesador de señales de LM de la matriz de puertas programables por campo (FPGA) imita esencialmente a un simulador de LM de la invención, pero con procesamiento en tiempo real.

La FIG. 9 es un diagrama de bloques de una simulación completa 900 de una señal modulada en capas. Se usan generadores de secuencia binaria pseudoaleatoria (PRBS) 902, 904 para crear los datos de la capa superior e inferior. Los datos de cada capa se pasan entonces a través de un codificador de corrección de error en sentido

directo (FEC) 906, 908. Después de codificar la FEC, las señales pueden procesarse para simular tanto un sistema transpondedor único como dual. Véanse las FIGS. 4A y 4B. Si un sistema de transpondedor dual está siendo simulado (como en la FIG. 4B), las capas superior e inferior se procesan por separado. Cada capa de señales se pasa por separado a través de un mapeador de señales 910A, 910B, un filtro de conformación de impulsos 912A, 912B (por ejemplo, un filtro en raíz de coseno alzado), un reloj de baudios y simulador del desplazamiento de la frecuencia de la portadora 914A, 914B, y un simulador de distorsión satélite 916A, 916B. Si está siendo simulado un único sistema de transpondedor (como en la FIG. 4A), las capas superior e inferior se combinan y pasan a través del mismo conjunto de procesos junto con una suma total ponderada contenida en el mapeador de señales 910. Para un sistema de transpondedor dual, las capas superior e inferior se combinan en la salida en una suma total ponderada 918. En cualquier caso, se añaden los efectos de interferencia de canal modelados 920 (adyacentes y co-canal). La señal compuesta se procesa entonces añadiendo ruido blanco gaussiano proporcionado por un generador de ruido 922, ruido de fase de un generador de ruido de fase 924 y filtrado de frecuencia por un filtro de extremo delantero del receptor 926 antes del procesamiento del receptor 928. Los datos capturados 930 del equipo de laboratorio que proporcionan la misma funcionalidad que los módulos de simulación (902, 904...puntos de pared en la Figura 9 excepto 930 y 928) pueden aplicarse al procesamiento del receptor para evaluar el rendimiento.

La FIG. 10 es una interfaz de usuario gráfica (GUI) 1000 de un simulador de señales moduladas en capas a modo de ejemplo que incluye varios bloques de la FIG. 9 que muestran los resultados de la prueba de BER. La presentación delinea el flujo de procesamiento de señales del simulador. Se muestran transmisores de señales de la capa superior e inferior 1002, 1004 con salidas de señales combinadas y pasadas a través del canal de ruido blanco gaussiano aditivo (AWGN) 1006. La señal compuesta llega entonces al receptor 1008. Se proporcionan salidas de la capa inferior a un bloque de medición del rendimiento de la capa inferior 1010 junto con la señal de la capa inferior original del transmisor de la capa inferior 1004. Similarmente, las salidas de la capa superior se proporcionan a un bloque de medición del rendimiento de la capa superior 1012 junto con la señal original de la capa superior del transmisor de la capa superior 1002. Se realiza un cálculo de la tasa de error y de error binario basado en marco para cada capa para establecer una medición de rendimiento. Los parámetros operaciones pueden establecerse en una caja de diálogo 1014.

La FIG. 11A es un diagrama de bloques de un sistema 1100 a modo de ejemplo para sintetizar una señal modulada en capas en un laboratorio. Se usa un primer modulador 1102 para modular una primera corriente de bits, por ejemplo una PRBS, de la capa superior para producir una señal de la capa superior. Puede usarse un generador de ruido 1106 para añadir ruido a la señal de la capa superior. Se usa un segundo modulador 1104 para modular una segunda corriente de bits de una capa inferior para producir una señal de la capa inferior. Puede usarse un atenuador 1108 (tal como atenuador variable) para atenuar apropiadamente la señal de la capa inferior. Entonces se usa un combinador 1110 para combinar la señal de la capa superior con ruido añadido y la señal de la capa inferior atenuada para producir la señal compuesta modulada en capas (equivalentemente, puede colocarse un generador de ruido 1106 con un nivel de potencia de salida correspondiente en la trayectoria de la capa inferior en lugar de la trayectoria de la capa superior). La señal compuesta modulada en capas pueden entonces convertirse de forma ascendente 1112 antes de ser comunicada a un sintonizador 1114 para extraer los componentes en fase y en cuadratura de las capas de señal separadas, analizarse usando un indicador 1116 según se desee. Si se usa un osciloscopio de digitalización, las señales en fase y en cuadratura digitalizadas pueden introducirse como los datos capturados 930 en la Figura 9. Pueden usarse acopladores direccionales 1118, 1120 para derivar la señal de la capa superior (antes de la adición de ruido) y la señal de la capa inferior (después de la atenuación) que van a usarse en evaluar el nivel de potencia relativo de las señales de la capa superior e inferior antes de la adición por el combinador 1110. Similarmente, la señal compuesta también puede ser derivada por un acoplador de dirección 1122.

La FIG. 11B es un diagrama de bloques de un sistema 1150 a modo de ejemplo para simular una señal modulada en capas usando señales de satélite. Las distintas señales de satélite 1152, 1154 son recibidas en antenas separadas 1156, 1158. Es importante observar que las dos señales recibidas 1152, 1154 no son señales de modulación en capas. Ambas señales 1152, 1154 se pasan a través de amplificadores separados 1160, 1162. La señal satélite 1154 que va a usarse como señal de la capa inferior se pasa a través de un atenuador 1164 (tal como un atenuador variable) para atenuar apropiadamente la señal. Ambas señales se combinan entonces en el combinador 1166 para formar la señal compuesta de modulación en capas. La señal compuesta puede entonces comunicarse a un sintonizador 1168 para extraer los componentes en fase y en cuadratura de las capas de señales separadas que pueden analizarse usando un indicador 1176. Si se usa un osciloscopio de digitalización, las señales en fase y en cuadratura digitalizadas pueden introducirse como los datos capturados 930 en la Figura 9. Pueden usarse acopladores direccionales 1170, 1172, 1174 para derivar la señal de la capa superior, señal de la capa inferior y la señal compuesta, respectivamente. Esta señal derivada se usan para evaluar el rendimiento de señales y/o del atenuador. Este sistema 1150 requiere equipo menos caro que la realización de la FIG. 11A (particularmente, omitiendo los moduladores 1102, 1104). Además, debido a que se usan señales de satélite actuales 1152, 1154, los efectos de las señales reales están incluidos en la señal compuesta modulada en capas.

La FIG. 12 es un diagrama de flujo de un método 1200 a modo de ejemplo para simular una señal modulada en capas. El método se aplica a los sistemas de tanto las FIGS. 11A como 11B. El método 1200 simula una señal modulada en capas que tiene una primera modulación de una capa superior y una segunda modulación de una capa

inferior. En la etapa 1202, se proporciona una señal de la capa superior que comprende una primera corriente de bits modulada. En la etapa 1204, se proporciona una señal de la capa inferior que comprende una segunda corriente de bits modulada. A continuación, en la etapa 1206, la señal de la capa inferior se atenúa. Finalmente, en la etapa 1208, la señal de la capa superior y la señal de la capa inferior atenuada se combinan para producir la señal compuesta modulada en capas. El método puede modificarse adicionalmente de acuerdo con las anteriores realizaciones del sistema.

La FIG. 13 es un diagrama de flujo de procesamiento para una señal modulada en capas. Detalle adicional del procesamiento de modulación en capas puede encontrarse la solicitud de patente de EE.UU. N.º de serie 09/844.401, presentada el 27 de abril de 2001, y titulada "LAYERED MODULATION FOR DIGITAL SIGNALS", por Ernest C. Chen. Pueden usarse los métodos de simulación de modulación en capas y los sistemas de la invención para evaluar el rendimiento de señales en capas, además de los procesos de receptores.

SIMULACIÓN DE MODULACIÓN EN CAPAS A MODO DE EJEMPLO

Una simulación por ordenador a modo de ejemplo de una señal de modulación en capas puede definirse con los siguientes parámetros. Ambas capas pueden usar una frecuencia de símbolo nominal de 20 MHz (no necesariamente sincronizada entre sí en frecuencia de reloj y fase). Las frecuencias de la portadora tampoco son coherentes la una con respecto a la otra. El exceso de relación de ancho de banda es 0,2. Se supone que no se produce degradación de la señal satélite; TWTA y los efectos del filtro pueden ser modelados por separado si fuera necesario. Las señales de la capa superior e inferior pueden cada una ser un código convolucional 6/7, señal de Reed-Solomon (146, 130) con una potencia de referencia asignada de 0 dB a la capa superior. La CNR de la capa superior es aproximadamente 7,7 dB. La CNR de la capa inferior es aproximadamente 7,6 dB. Puede aplicarse ruido (AWGN) de -16 dB. Alternativamente puede usarse una señal de turbo código para la capa inferior. Están incluidos ruido de fase del bloque de ruido bajo (LNB) y sintonizador. La siguiente tabla resume los resultados de la simulación.

CNR de entrada (dB)		CNR de salida (dB)		
UL	LL	UL	LL	Intervalo dinámico
7,6	Ninguno	7,43	Ninguno	7,43
7,7	7,6	7,51	7,22	15,48

La primera fila se aplica a procesar solo la capa superior, que reduce la CNR aproximadamente 0,2 dB (7,6 dB - 7,43 dB). La segunda fila se aplica a procesar ambas capas. La CNR de la capa inferior se reduce aproximadamente 0,4 dB (7,6 dB - 7,22 dB). Este resultado se compara favorablemente con el rendimiento de 16QAM nominal. Más detalles del proceso de simulación se muestran más adelante.

La FIG. 14 es una representación del espectro de potencia de una señal modulada en capas a modo de ejemplo que puede ser simulado por el método y sistema previamente descritos. Las señales compuestas de la capa superior e inferior se añaden con ruido térmico. Se usa una frecuencia de muestreo de 100 MHz y una resolución de presentación de 1 MHz. El pico del espectro se escala a 0 dB, que muestra un suelo de ruido térmico de aproximadamente -17 dB. Se usa un filtro de receptor de extremo delantero para disminuir el suelo de ruido.

Las FIGS. 15A-15C son representaciones que ilustran la recuperación de reloj del símbolo de la capa superior para una señal modulada en capas a modo de ejemplo. La FIG. 15A es un gráfico de la salida del comparador, basada en el método de cruce cero. La FIG. 15B es la salida del filtro de paso bajo (LPF) del filtro del bucle; se aplica un filtro de segundo orden dirigido por decisión. Se recupera una tasa de baudios nominal de 20 MHz. La FIG. 15C es un gráfico de los tiempos de símbolo seguidos (que indica un delta de la tasa de baudios) con una curva ajustada encima. Se presenta un pequeño error de RMS.

Las FIGS. 15D-15F son representaciones que ilustran una señal recuperada del reloj de símbolo de la capa superior para una señal modulada en capas a modo de ejemplo. Las FIGS. 15D y 15E ilustran respectivamente la señal de la capa superior antes y después del bucle de recuperación de reloj. La FIG. 15F es un gráfico del cálculo estimado de CNR después del bucle de recuperación de reloj. La CNR de salida estimada de 7,78 dB, que incluye errores de medición, se compara muy favorablemente con la CNR de entrada de 7,7 dB.

Las FIGS. 16A-16C son representaciones que ilustran la recuperación de portadora de la capa superior para una señal modulada en capas a modo de ejemplo. La FIG. 16A es un gráfico de la salida del comparador de fases, basado en multiplicación en cuadratura. La FIG. 16B es un gráfico de la salida de LPF del bucle, usando un esquema de segundo orden dirigido por decisión. Se recupera una tasa de baudios de aproximadamente 20 MHz. La FIG. 16C es un gráfico de la fase seguida para la frecuencia de la portadora simulada y el ruido de fase. Se presenta un pequeño error de RMS en fase.

Las FIGS. 16D-16F son representaciones que ilustran una señal recuperada de la portadora de la capa superior para una señal modulada en capas a modo de ejemplo. La FIG. 16D ilustra la señal de la capa superior antes del bucle de recuperación de portadora. La FIG. 16E ilustra la señal de la capa superior después del bucle de recuperación de

portadora cuando se estabiliza la constelación de señales; la señal de QPSK de la capa superior en presencia de la QPSK de la capa inferior y el ruido son evidentes. La FIG. 16F es un histograma del error de fase alrededor de un nodo de constelación. La CNR de salida estimada de 7,51 dB se compara bien con la CNR de entrada de 7,7 dB.

5 La FIG. 17A es un gráfico de errores binarios de capa superior no codificados en la salida del demodulador para una señal modulada en capas a modo de ejemplo. Se muestran los errores en la salida del bucle de recuperación de portadora. La representación identifica 80 paquetes R-S de datos por el número "paquete" frente al número de símbolo de dos bits. La representación informa de aproximadamente el 0,16 % de BER a una CNR estimada de 7,5 dB.

10 La FIG. 17B es un gráfico de errores de byte de capa superior en la salida del decodificador de Viterbi para una señal modulada en capas a modo de ejemplo. Se presenta el número de paquete frente a un número de símbolo de ocho bits, que muestra el valor de 95 paquetes de datos. Se informa una BER del 0,282 %.

15 La FIG. 17C es un gráfico de errores de byte de capa superior en la salida del desentrelazador para una señal modulada en capas a modo de ejemplo. Se presenta el número de paquete frente a un número de símbolo de 8 bits, que muestra el valor de 83 paquetes de datos.

20 La FIG. 17D es un gráfico de errores de la capa superior corregibles por un decodificador de Reed-Solomon para una señal modulada en capas a modo de ejemplo. Del valor de 83 paquetes de datos, solo se produjeron 3 paquetes con un byte de error corregible R-S, que está muy por debajo del umbral de corrección de ocho errores. Así, no se presentaron errores incorregibles en los 83 paquetes a una CNR estimada de 7,5 dB.

25 La FIG. 18 es un gráfico de la adaptación de señales de la capa superior calculada entre la señal recibida y la señal reconstruida para una señal modulada en capas a modo de ejemplo. Como se muestra, se presentan coeficientes de adaptación casi constantes (en magnitud y fase) con respecto a 300.000 muestras de 100 MHz, a pesar de la presencia de la señal de la capa inferior.

30 La FIG. 19 es una representación del espectro de potencia de una señal de la capa inferior extraída de una señal modulada en capas a modo de ejemplo. Se usa una frecuencia de muestreo de 100 MHz y una resolución de presentación es 1 MHz. El pico del espectro se escala a 0 dB con un suelo de ruido térmico de aproximadamente -9 dB después de cancelar la señal de la capa superior. La representación puede compararse con el espectro de potencia de la señal compuesta mostrada en la FIG. 14.

35 Las FIGS. 20A-20C son representaciones que ilustran la recuperación de reloj de símbolo de la capa inferior extraída para una señal modulada en capas a modo de ejemplo. La FIG. 20A es un gráfico de una salida del comparador de la capa inferior, basada en un método de cruce por cero. La FIG. 20B es la salida del filtro de paso bajo (LPF); se aplica un filtro de segundo orden dirigido por decisión. Se extrae una tasa de baudios nominal de 20 MHz. La FIG. 20C es un gráfico de los tiempos de símbolo seguidos (que indica un delta de la tasa de baudios) con una curva ajustada encima. Se presenta un pequeño error de RMS.

40 Las FIGS. 20D-20F son representaciones que ilustran una señal recuperada del reloj de símbolo de la capa inferior para una señal modulada en capas a modo de ejemplo. Las FIGS. 20D y 20E ilustran respectivamente la señal de la capa superior antes y después del bucle de recuperación de reloj. La capa inferior forma un anillo en constelación de señales. La FIG. 20F es un gráfico del cálculo estimado de CNR después del bucle de recuperación de reloj. La CNR de salida estimada de 7,22 dB se compara bien con la CNR de entrada de 7,6 dB.

45 Las FIGS. 21A-21C son representaciones que ilustran la recuperación de portadora de la capa inferior para una señal modulada en capas a modo de ejemplo. La FIG. 21A es un gráfico de la salida del comparador de fase de la capa inferior, basada en multiplicación en cuadratura. La FIG. 21B es un gráfico de la salida de LPF del bucle, usando un esquema de segundo orden dirigido por decisión. Se extrae una tasa de baudios nominal de 20 MHz. La FIG. 21C es un gráfico de la fase seguida para la frecuencia de la portadora simulada y el ruido de fase. Se presenta un error de RMS nominal en fase.

50 Las FIGS. 21D-21F son representaciones que ilustran una señal recuperada de la portadora de la capa inferior para una señal modulada en capas a modo de ejemplo. La FIG. 21D ilustra la señal de la capa superior antes del bucle de recuperación de portadora. La FIG. 21E ilustra la señal de la capa superior después del bucle de recuperación de portadora cuando la constelación de señales se estabiliza; la señal de QPSK de la capa inferior en presencia de ruido son evidentes. La FIG. 21F es un histograma del error de fase alrededor de un nodo de constelación. La CNR de salida estimada de 7,22 dB se compara razonablemente bien con la CNR de entrada de 7,6 dB.

55 La FIG. 22A es un gráfico de errores binarios de la capa inferior no codificados en la salida del demodulador para una señal modulada en capas a modo de ejemplo. Se muestran los errores en la salida del bucle de recuperación de portadora. La representación identifica 80 paquetes R-S de datos por el número "paquete" frente al número de símbolo de dos bits. La representación informa de aproximadamente el 1,1 % de BER a una CNR estimada de 7,2 dB.

65

La FIG. 22B es un gráfico de los errores de byte de capa inferior en la salida del decodificador de Viterbi para una señal modulada en capas a modo de ejemplo. Se presenta el número de paquete frente a un número de símbolo de 8 bits, que muestra el valor de 95 paquetes de datos. Se informa una BER del 0,297%.

5 La FIG. 22C es un gráfico de los errores de byte de capa inferior en la salida del desentrelazador para una señal modulada en capas a modo de ejemplo. Se presenta el número de paquete frente a un número de símbolo de 8 bits, que muestra el valor de 83 paquetes de datos.

10 La FIG. 22D es un gráfico de los errores de la capa superior corregibles por un decodificador de Reed-Solomon para una señal modulada en capas a modo de ejemplo. Del valor de 83 paquetes de datos, solo se produjo 1 paquete con un byte de error corregible por R-S, que está muy por debajo del umbral de corrección de ocho errores. Así, no se presentaron errores incorregibles en los 83 paquetes a una CNR estimada de 7,2 dB.

15 La FIG. 23A es un gráfico de las tasas de error binario no codificado para las capas superior e inferior de una señal modulada en capas a modo de ejemplo. La representación identifica los resultados de simulación de la capa inferior y la capa superior con respecto a un resultado teórico basado en la curva de ruido blanco gaussiano aditivo (AWGN), que ilustra el resultado de muestras de 65K (130K bits) de datos. La capa inferior a la CNR estimada se muestra con una BER directamente sobre la curva de AWGN. La capa superior muestra una BER por debajo de la curva que es igual a un aumento de 2,1 dB. Así, la interferencia de QPSK es más benigna que AWGN de la misma potencia.

20 La FIG. 23B es un gráfico de las tasas de error binario de la salida del decodificador de Viterbi para las capas superior e inferior de una señal modulada en capas a modo de ejemplo. La representación identifica los resultados de simulación de la capa inferior y la capa superior con respecto a la curva de AWGN, que ilustra el resultado de muestras de 65K (130K bits) de datos. En este caso, las CNR y BER estimadas para tanto las capas superior como inferior se producen próximas a la curva de AWGN.

25 La descripción anterior que incluye la realización preferida de la invención se ha presentado para los fines de ilustración y descripción. No pretende ser exhaustiva o limitar la invención a la forma precisa desvelada. Son posibles muchas modificaciones y variaciones en vista de la enseñanza anterior. Se pretende que el alcance de la invención no se limite por esta descripción detallada, sino por las reivindicaciones adjuntas a la misma. La anterior memoria descriptiva, ejemplos y datos proporcionan una descripción completa de la fabricación y uso de la invención. Como pueden hacerse muchas realizaciones de la invención sin apartarse del alcance de la invención, la invención reside en las reivindicaciones adjuntas en lo sucesivo.

35

40

45

50

55

60

65

REIVINDICACIONES

1. Un método de simulación de una señal modulada en capas jerárquica que tiene una primera modulación de una capa superior y una segunda modulación de una capa inferior, que comprende las etapas de:
- 5 proporcionar una señal de la capa superior que comprende una primera corriente de bits que tiene una constelación de puntos de señal, la primera corriente de bits modulada por una primera portadora; proporcionar una señal de la capa inferior que comprende una segunda corriente de bits que tiene puntos de señal, la segunda corriente de bits modulada por una segunda portadora para formar la señal jerárquicamente modulada en capas que tiene una segunda constelación de puntos de señal;
- 10 atenuar la señal de la capa inferior; y combinar la señal de la capa superior y la señal de la capa inferior atenuada para producir la señal compuesta modulada en capas, en el que la señal compuesta modulada en capas comprende la señal de la capa inferior sobre la señal de la capa superior;
- 15 en el que se usa al menos un acoplador direccional para derivar la señal compuesta modulada en capas, caracterizado por que la segunda corriente de bits modulada se modula por la segunda portadora no coherente con la primera portadora.
2. El método de la reivindicación 1, que comprende además:
- 20 añadir ruido a la señal de la capa superior; y convertir de forma ascendente la señal compuesta modulada en capas.
3. El método de la reivindicación 1, que comprende además:
- 25 amplificar la señal de la capa superior; y amplificar la señal de la capa inferior; en el que proporcionar la señal de la capa superior comprende recibir la primera corriente de bits modulada de un primer transpondedor satélite y proporcionar la señal de la capa inferior comprende recibir la segunda corriente de bits modulada de un segundo transpondedor satélite.
- 30 4. El método de la reivindicación 1, en el que al menos un acoplador direccional se usa para derivar la señal de la capa superior.
- 35 5. El método de la reivindicación 1, en el que al menos un acoplador direccional se usa para derivar la señal de la capa inferior atenuada.
6. El método de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, que comprende además sintonizar la señal compuesta modulada en capas.
- 40 7. El método de la reivindicación 6, que comprende además evaluar la señal compuesta modulada en capas basándose en los componentes en fase y en cuadratura de la señal modulada en capas.
8. Un simulador de señales (1100) para realizar el método de cualquiera de las reivindicaciones 1, 2 y 4 a 7, que comprende:
- 45 un primer modulador (1102) para modular la corriente de bits de la capa superior según la primera portadora para producir la señal de la capa superior; un generador de ruido (1106) para añadir ruido a la señal de la capa superior;
- 50 un segundo modulador (1104) para modular la corriente de bits de la capa inferior según la segunda portadora para producir la señal de la capa inferior; un atenuador (1108) para atenuar la señal de la capa inferior; y un combinador (1110) para combinar la señal de la capa superior con ruido añadido y la señal de la capa inferior atenuada para producir la señal compuesta modulada en capas,
- 55 en el que la segunda portadora no es coherente con la primera portadora.
9. El simulador de señales (1100) de la reivindicación 8, en el que el atenuador (1108) comprende un atenuador variable.
- 60 10. El simulador de señales (1100) de cualquiera de las reivindicaciones 8 o 9, que comprende además un conversor ascendente (1112) para convertir de forma ascendente la señal compuesta modulada en capas.
11. El simulador de señales (1100) de cualquiera de las reivindicaciones 8 - 10, que comprende además un sintonizador (1114) para sintonizar la señal compuesta modulada en capas.
- 65 12. Un sistema receptor (1150) para recibir la señal modulada en capas jerárquica según cualquiera de las

reivindicaciones 1 y 3 a 7, comprendiendo el receptor:

5 una primera antena (1156) para recibir la señal de la capa superior de un primer transpondedor satélite, comprendiendo la señal de la capa superior una primera corriente de bits caracterizada por una constelación de puntos de señal, siendo la primera corriente de bits modulada por una primera portadora
 un primer amplificador (1160) configurado para amplificar la señal de la capa superior recibida;
 una segunda antena (1158) para recibir la señal de la capa inferior de un segundo transpondedor satélite, comprendiendo la señal de la capa inferior una segunda corriente de bits que tiene puntos de señal, siendo la segunda corriente de bits modulada por una segunda portadora;
 10 un segundo amplificador (1162) configurado para amplificar la señal de la capa inferior recibida;
 un atenuador (1164) configurado para atenuar la señal de la capa inferior recibida; y
 un combinador (1166) configurado para combinar la señal de la capa superior y la señal de la capa inferior atenuada para producir la señal compuesta modulada en capas, caracterizado por que la segunda corriente de bits modulada se modula por la segunda portadora no coherente con la primera portadora.
 15

13. El sistema receptor (1150) de la reivindicación 12, en el que el atenuador comprende un atenuador variable.

20 14. El sistema receptor (1150) de cualquiera de las reivindicaciones 12 o 13, que comprende además un sintonizador configurado para sintonizar la señal compuesta modulada en capas.

15. Un método de simulación de una señal jerárquicamente modulada en capas que tiene una primera modulación de una capa superior y una segunda modulación de una capa inferior, que comprende las etapas de:

25 proporcionar una señal de la capa superior que comprende una primera corriente de bits que tiene una constelación de puntos de señal modulada por una primera portadora;
 proporcionar una señal de la capa inferior que comprende una segunda corriente de bits que tiene puntos de señal, siendo la segunda corriente de bits modulada por una segunda portadora para formar la señal jerárquicamente modulada en capas que tiene una segunda constelación de puntos de señal;
 30 atenuar la señal de la capa inferior;
 combinar la señal de la capa superior y la señal de la capa inferior atenuada para producir la señal compuesta modulada en capas, en el que la señal compuesta modulada en capas comprende la señal de la capa inferior sobre la señal de la capa superior;
 sintonizar la señal compuesta modulada en capas; y
 35 evaluar el rendimiento de la señal compuesta modulada en capas basándose en los componentes en fase y en cuadratura de la señal modulada en capas, caracterizado por que la segunda corriente de bits modulada se modula por la segunda portadora no coherente con la primera portadora.

40 16. El método de la reivindicación 15, que comprende además:

añadir ruido a la señal de la capa superior; y
 convertir de forma ascendente la señal compuesta modulada en capas.

45 17. El método de la reivindicación 15, que comprende además:

amplificar la señal de la capa superior; y
 amplificar la señal de la capa inferior;
 50 en el que proporcionar la señal de la capa superior comprende recibir la primera corriente de bits modulada de un primer transpondedor de satélite y proporcionar la señal de la capa inferior comprende recibir la segunda corriente de bits modulada de un segundo transpondedor de satélite.

18. El método de la reivindicación 15, en el que al menos un acoplador direccional se usa para derivar la señal de la capa superior.
 55

19. El método de la reivindicación 15, en el que al menos un acoplador direccional se usa para derivar la señal de la capa inferior atenuada.

20. El método de la reivindicación 15, en el que al menos un acoplador direccional se usa para derivar la señal compuesta modulada en capas.
 60

21. Un simulador de señales (1100) para simular una señal modulada en capas jerárquica que tiene una primera modulación de una capa superior y una segunda modulación de una capa inferior sobre la capa superior, que comprende:
 65

un primer modulador (1102) para modular una corriente de bits de la capa superior según una primera

portadora para producir una señal de la capa superior;
un generador de ruido (1106) para añadir ruido a la señal de la capa superior;
un segundo modulador (1104) para modular una corriente de bits de una capa inferior según una segunda
5 portadora para producir una señal de la capa inferior;
un atenuador (1108) para atenuar la señal de la capa inferior;
un combinador (1110) para combinar la señal de la capa superior con ruido añadido y la señal de la capa
inferior atenuada para producir la señal compuesta modulada en capas; y
un acoplador direccional, para derivar la señal compuesta modulada en capas,
10 caracterizado por que la segunda corriente de bits modulada se modula por la segunda portadora no coherente
con la primera portadora.

22. El simulador de señales (1100) de la reivindicación 21, en el que el atenuador (1108) comprende un atenuador
variable.

15 23. El simulador de señales (1100) de la reivindicación 21, que comprende además un conversor ascendente (1112)
para convertir de forma ascendente la señal compuesta modulada en capas.

24. El simulador de señales (1100) de la reivindicación 21, que comprende además un sintonizador (1114) para
20 sintonizar la señal compuesta modulada en capas.

25. Una simulador de señales (1100) para simular una señal modulada en capas jerárquica que tiene una primera
modulación de una capa superior y una segunda modulación de una capa inferior sobre la capa superior, que
comprende:

25 una primera antena (1156) para recibir la señal de la capa superior de un primer transpondedor de satélite,
siendo la señal de la capa superior modulada por una primera portadora;
un primer amplificador (1160) para amplificar la señal de la capa superior recibida;
una segunda antena (1158) para recibir la señal de la capa inferior de un segundo transpondedor de satélite,
siendo la señal de la capa inferior modulada por una segunda portadora;
30 un segundo amplificador (1162) para amplificar la señal de la capa inferior recibida;
un atenuador (1164) para atenuar la señal de la capa inferior recibida; y
un combinador (1166) para combinar la señal de la capa superior y la señal de la capa inferior atenuada para
producir la señal compuesta modulada en capas,
35 caracterizado por que la segunda corriente de bits modulada se modula por la segunda portadora no coherente
con la primera portadora.

26. El simulador de señales (1100) de la reivindicación 25, en el que el atenuador comprende un atenuador variable.

40 27. El simulador de señales (1100) de la reivindicación 25, que comprende además un sintonizador para sintonizar la
señal compuesta modulada en capas.

45

50

55

60

65

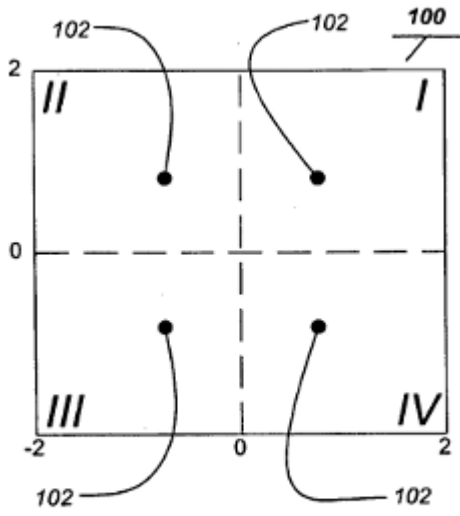


FIG. 1A

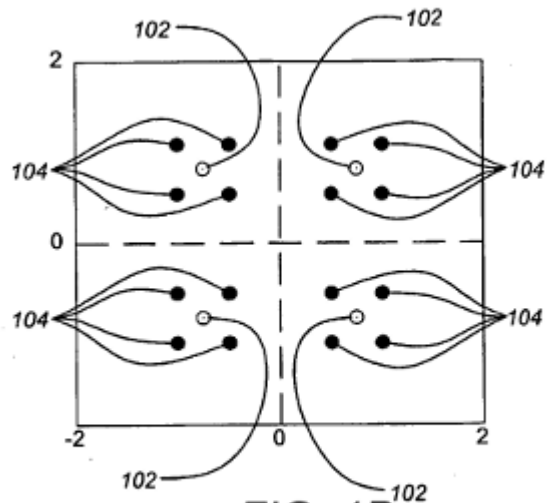


FIG. 1B

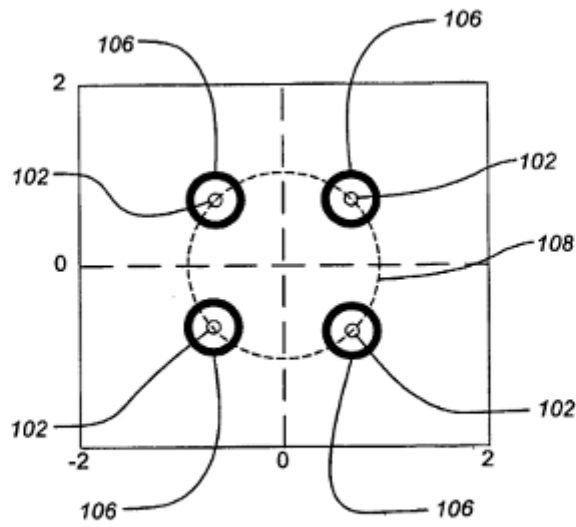


FIG. 1C

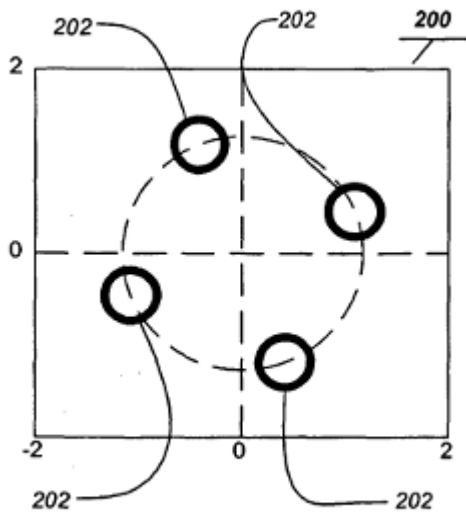


FIG. 2A

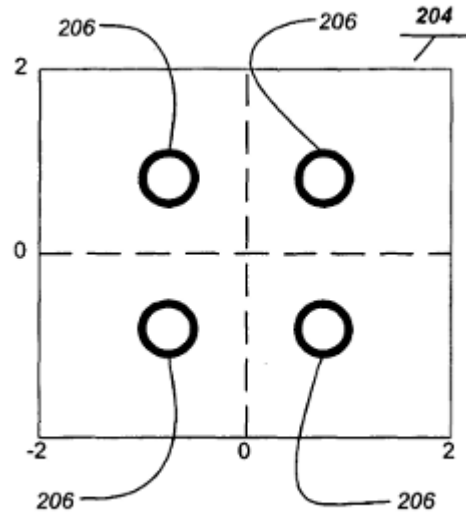


FIG. 2B

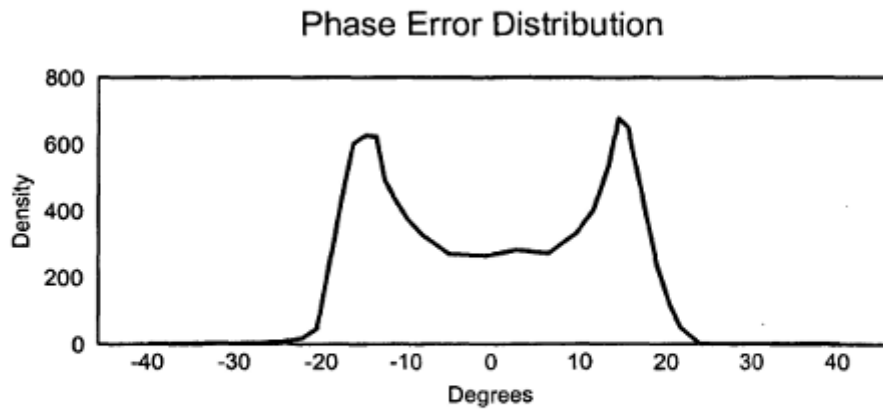


FIG. 2C

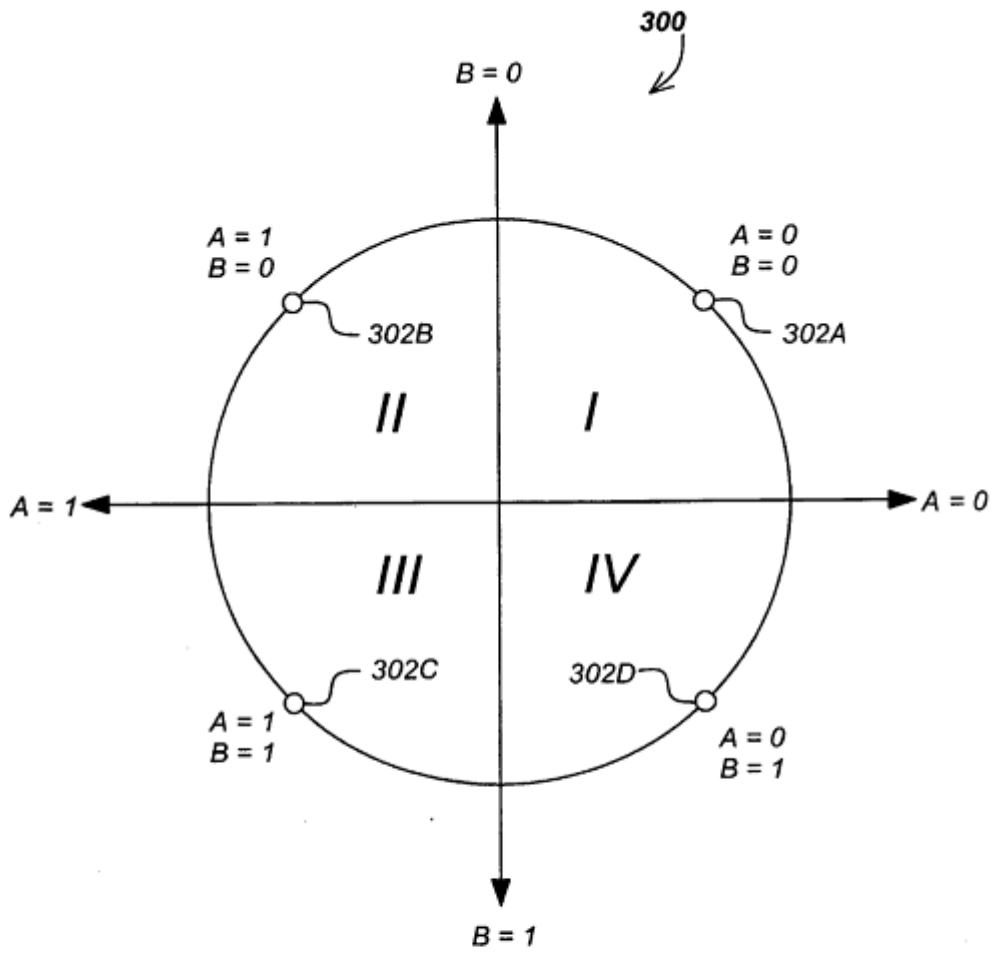


FIG. 3A

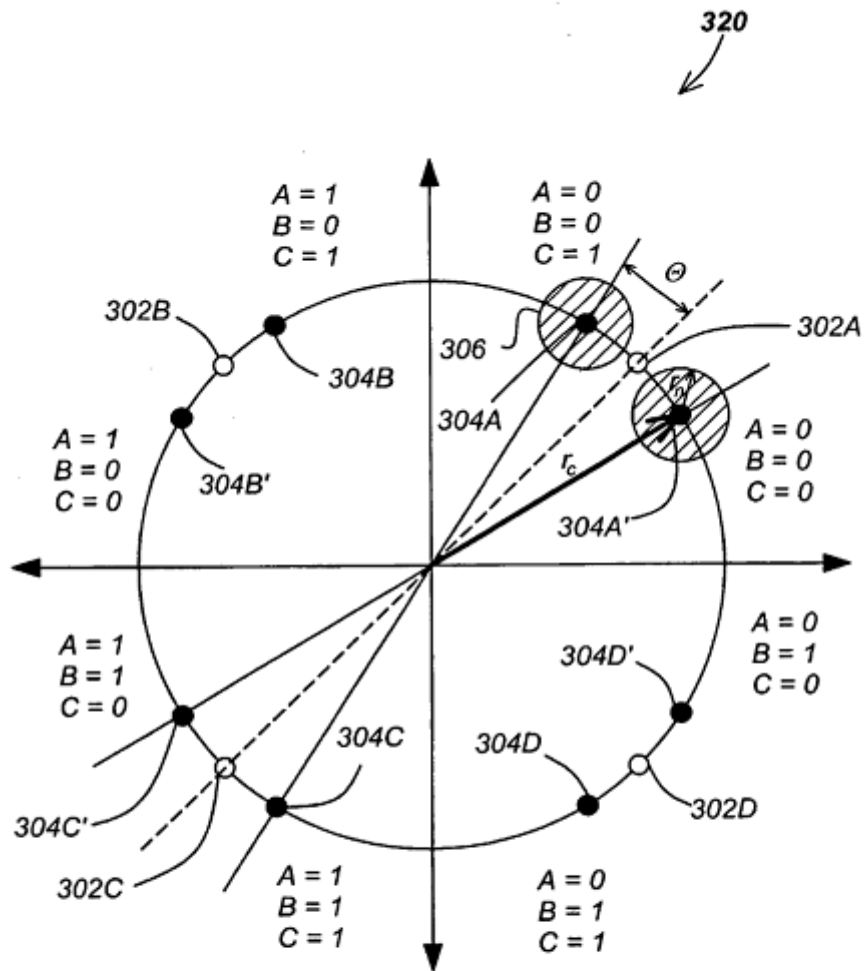


FIG. 3B

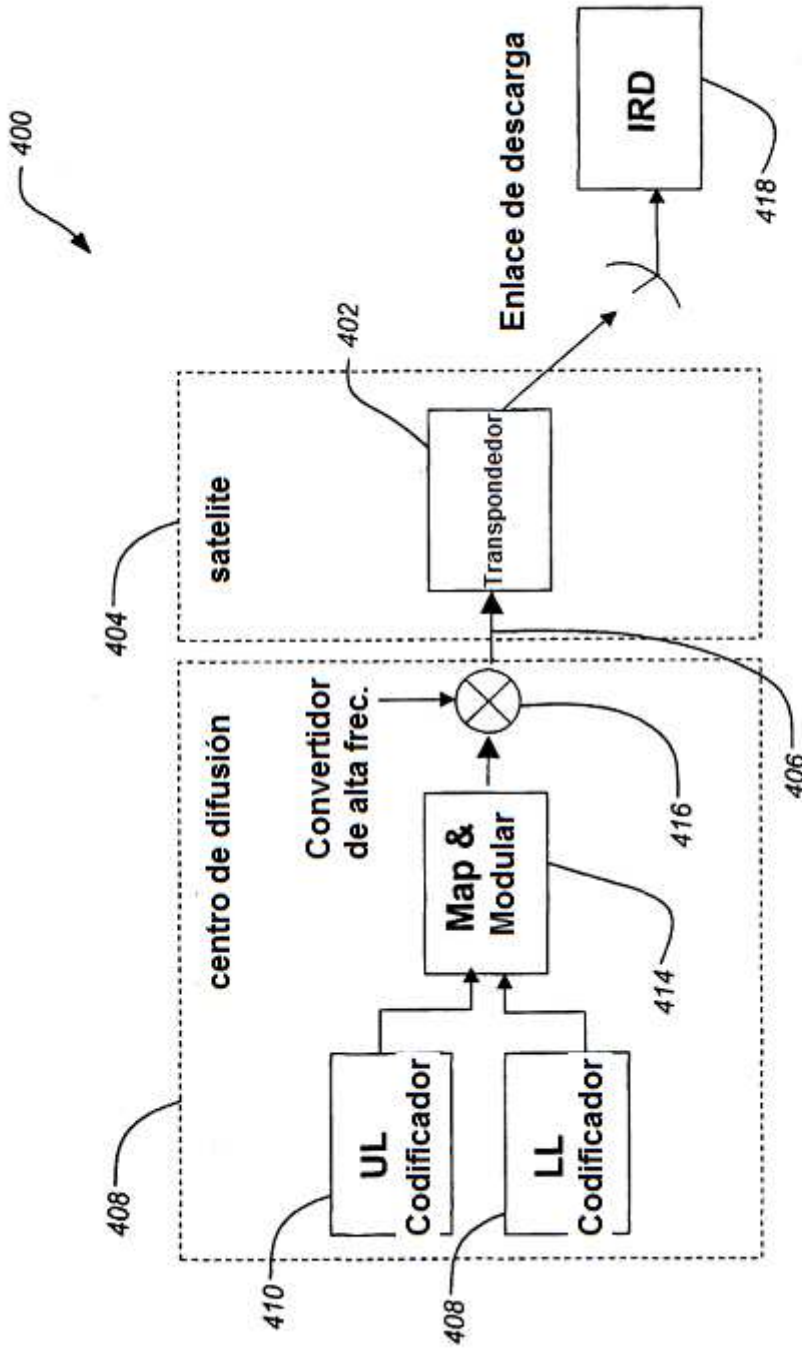


FIG. 4A

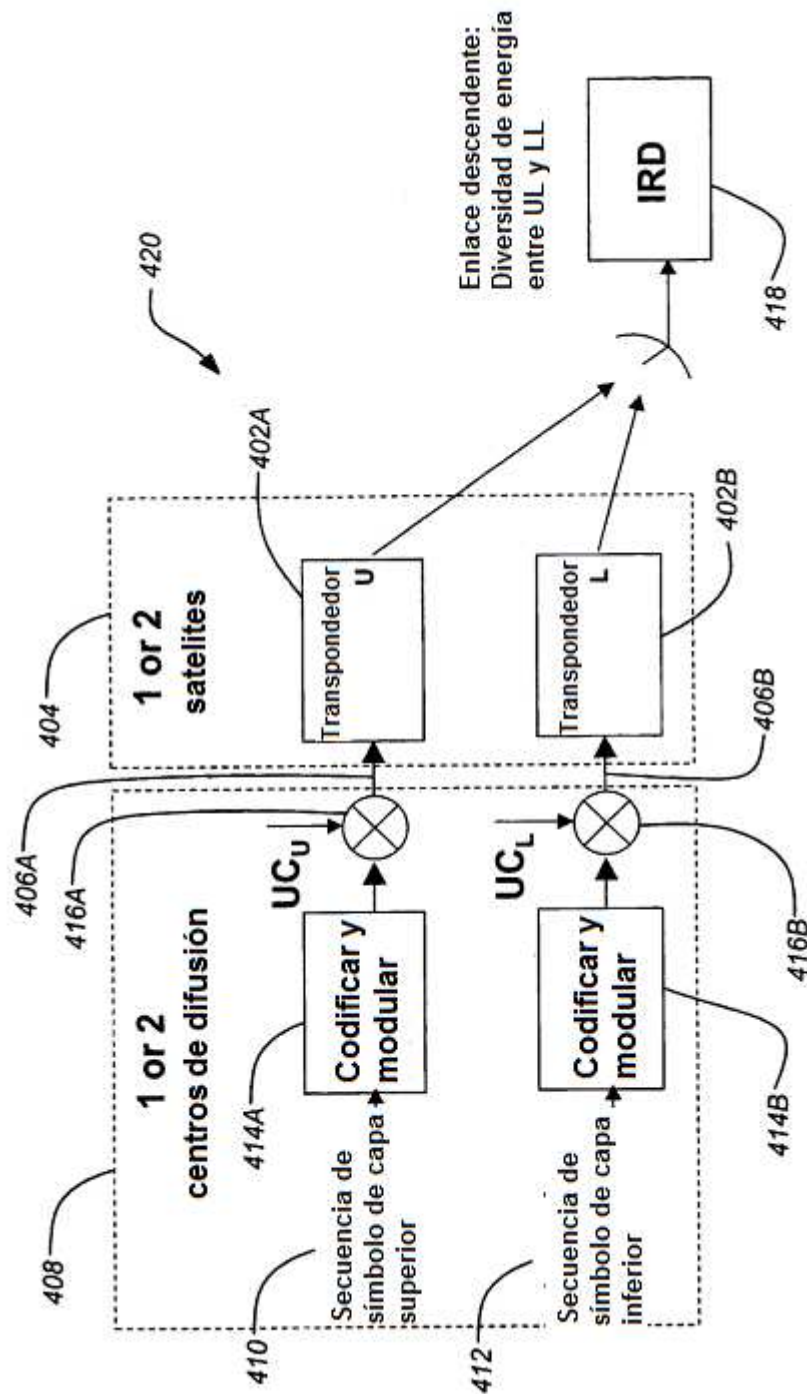


FIG. 4B

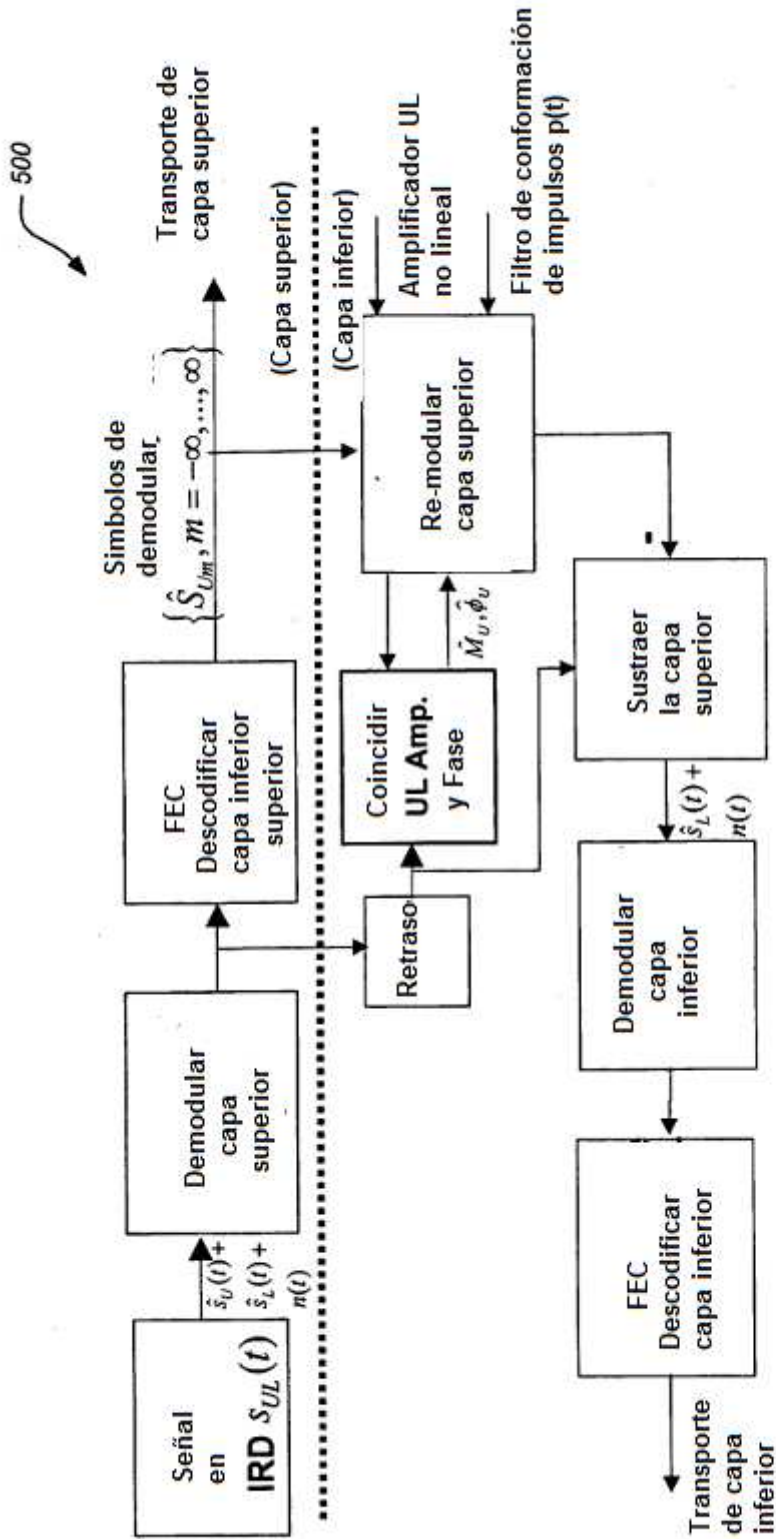


FIG. 5

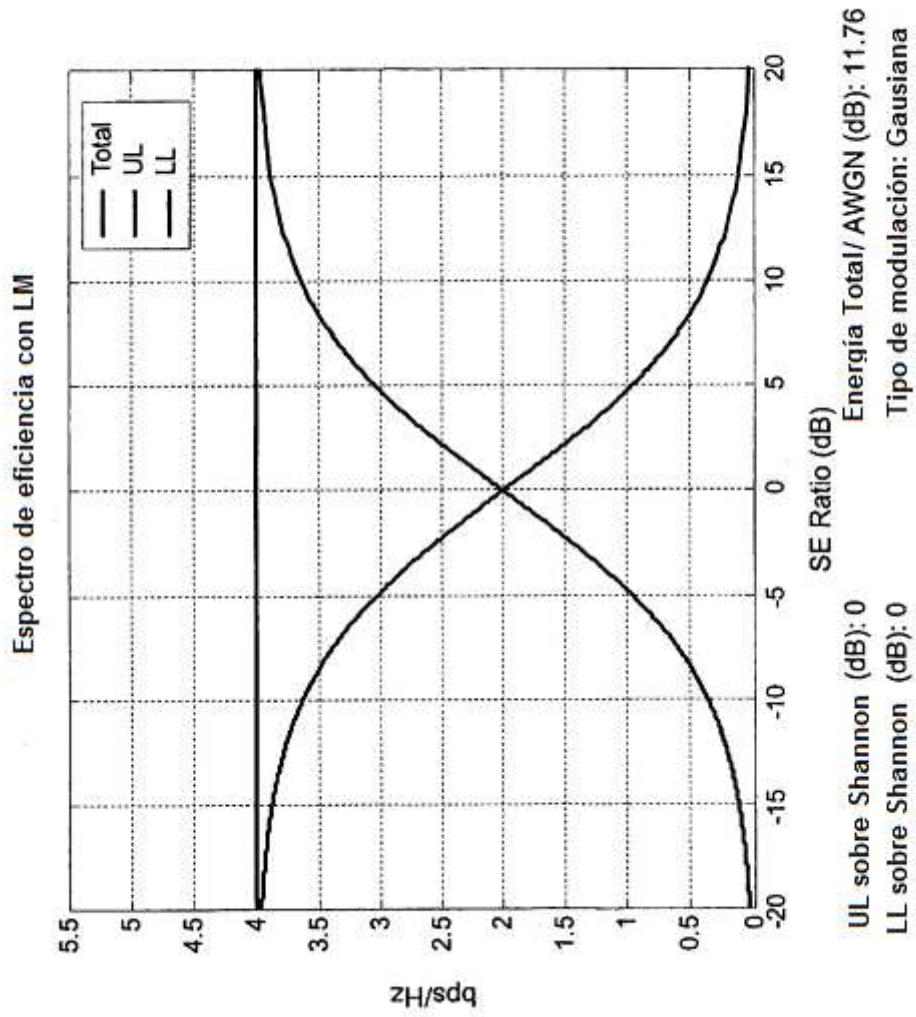


FIG. 6

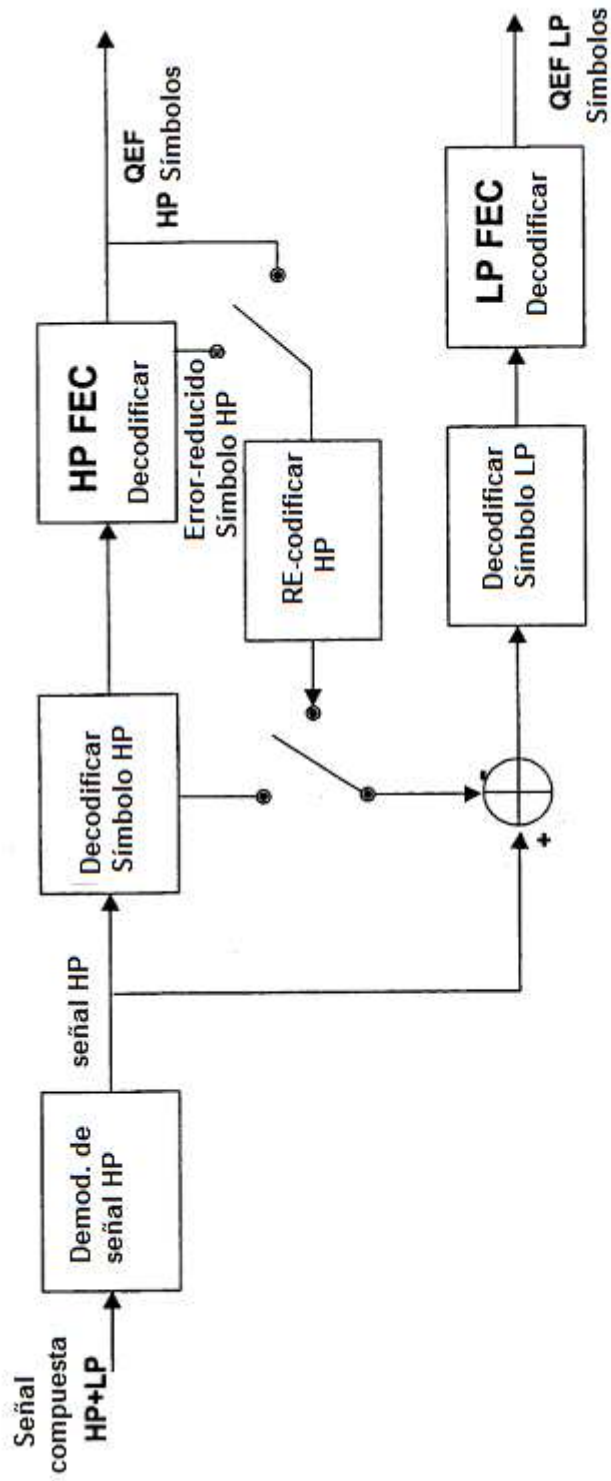


FIG. 7

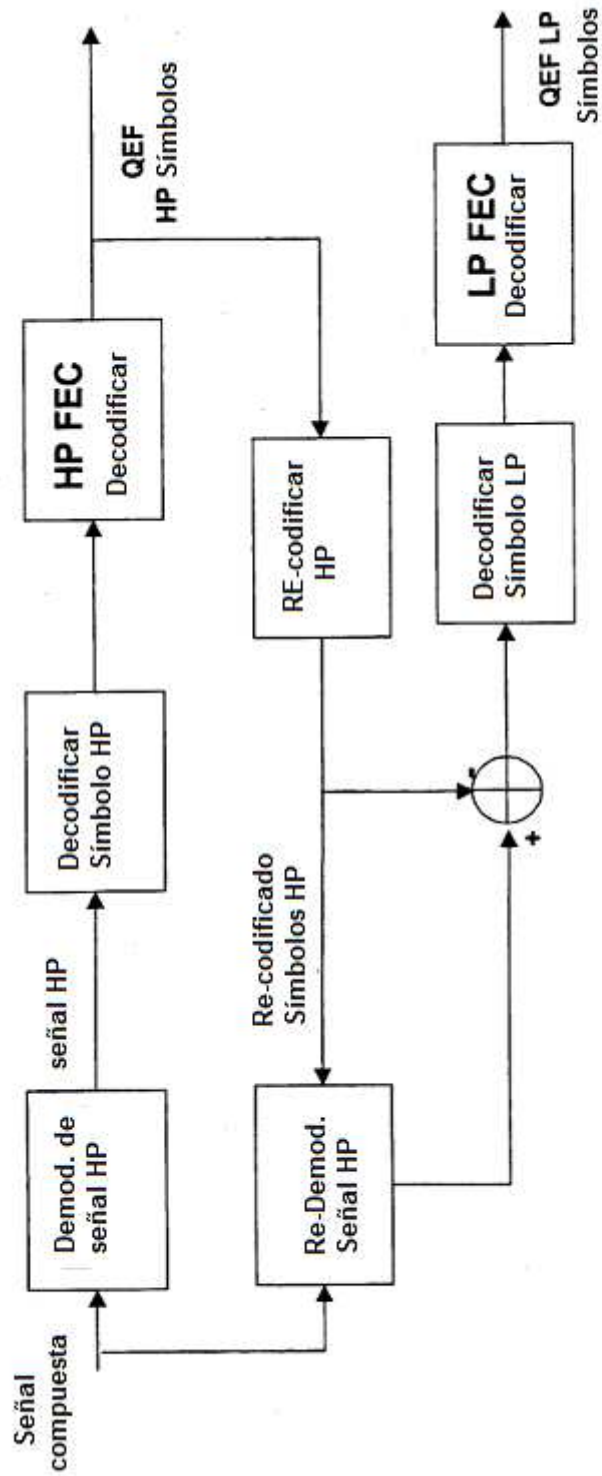


FIG. 8

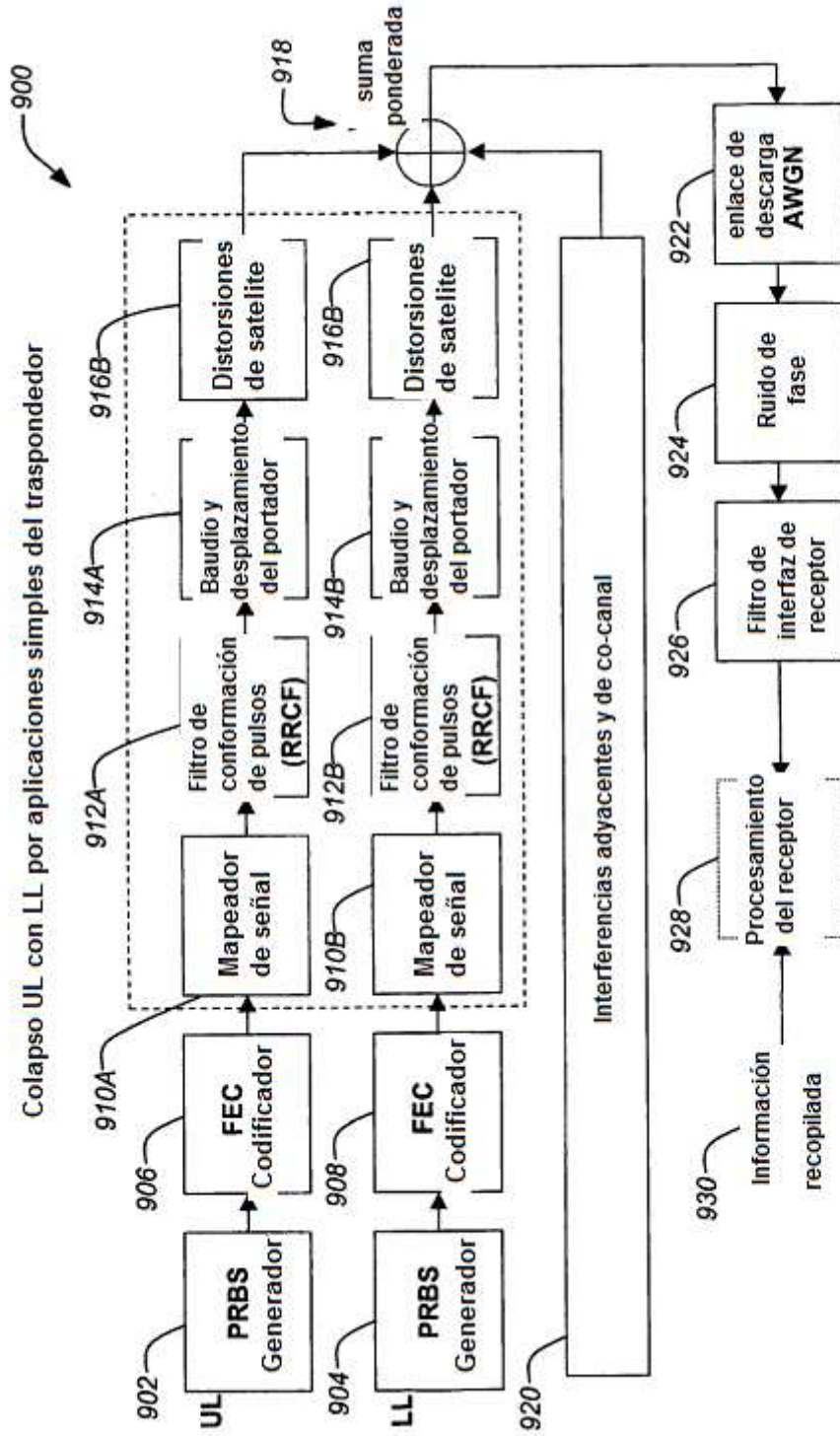


FIG. 9

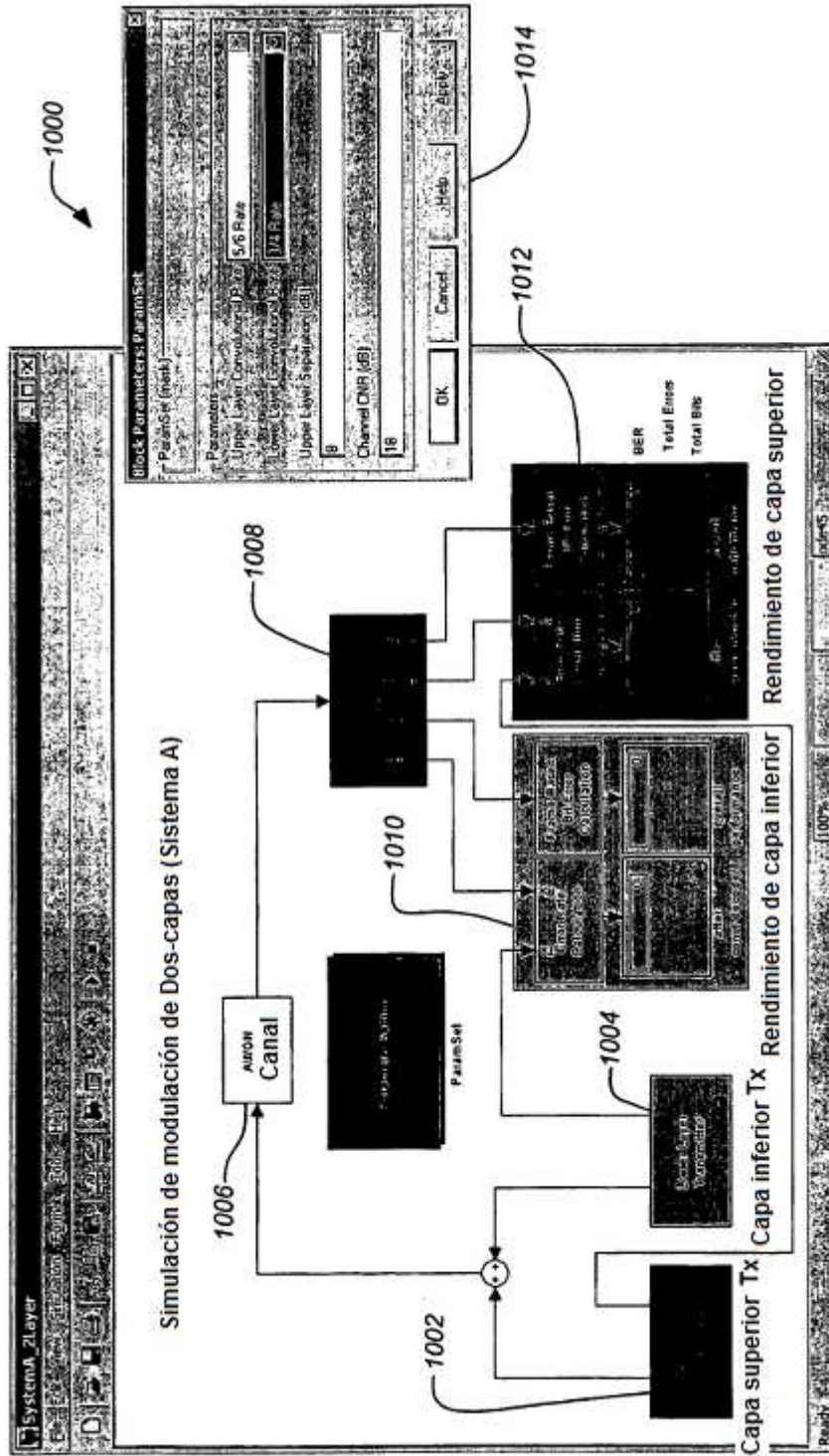


FIG. 10

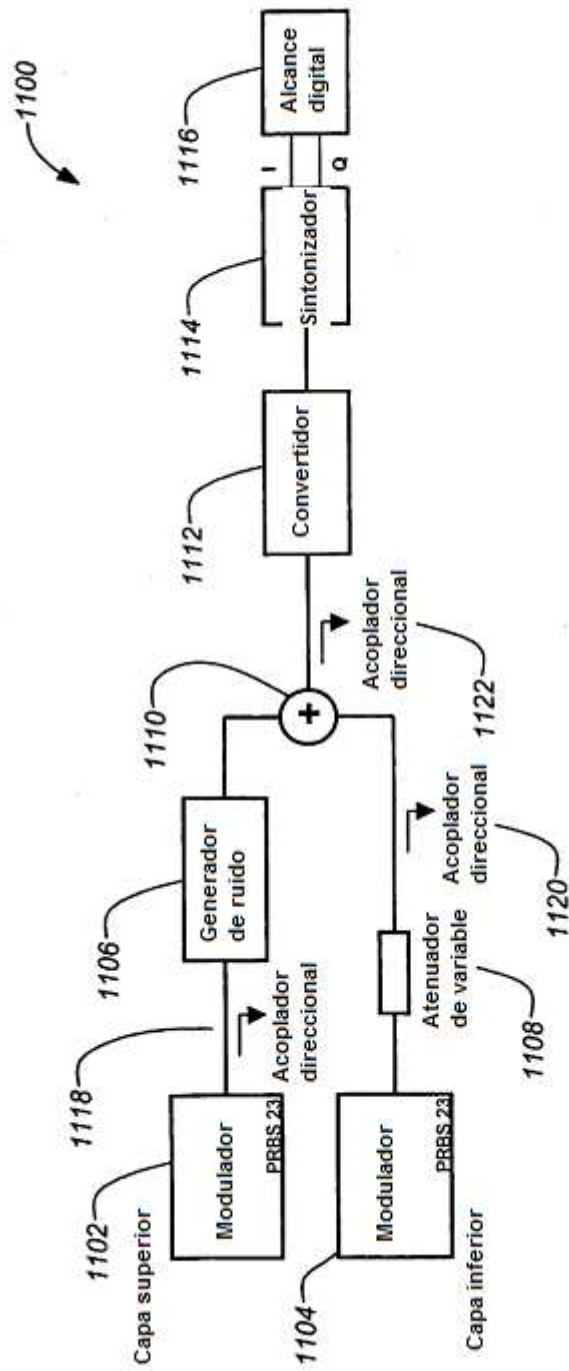


FIG. 11A

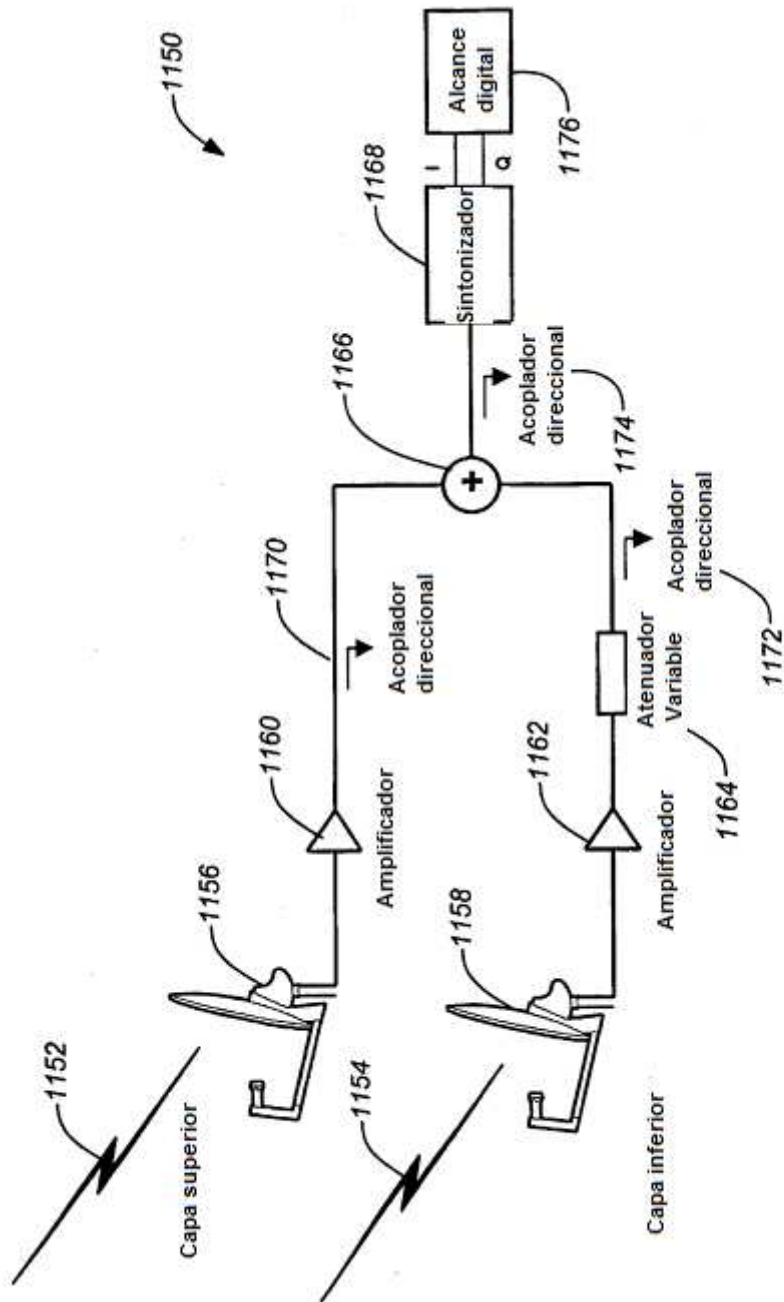


FIG. 11B

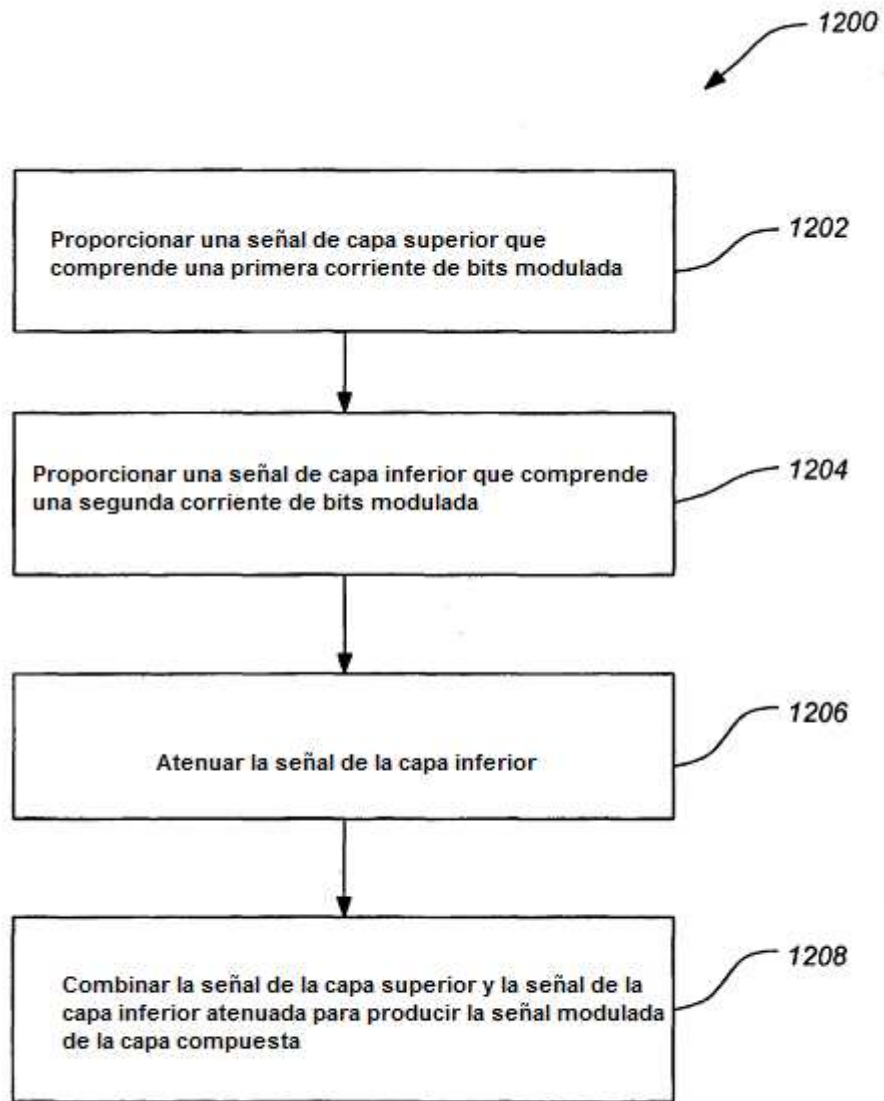


FIG. 12

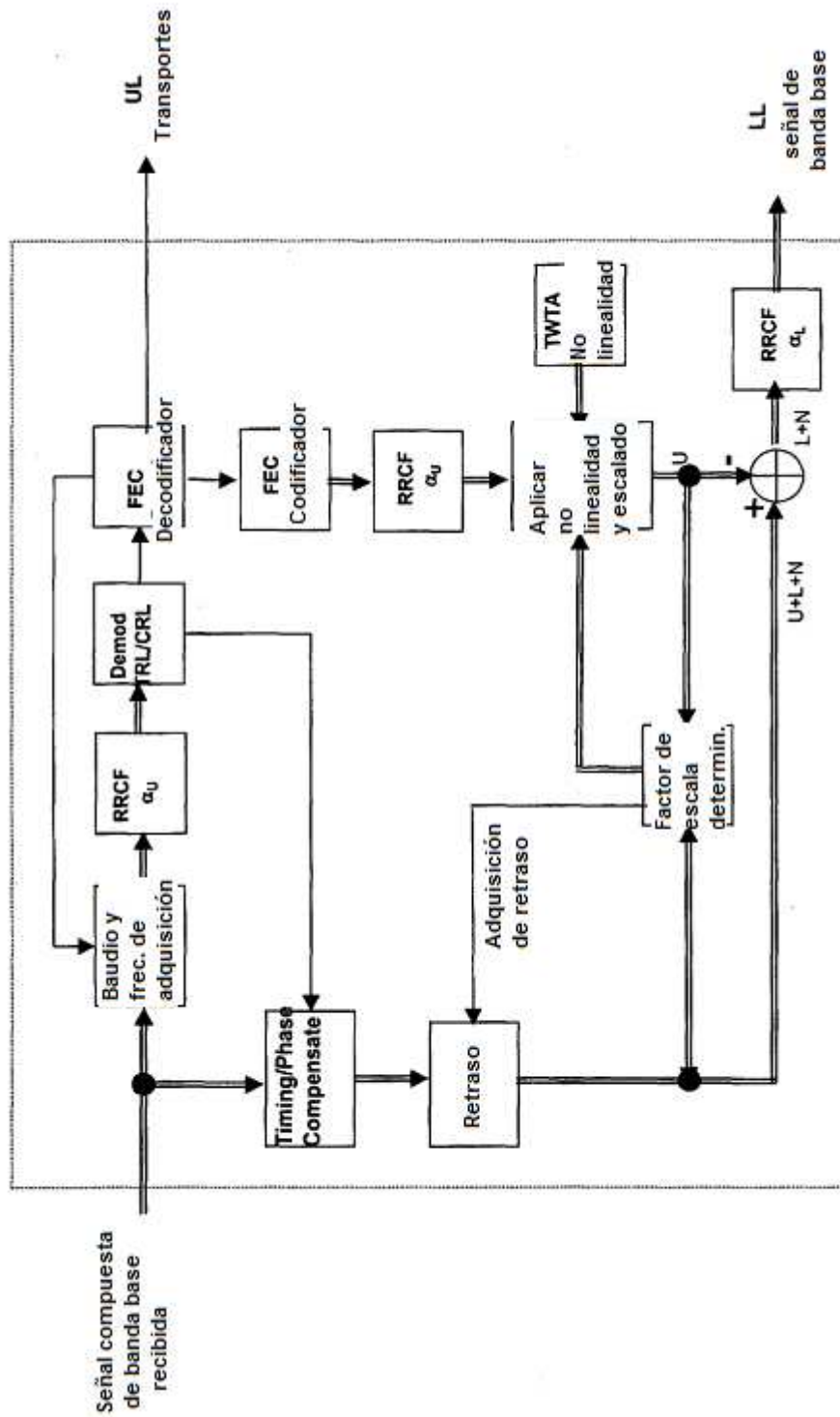


FIG. 13

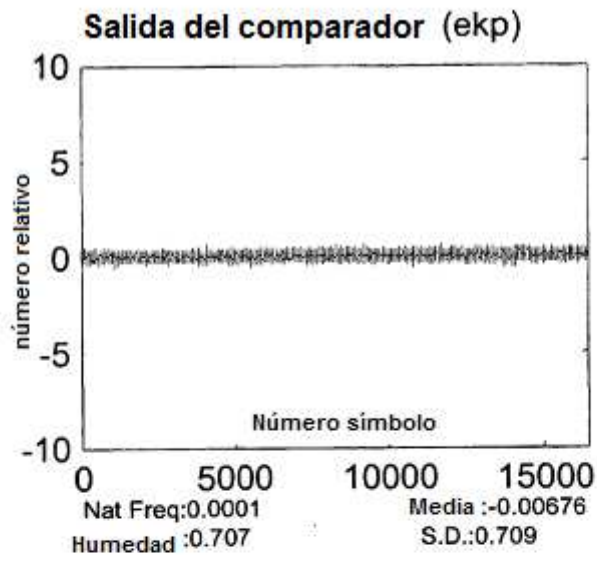


FIG. 15A

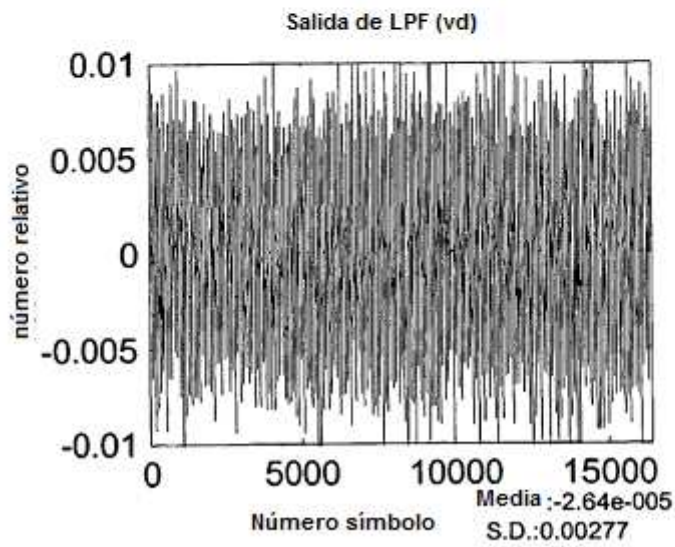


FIG. 15B

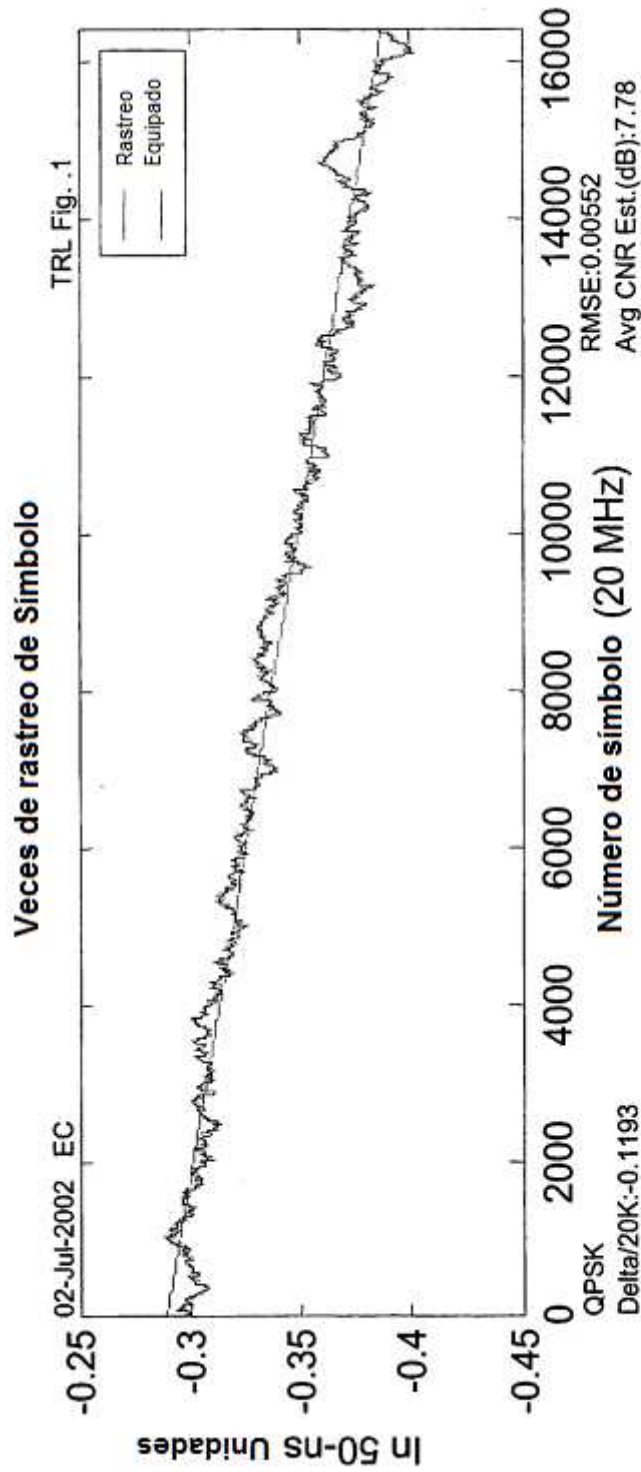


FIG. 15C

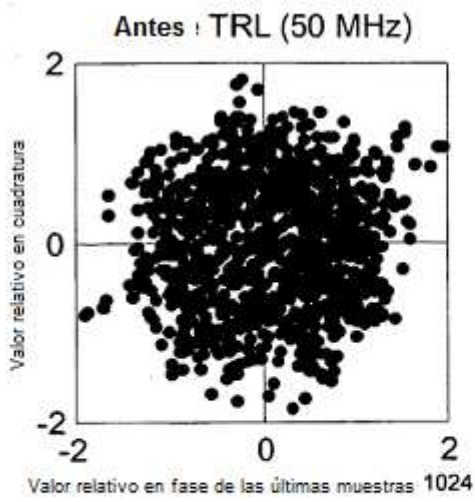


FIG. 15D

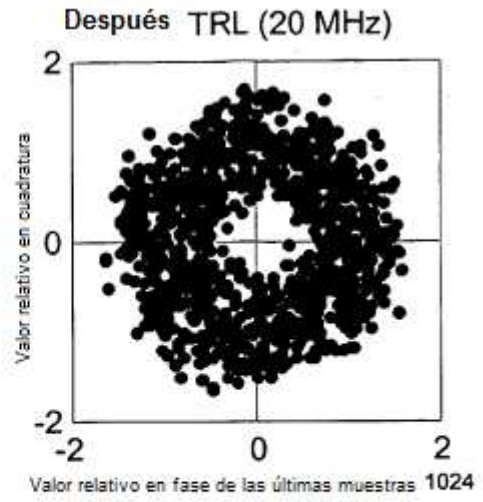


FIG. 15E

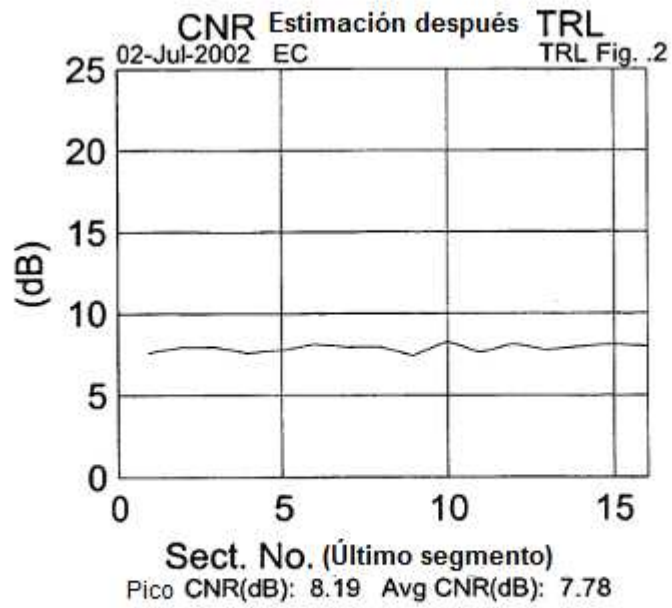


FIG. 15F

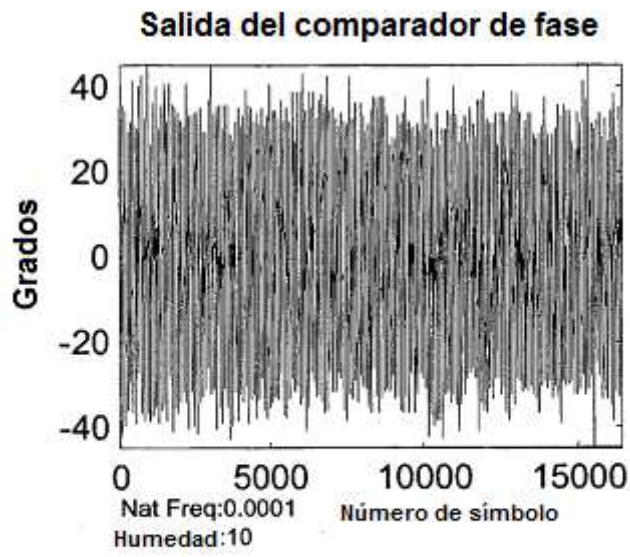


FIG. 16A

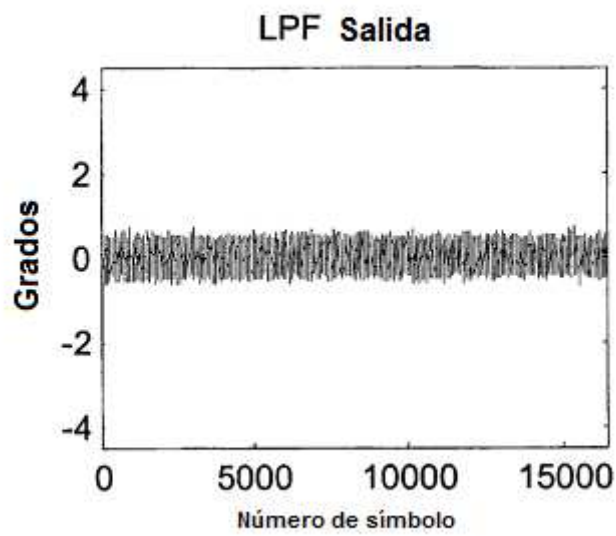


FIG. 16B

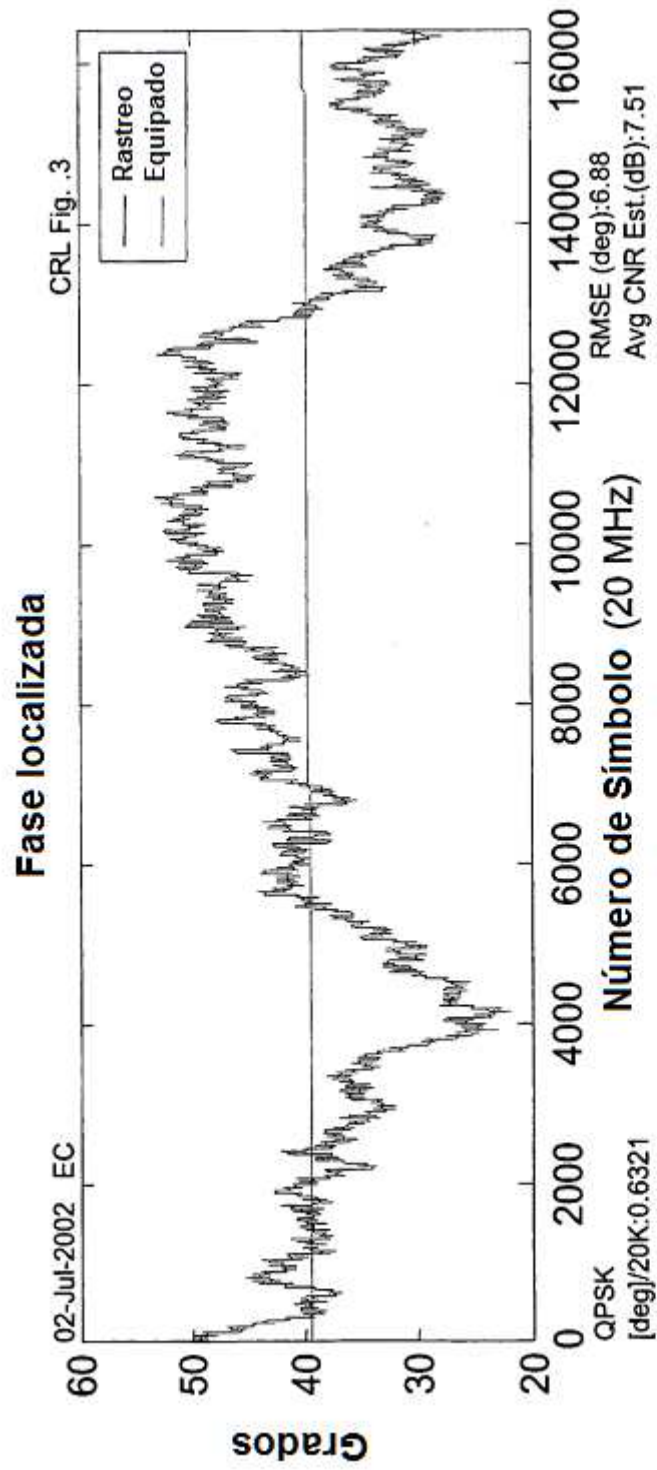


FIG. 16C

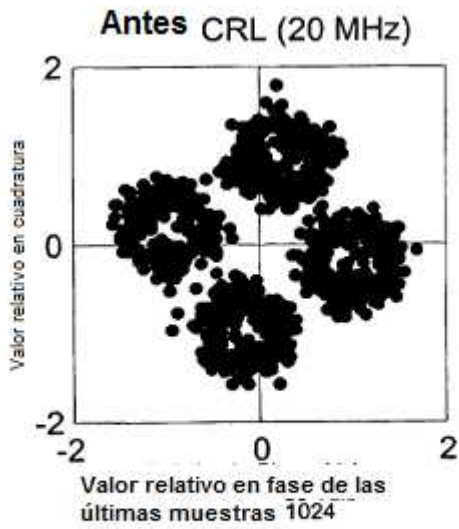


FIG. 16D

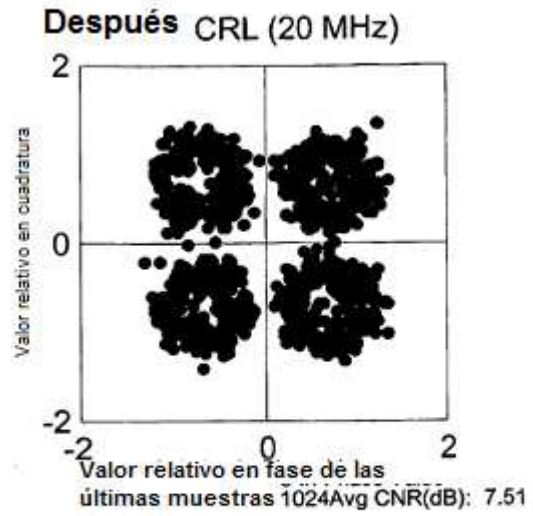


FIG. 16E

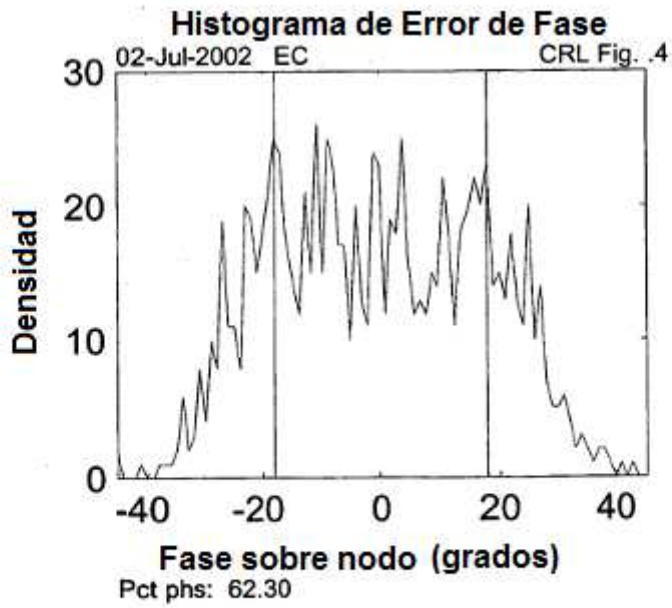


FIG. 16F

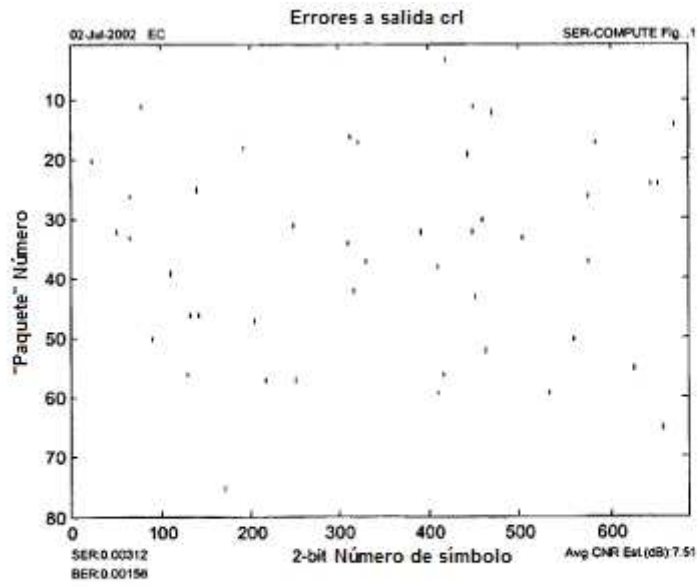


FIG. 17A

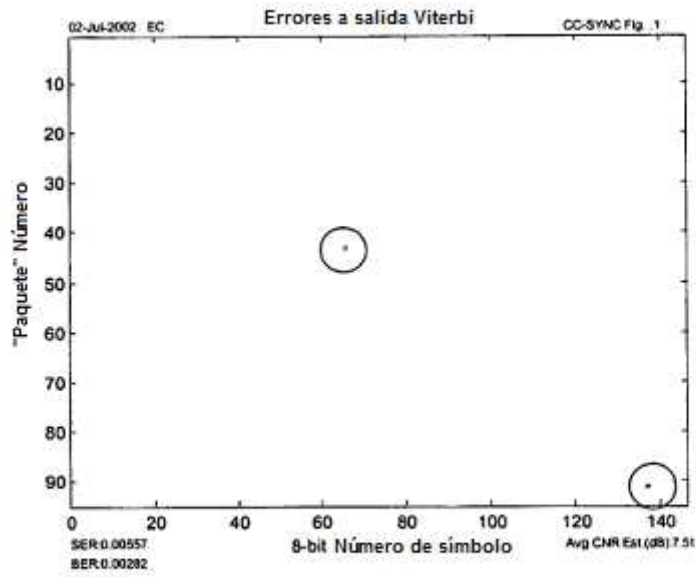


FIG. 17B

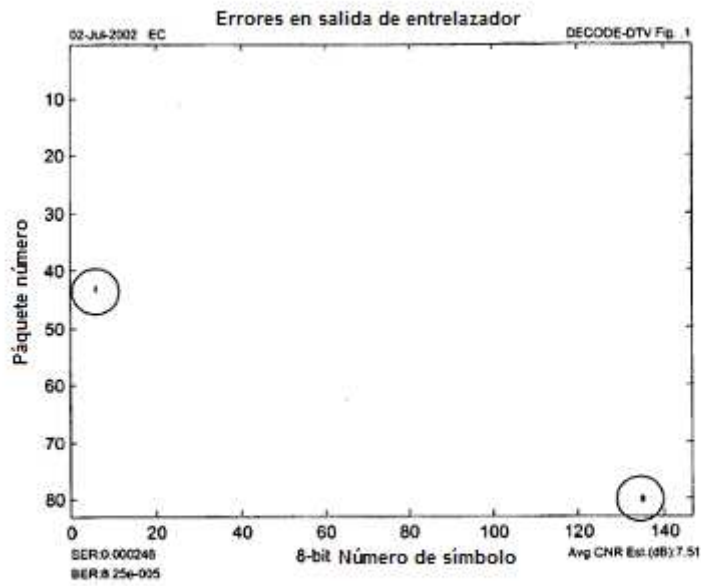


FIG. 17C

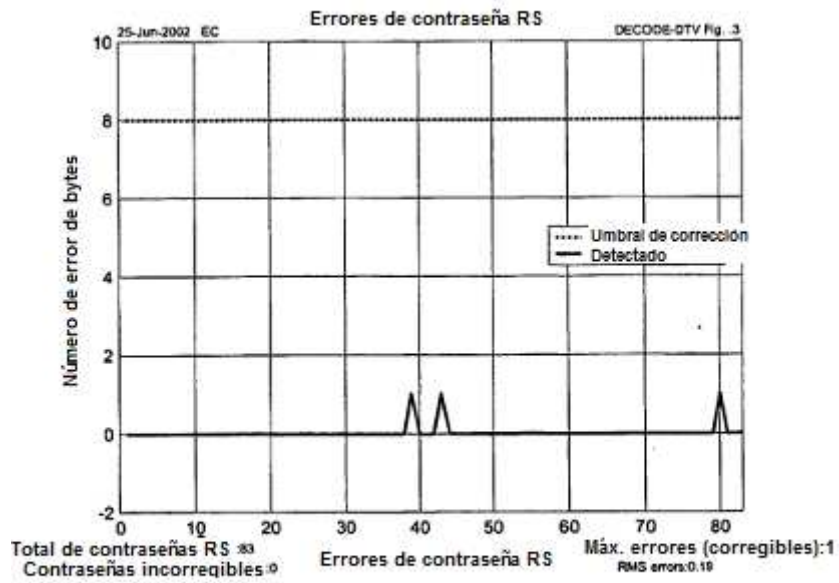


FIG. 17D

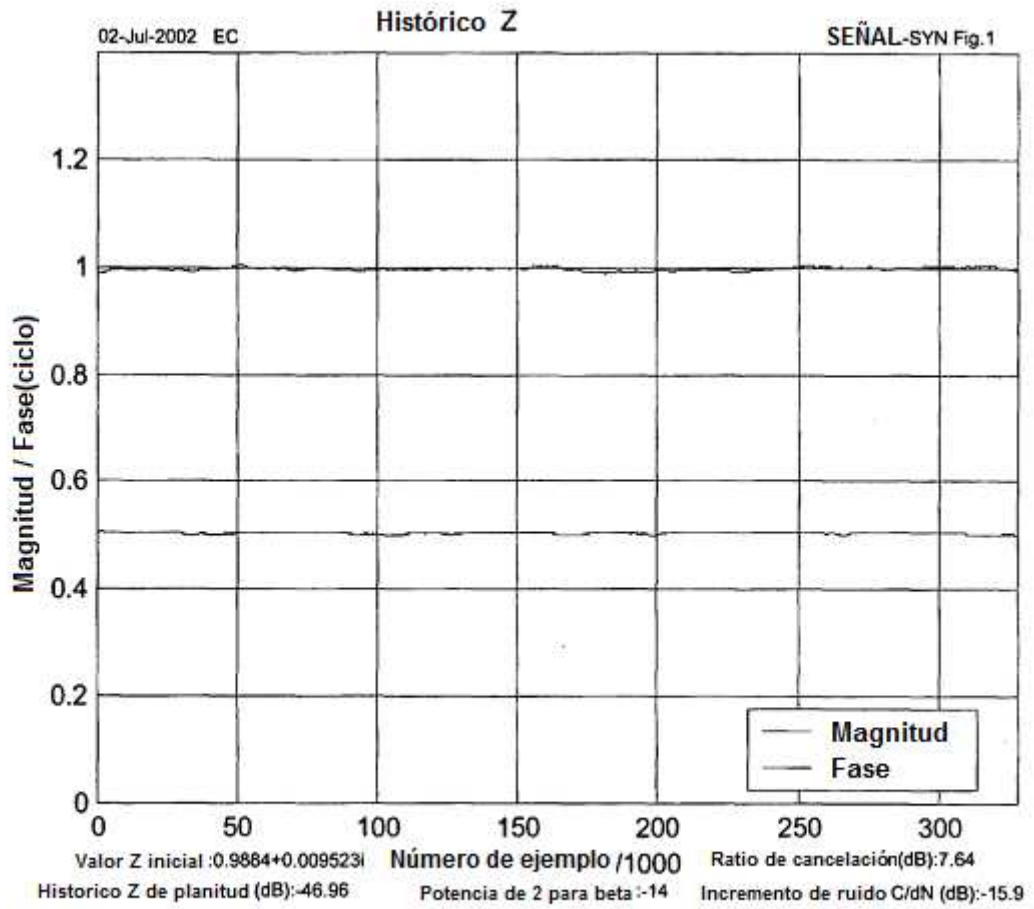


FIG. 18

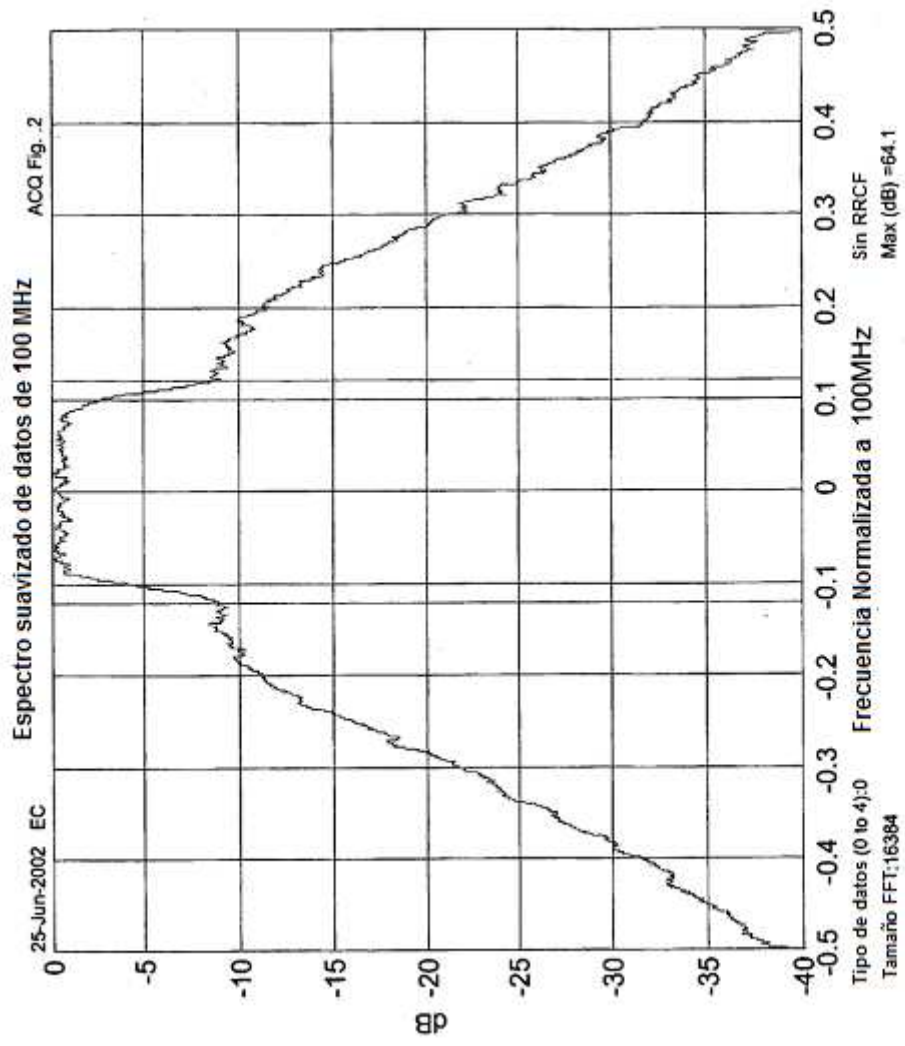


FIG. 19

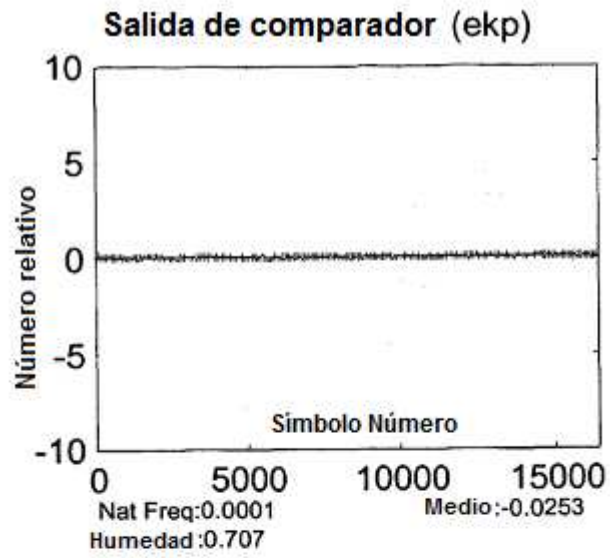


FIG. 20A

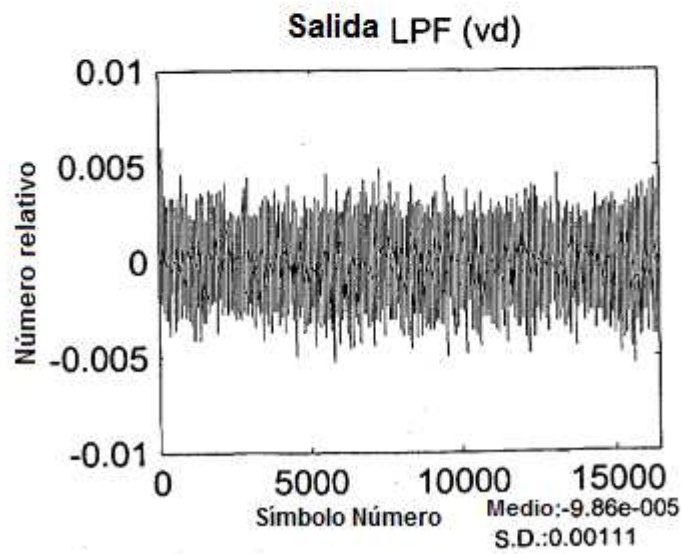


FIG. 20B

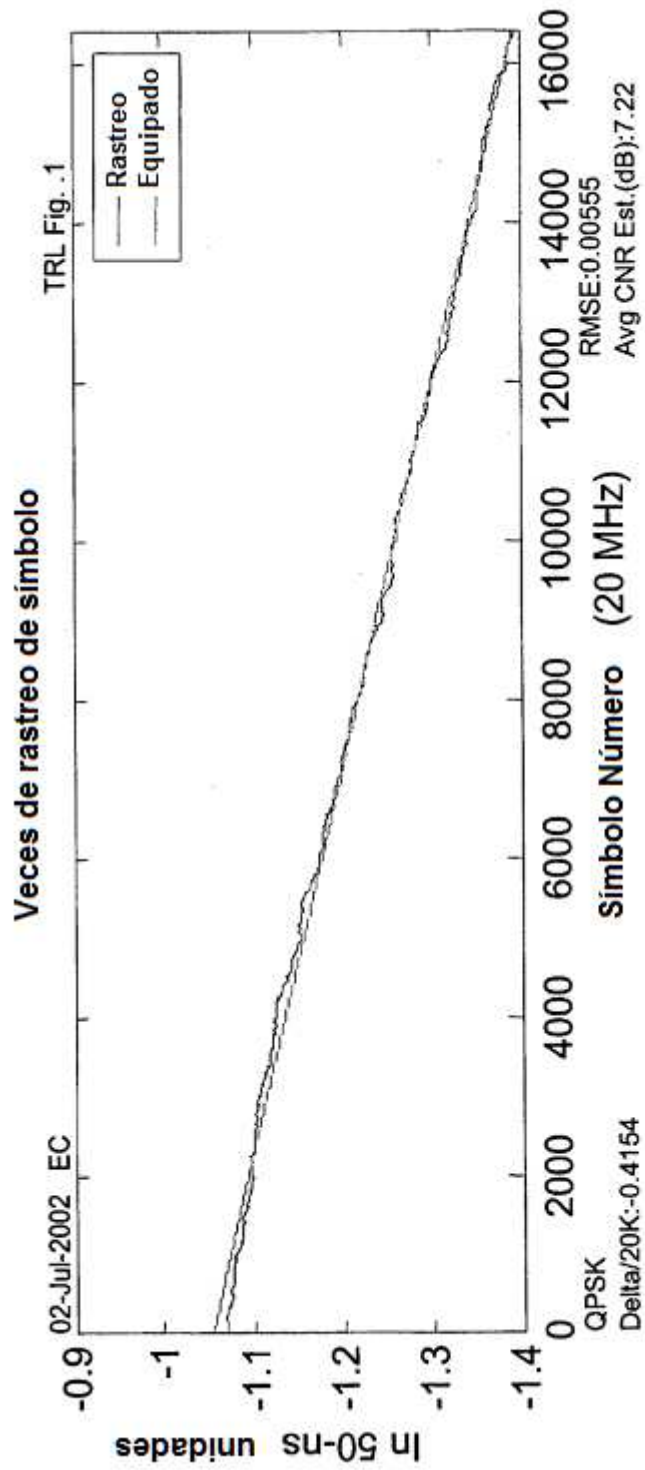


FIG. 20C

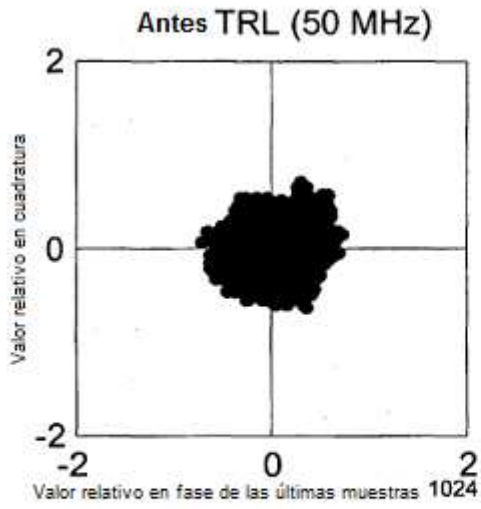


FIG. 20D

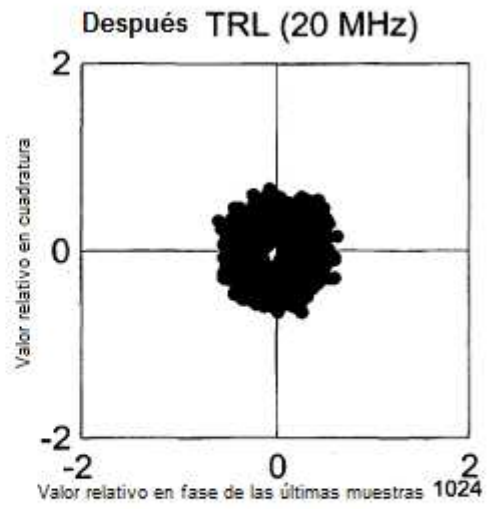


FIG. 20E

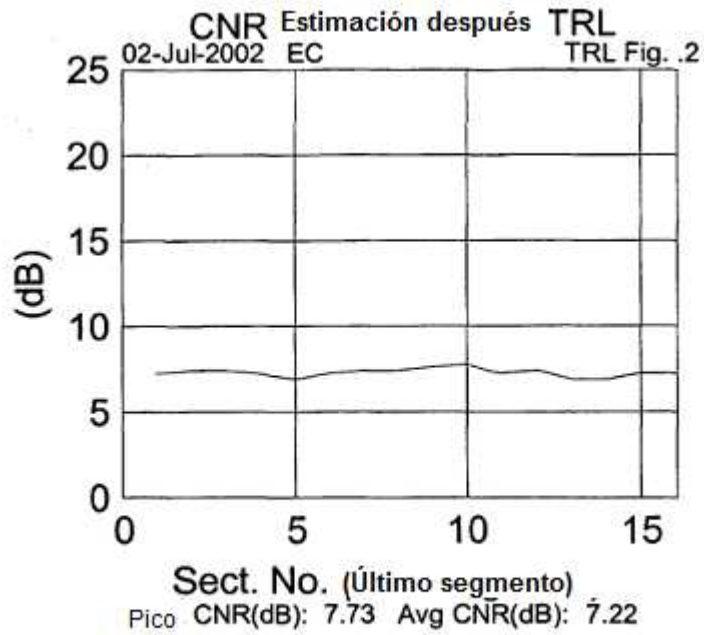


FIG. 20F

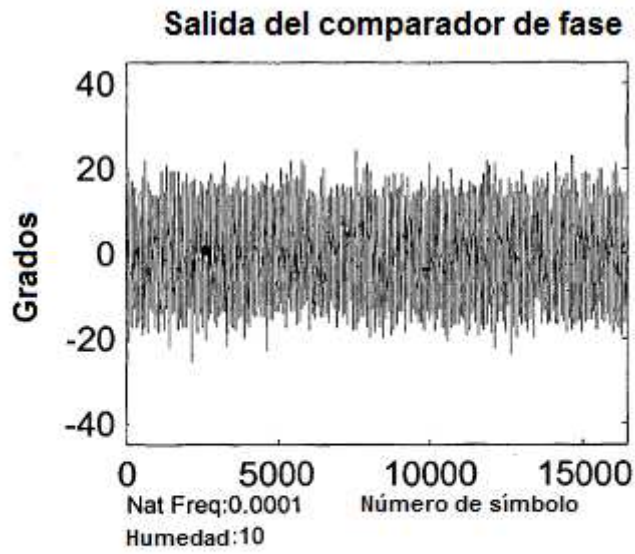


FIG. 21A

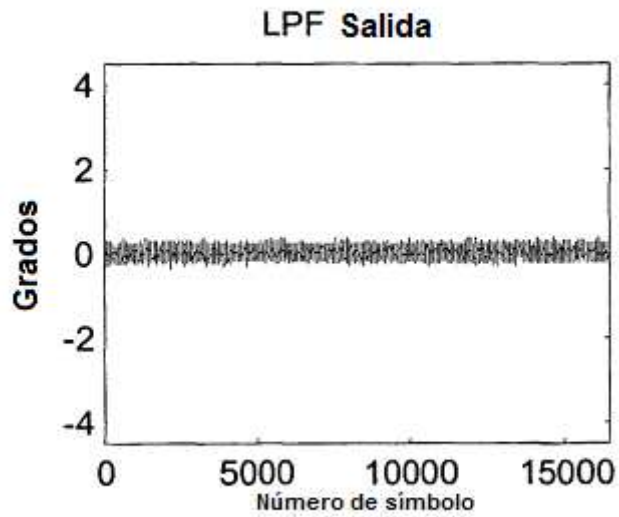


FIG. 21B

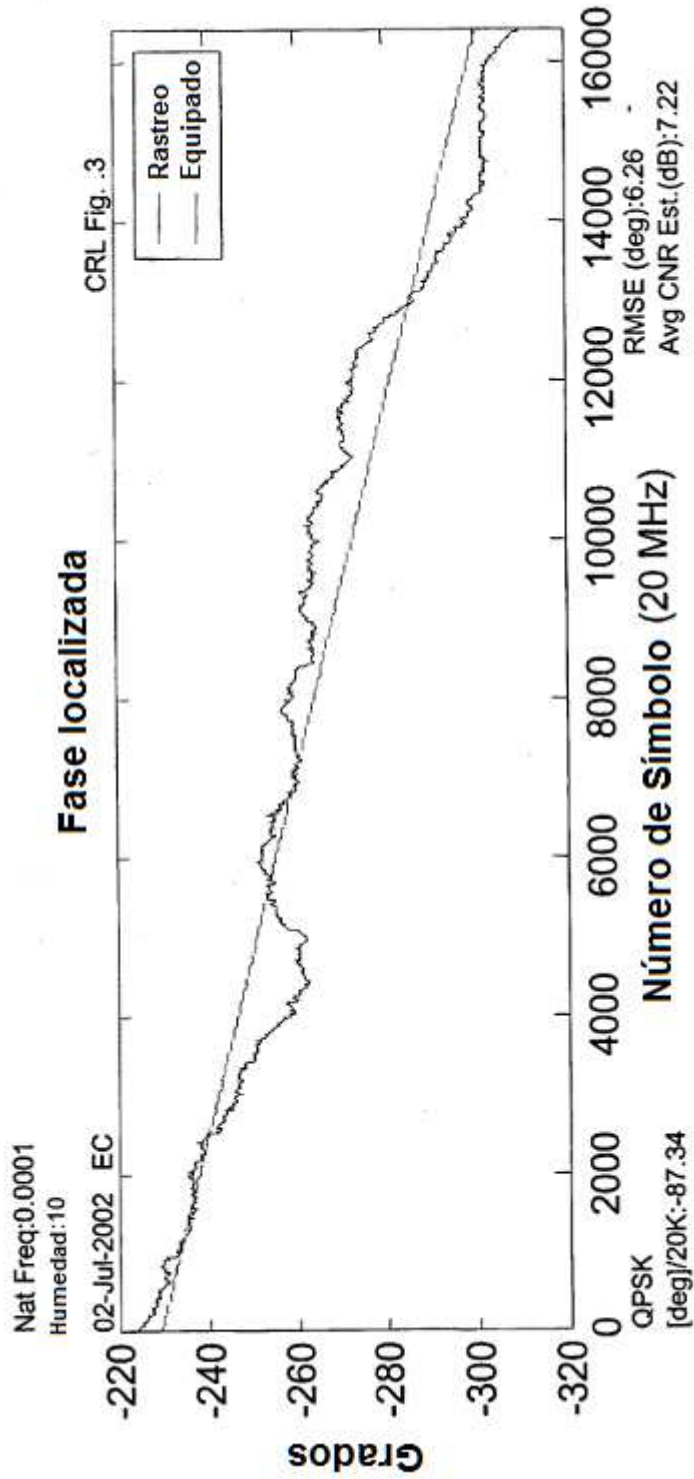


FIG. 21C

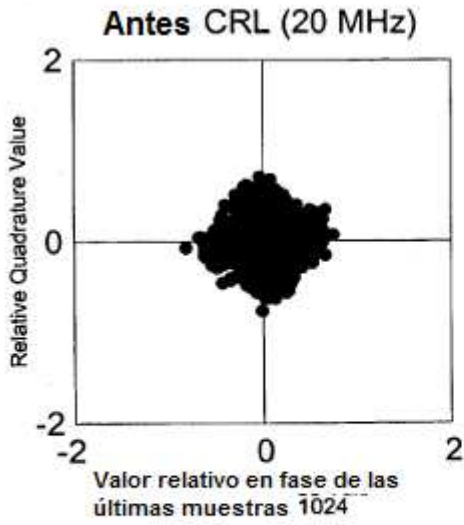


FIG. 21D

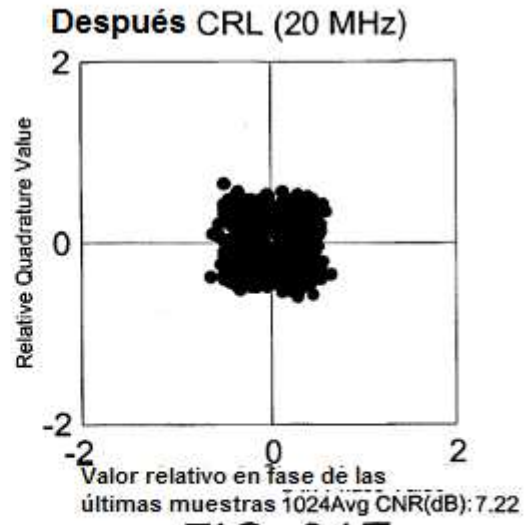


FIG. 21E

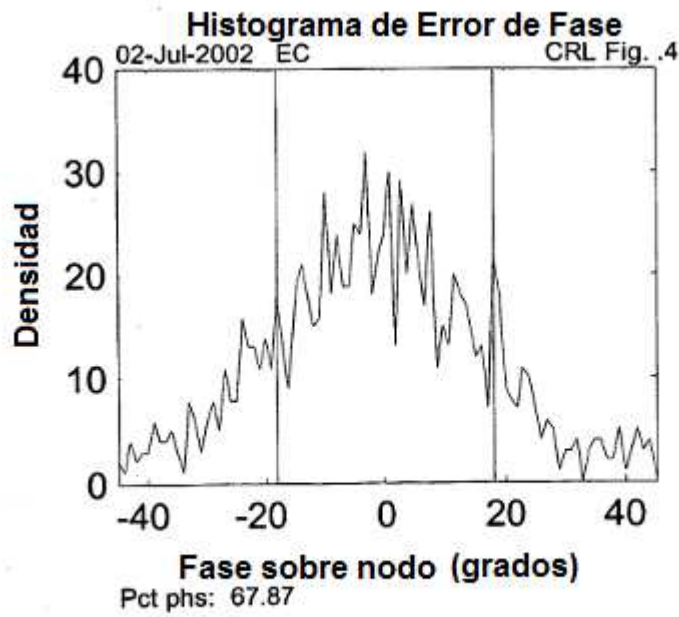


FIG. 21F

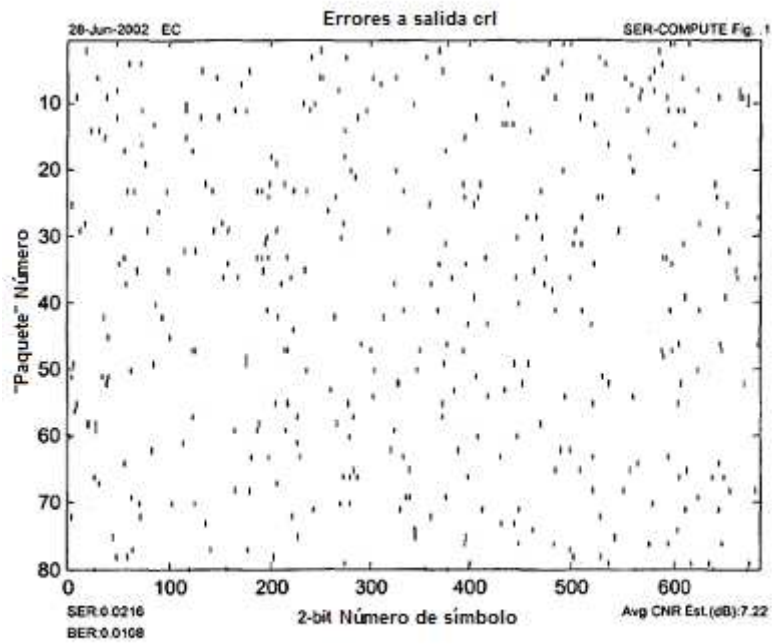


FIG. 22A

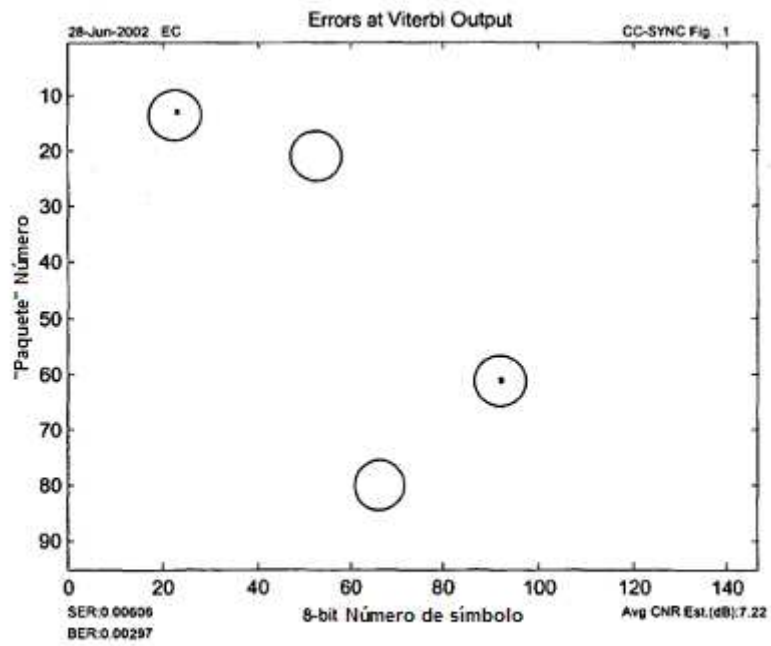


FIG. 22B

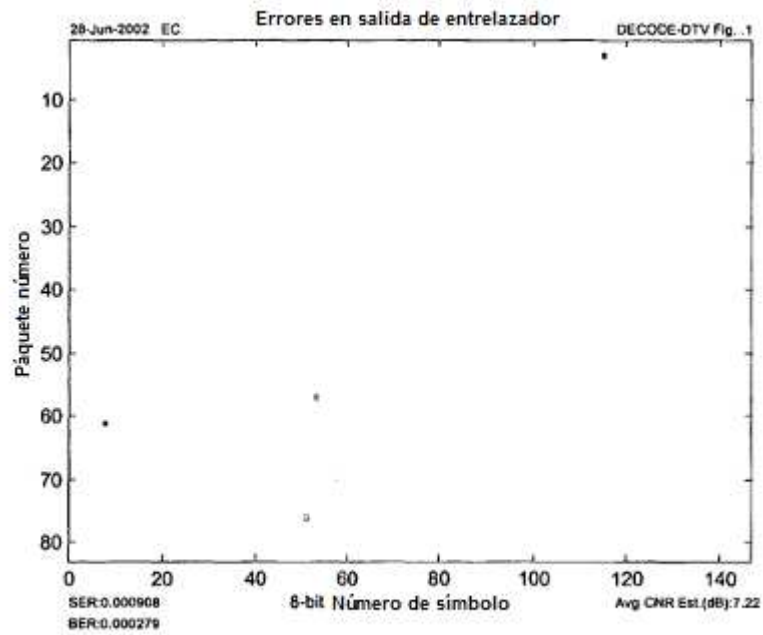


FIG. 22C

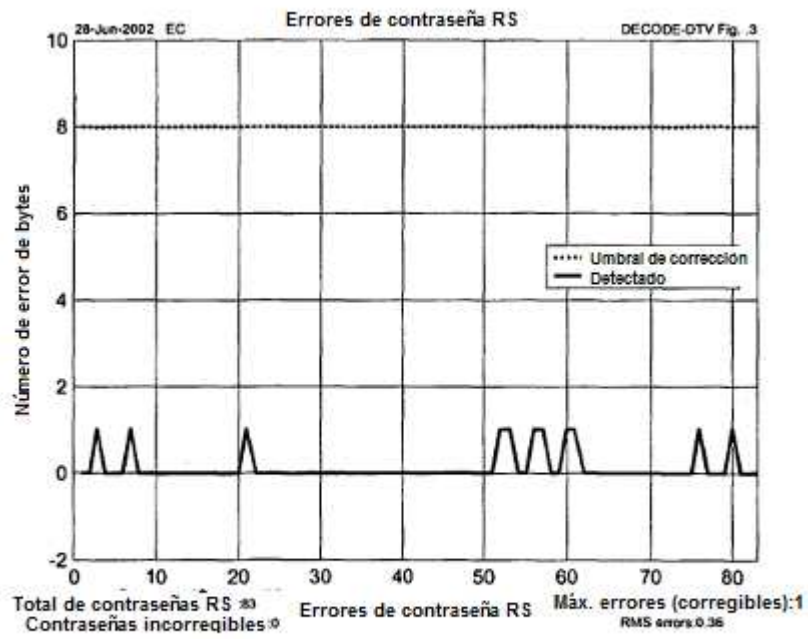


FIG. 22D

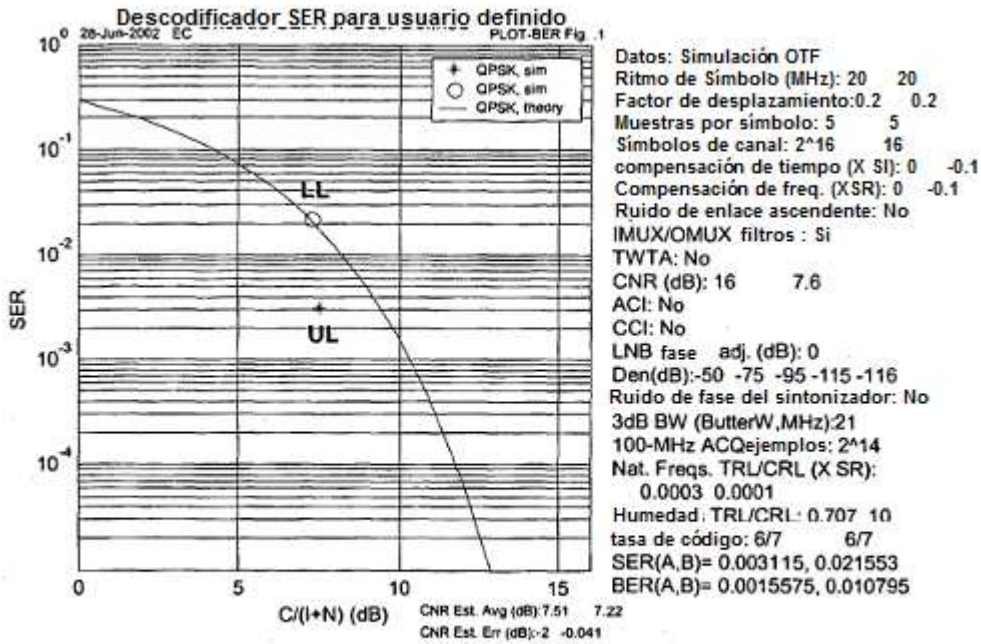


FIG. 23A

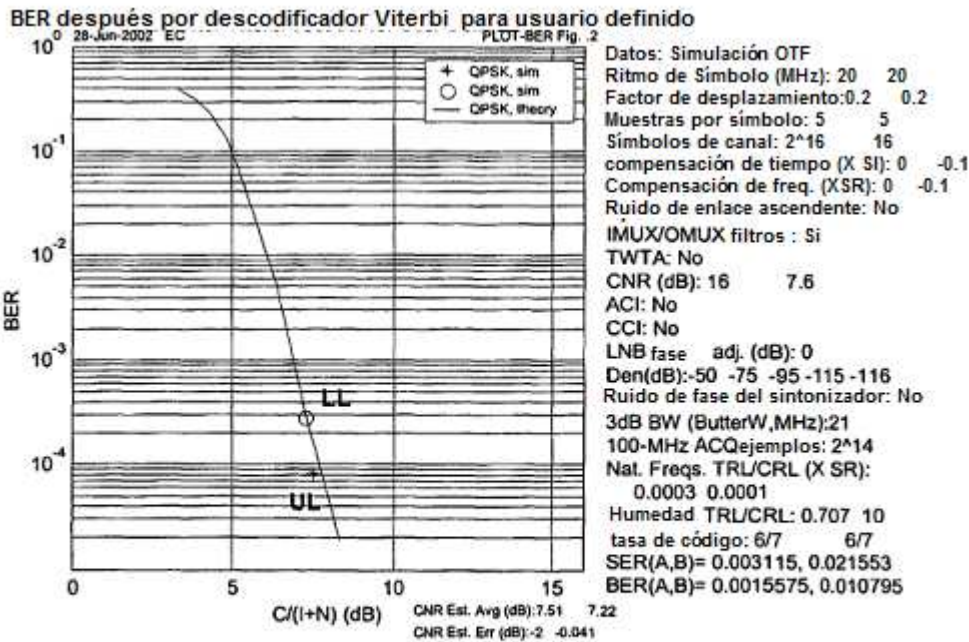


FIG. 23B