



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

⑪ Número de publicación: **2 271 959**

⑮ Int. Cl.:

H04B 10/18 (2006.01)

H01S 5/40 (2006.01)

G02F 1/015 (2006.01)

⑫

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

⑯ Número de solicitud europea: **96939172 .1**

⑯ Fecha de presentación : **19.11.1996**

⑯ Número de publicación de la solicitud: **0862819**

⑯ Fecha de publicación de la solicitud: **09.09.1998**

④ Título: **Transmisor óptico.**

⑩ Prioridad: **20.11.1995 GB 9523731**

⑦ Titular/es: **BRITISH TELECOMMUNICATIONS
public limited company
81 Newgate Street
London EC1A 7AJ, GB**

⑤ Fecha de publicación de la mención BOPI:
16.04.2007

⑦ Inventor/es: **Westbrook, Leslie David y
Moodie, David Graham**

⑤ Fecha de la publicación del folleto de la patente:
16.04.2007

⑦ Agente: **Curell Suñol, Marcelino**

ES 2 271 959 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).

DESCRIPCIÓN

Transmisor óptico.

5 La presente invención se refiere a un transmisor óptico, y en particular a un transmisor adecuado para su utilización en la transmisión de señales ópticas analógicas moduladas en frecuencias de RF o de microondas. Las pequeñas pérdidas y la inmunidad EMI (Interferencia Electromagnética) asociada con las fibras ópticas, hacen que la utilización de las mismas sea una propuesta atractiva, por ejemplo en la distribución de señales a transmisores de lugares remotos de un sistema de radio celular. Los transmisores ópticos utilizados hasta el momento con tales enlaces de fibra óptica 10 presentan la forma de diodos láser directamente modulados, o comprenden láseres de onda continua acoplados con un modulador electroóptico separado tal como un modulador de intensidad Mach-Zehnder o un modulador de electroabsorción. No obstante, estos transmisores ópticos presentan un rango dinámico significativamente inferior al de los dispositivos electrónicos utilizados corrientemente en las estaciones base celulares. Esto ha restringido la utilización 15 de los enlaces analógicos ópticos.

15 En el caso de una potencia óptica determinada, el rango dinámico de enlaces de fibra óptica analógicos está limitado primariamente por la linealidad de la característica de transferencia eléctrica a óptica del transmisor óptico. Anteriormente se propuso la utilización de esquemas tales como la predistorsión eléctrica o la linealización óptica de corrección anticipativa para incrementar el rango dinámico del sistema global. No obstante, sería deseable mejorar la 20 linealidad intrínseca de la fuente. En el contexto de una fuente que utiliza un láser de onda continua seguido de un modulador Mach-Zehnder, se ha propuesto la utilización de dos moduladores en cascada para mejorar la linealidad (Betts, G. E. IEEE Trans. Microwave Theory & Techniques, vol 42 nº 12 pp 2642-2649). Alimentando una señal de accionamiento de RF para ambos moduladores en una relación preestablecida, el segundo modulador corrige la distorsión del primero.

25 Según un primer aspecto de la presente invención, se dispone un transmisor óptico que comprende:

- 30 a) un láser semiconductor modulado directamente que comprende una entrada para una señal de modulación eléctrica analógica de alta frecuencia; y
- b) un modulador de intensidad óptica no lineal que está conectado en serie con la salida óptica del láser y que comprende una entrada para una señal de modulación eléctrica analógica de alta frecuencia correspondiente a la señal aplicada al láser, presentando el modulador una característica de transferencia dispuesta para anular por lo menos parcialmente la distorsión de intermodulación en la salida de la señal óptica en el láser.

35 La presente invención proporciona una fuente de láser directamente modulada con una linealidad intrínsecamente mejorada. Esto se consigue utilizando un modulador seguido de láser directamente modulado que presenta características de distorsión que tienden a anular la distorsión producida por el láser.

40 Preferentemente, el modulador es un modulador de electroabsorción preferentemente integrado con el láser semiconductor. Preferentemente, el láser es un láser de retroalimentación distribuida (DFB) de pozo multicuántico (MQW) y el modulador es un modulador de electroabsorción MQW.

45 La implementación preferida de la presente invención utiliza componentes integrados monolíticamente que forman todos juntos una fuente analógica linealizada de chip único compacta. Esta disposición ofrece una estabilidad de fase de RF superior en comparación con la implementación utilizando dispositivos discretos. Además, la no linealidad de los moduladores de electroabsorción es altamente controlable, haciéndolos ideales para la tarea de linealización de un láser DFB.

50 Alternativamente, el modulador electroóptico puede ser un dispositivo Mach-Zehnder que puede ser un dispositivo planar.

55 El modulador puede presentar una característica predeterminada seleccionada para ser complementaria a las características esperadas de la fuente modulada. No obstante, preferentemente el modulador se controla activamente para linealizar la señal de salida. Preferentemente el sistema comprende un detector para controlar la salida del transmisor y unos medios para suministrar una entrada de control al modulador dependiente de la salida del detector. El detector puede estar dispuesto para detectar, por ejemplo, el tercer armónico de la señal de salida, y para accionar el modulador en un bucle de retroalimentación para minimizar esta salida.

60 A continuación se describirán con mayor detalle sistemas de realización de la presente invención, únicamente a título de ejemplo, con referencia a las figuras adjuntas, en las cuales:

- la figura 1 es un esquema de un láser/modulador EA que incorpora la presente invención;
- 65 la figura 2 es un gráfico que muestra la característica de transmisión del modulador de la figura 1;
- las figuras 3a y 3b son espectros de detección de la salida del dispositivo de la figura 1;

la figura 4 es un gráfico que muestra la dependencia de la distorsión en la energía de RF de entrada; las figuras 5a y 5b son esquemas que muestran con mayor detalle los circuitos que incorpora la presente invención;

5 la figura 6 es una sección transversal que muestra con detalle el modulador/láser de la figura 1;

la figura 7 muestra la estructura de cristal utilizada en la fabricación del dispositivo de la figura 1;

10 la figura 8 es un esquema de una forma de realización alternativa; y

la figura 9 es un diagrama que muestra un sistema de radio celular que incluye un transmisor óptico que incorpora la presente invención.

15 Un transmisor óptico 1 comprende un láser semiconductor modulado directamente 2 y un modulador de intensidad óptica 3 conectados en serie con la salida óptica del láser. Una fuente de RF 4 genera una tensión de modulación que se superpone a una polarización de cc aplicada al láser y al modulador. Un atenuador 5 conectado en serie entre la fuente de RF y la puerta del modulador 3 se utiliza para ajustar una relación predeterminada entre la amplitud de la señal de modulación aplicada al modulador y la aplicada al láser. El modulador presenta una característica de transferencia que, para señales pequeñas por encima de un rango seleccionados de tensiones de polarización, es generalmente complementaria a la del láser, y por lo tanto puede anular la distorsión de intermodulación generada por el láser.

20 El detalle ampliado muestra una capa en retícula 101, una capa activa MQW 102, una capa espaciadora n-InP 103, una capa de electroabsorción 104, una región Fe InP 105 y una región p InP 106.

25 En el presente ejemplo, el transmisor comprende un modulador láser DFB/EA integrado, como muestra esquemáticamente la figura 1. Presenta una sección de láser DFB MQW InGaAs/InGaAsP de 395 μm de longitud y una sección de modulador EA MQW InGaAsP/InGaAsP de 190 μm de longitud separadas por una sección de guía de onda pasiva de 100 μm 6. El modulador y las capas epitaxiales láser crecieron secuencialmente, separados por una capa espaciadora de 0,2 μm InP, mediante MOVPE. Las epicapas láser se eliminaron selectivamente de encima del modulador y las secciones de guía de onda pasivas y mesas grabadas antes del crecimiento de una capa InP, dopada con Fe de alta resistividad que proporciona bloqueo de corriente y aislamiento entre las secciones. El chip acabado se empaqueta en un módulo con conectores de alta velocidad de 14 clavijas con fibra terminada en lente soldada. La relación de supresión de modo lado CW medida fue > 40 dB y el aislamiento eléctrico entre las secciones del DFB y el modulador EA fue de 2 M Ω . La característica de transmisión del modulador CC (normalizada a 0V) se muestra en la figura 2 como función de la polarización inversa del modulador.

30 La sección transversal del dispositivo se muestra con mayor detalle en la figura 6, y la estructura de cristal utilizada en la fabricación del dispositivo se muestra en la figura 7. Consiste en las capas necesarias para el crecimiento de un láser DFB sobre la parte superior de las capas necesaria para formar un modulador EA. La técnica de crecimiento utilizada, como se indica anteriormente, es la de MOVPE. Los análisis posteriores al crecimiento mostraron que la longitud de onda fotoluminiscente máxima de la capa absorbente fue de 1,5 μm , como se exigía. En la fabricación del dispositivo, se formaron retículas de segundo orden con desfases de cuarto de longitud de onda en la muestra utilizando litografía de haz de electrones. A continuación se formó el dispositivo con etapas de fotolitografía y supercrecimiento. Se alcanzó un ahorro de etapas del proceso diseñando las secciones del láser y el modulador para que fueran heteroestructuras profundas con estructuras bloqueadoras de corriente de InP dopado con hierro, permitiéndoles compartir la definición de mesa, el supercrecimiento InP dopado en Fe, el supercrecimiento de capas de contacto P y las etapas de metalización. Se necesita una etapa de fotolitografía adicional para eliminar las capas láser del modulador y secciones pasivas antes de la definición de la mesa. Una etapa de supercrecimiento implica la deposición de 1 μm del InP dopado en Fe y la región pasiva para aislar eléctricamente las secciones de láser y de modulador. Esto se realiza después de que los 35 láseres de contacto P hayan sido eliminados de todas las partes de las regiones láser y modulador excepto de encima de las bandas activas.

40 En este ejemplo, el ancho de la capa absorbente en la sección del modulador se estimó a partir del análisis con el SEM (microscopio de exploración electrónica) en 1,7 μm . La lámina se afinó a 90 μm . Se separaron las barras y se revistieron con revestimientos multicapa y antirreflexión en ambas caras, antes de ser marcadas dentro de los chips individuales para caracterización y empaquetado.

45 En la forma final empaquetada del transmisor, el chip se incorpora en el lado p en un diamante metalizado. Se dispone un trayecto de baja impedancia desde el diamante al plano base del paquete que sirve como terminal eléctrico negativo del DFB y terminal positivo del modulador polarizado inversamente. El paquete incorpora un termistor y un refrigerante Peltier, de modo que puede controlarse la temperatura del chip. Se utiliza un conector de tipo K de ancho de banda amplio (40 GHz) para proporcionar un contacto eléctrico de alta velocidad al lado p del modulador. En el lado p del DFB se realiza un contacto eléctrico de cc. Para medir el rendimiento del transmisor, se coloca un fotodiodo cerca de la cara DFB para permitir el control directo de la salida de láser.

50 Las figuras 3a y 3b ilustran el rendimiento del transmisor. Se efectuaron comprobaciones estándar de dos tonos en el dispositivo láser-modulador EA a frecuencias de RF relevantes para la radio celular GSM alimentada con fibra (frecuencia central alrededor de 950 MHz, separación de portadoras igual a 200 kHz). Se utilizó un divisor de potencia

para dividir la RF entre el láser y el modulador, alimentándose el último a través de un atenuador 5 y un ajustador de fases.

El espectro detectado con RF aplicado solamente al láser se muestra en la figura 3a, para una polarización de 5 modulador de -1,21 V. Se efectuaron ajustes iniciales para el atenuador fijado (grueso) y la polarización del modulador (fino), con RF sólo para el modulador, de modo que los productos de intermodulación de tercer y de quinto orden presentaron aproximadamente la misma amplitud que los de la RF aplicada solamente al láser, pero con un nivel de señal detectada mucho más bajo. A continuación, con la RF aplicada a ambos dispositivos, la polarización del modulador se optimizó para alcanzar una anulación de la distorsión máxima. El espectro detectado de la figura 3b 10 muestra claramente la anulación de ambos productos de intermodulación de orden tercero y quinto cuando se optimiza la polarización, estando todavía el nivel de portadora detectado dentro del dB del medio sin anulación de la distorsión.

Más de una combinación de atenuador y tensión de polarización da como resultado la anulación de la distorsión. En 15 otro ejemplo, se aplicó una polarización de -0,12 V al modulador y se utilizó una relación de atenuación de 26 dB. De nuevo se alcanzó la anulación de la distorsión. La figura 4 muestra la dependencia de la distorsión de intermodulación de tercer orden con la energía de RF de entrada para esta polarización de modulador de -0,12 V con y sin la RF aplicada al modulador. En este caso, el receptor era un fotodiodo de clavija simple terminado con $50\ \Omega$. La photocorriente en esta medición fue de 0,9 mA, dando un ruido base dominado por el ruido de descarga de -167 dB.Hz. La anulación de la distorsión dio como resultado una mejora del rango dinámico libre de parásitos (SFDR) de $96\ \text{dB} \cdot \text{Hz}^{2/3}$ a 117 20 $\text{dB} \cdot \text{Hz}^{6/7}$.

Las figuras 5a y 5b muestran con mayor detalle dos configuraciones utilizadas para obtener los resultados mencionados anteriormente. En estos circuitos, las señales de accionamiento están combinadas en un combinador de potencia 25 51 y pasadas a través de un amplificador 52. La señal resultante es dividida por un acoplador de 3 dB 53. Una parte de la señal se acopla a continuación en al accionamiento para el diodo láser 54. La corriente de polarización $CC\ i_{cc}$ es de 1,54 mA. La otra parte de la señal pasa a través del atenuador de 20 dB y una etapa de control 55 y se acopla a la 30 entrada de control del modulador electroóptico. En el caso de la figura 5a, se incluye otro atenuador 56 en el trayecto de la señal al modulador 57. La etapa de control 55 puede comprender un ajustador de fase de microondas para ajustar la fase del accionador para el modulador para combinar la del accionador al láser. En este ejemplo, la etapa comprende un par de líneas de banda de microondas que se desplazan una respecto a otra para proporcionar el cambio de fase 35 requerido. Además, como muestra esquemáticamente la figura 9, puede utilizarse la retroalimentación desde la salida óptica del transmisor para controlar la polarización aplicada al modulador. Para facilitarlo, pueden añadirse dos tonos rf resistivamente a la señal de accionamiento. A continuación se utiliza un acoplador óptico a la salida del transmisor para separar una pequeña fracción de la potencia de salida. Ésta se filtra para seleccionar la frecuencia diferencial de los dos tonos rf, pasados a través de un diodo de rectificación y amplificados para producir una señal de control para el modulador en el nivel apropiado.

La figura 8 muestra una forma de realización alternativa, en la cual el modulador electroóptico es un dispositivo 40 planar Mach-Zehnder disponible comercialmente en GEC Advanced Optical Products Y-35-8931-02. Se utilizó un láser semiconductor DFB modulado directamente como fuente óptica.

Como se ha mencionado anteriormente, el transmisor de la presente invención es particularmente adecuado para su utilización en un enlace óptico analógico dentro de un sistema de radio celular. La figura 9 ilustra un sistema de 45 esta clase. Un transistor como el que ilustra la figura 1 se encuentra situado en una estación central 91 conectada con diversas estaciones base celulares GSM 92 por medio de enlaces de fibra óptica 93 (para simplificar la ilustración, en la figura se muestra solamente un único enlace y una sola estación base). En la estación base celular, la señal portadora de electrodo de RF óptica se convierte en una señal de RF eléctrica para transmisión a estaciones móviles 94. Esto puede hacerse, por ejemplo, utilizando las técnicas dadas a conocer en el documento de H.Ogawa, Trans. on Microwave Theory and Techniques, vol. 39, nº 12, Dic. 1991, págs. 2045-2051.

50

(Tabla pasa a página siguiente)

55

60

65

ES 2 271 959 T3

TABLA 1

CAPA	MATERIAL	ESPESOR
A: Sustrato	n InP dopado con S $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$	300 μm
B: Capa intermedia	n InP dopado con S $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$	3 μm
C: Capa de confinamiento	Q1.10 sin dopar espesor 200 \AA	total de 0,215 μm con capa D
D: Capa absorbente MQW	13 períodos de pozos Q1.59 sin dopar espesor 95 \AA y barreras Q1.10 espesor 55 \AA	total de 0,215 μm con capa C
E: Capa espaciadora	n InP dopado con S $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$	0,2 μm
F: Capa de confinamiento	Q1.30 sin dopar espesor 200 \AA	total de 0,138 μm con capa G
G: Capa de ganancia MQW	8 períodos de pozos ternarios sin dopar espesor 80 \AA y barreras Q1.30 espesor 80 \AA	total de 0,138 μm con capa F
H: Capa de retícula	p Q1.10 dopado con Zn $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$	0,2 μm
I: Capa de cubierta	n InP dopado con Zn $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$	0,05 μm

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

REIVINDICACIONES

1. Transmisor óptico (1) que comprende:

5 a) un láser semiconductor modulado directamente (2) que comprende una entrada para una señal de modulación eléctrica analógica de alta frecuencia; y

10 b) un modulador de intensidad óptica no lineal (3) que está conectado en serie con la salida óptica del láser y que comprende una entrada para una señal de modulación eléctrica analógica de alta frecuencia correspondiente a la señal aplicada al láser, presentando el modulador (3) una característica de transferencia dispuesta para anular por lo menos parcialmente la distorsión de intermodulación en la salida de la señal óptica en el láser (2)

15 2. Transmisor (1) según la reivindicación 1, en el que el modulador (3) es un modulador de electroabsorción.

3. Transmisor (1) según la reivindicación 2, en el que el modulador de electroabsorción está integrado con el láser semiconductor (2).

20 4. Transmisor (1) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el láser (2) es un láser DFB.

5. Transmisor (1) según la reivindicación 4, en el que el láser (2) es un láser (DFB) de retroalimentación distribuida de pozo multicuántica (MQW) y el modulador (3) es un modulador de electroabsorción MQW.

25 6. Transmisor (1) según una de las reivindicaciones 1 a 4, en el que el modulador (3) es un dispositivo de Mach-Zehnder.

7. Transmisor (1) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además un circuito de control para controlar activamente el modulador (3) para linealizar la señal de salida óptica.

30 8. Transmisor (1) según la reivindicación 7, en el que dicho circuito de control comprende un detector para controlar la salida del transmisor, y la salida del circuito de control está conectada a una entrada de control al modulador (3) y, en funcionamiento, aplica a la entrada de control una señal de control que depende de la salida del detector.

35 9. Sistema de radio celular que comprende un enlace óptico analógico entre una estación central (91) y una estación base remota, en el cual la estación central (91) comprende un transmisor óptico según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, dispuesto para generar una señal óptica modulada para la transmisión en el enlace óptico analógico.

40 10. Procedimiento de generación de una señal óptica analógica de alta frecuencia que comprende la aplicación de una señal de modulación eléctrica analógica de alta frecuencia para un láser semiconductor (2), la aplicación de la señal de modulación eléctrica analógica de alta frecuencia correspondiente a un modulador electroóptico no lineal (3) conectado en serie con la salida óptica del láser (2), presentando el modulador (3) una característica de transferencia dispuesta para anular por lo menos parcialmente la distorsión de intermodulación en la salida de la señal óptica en el láser (2).

45 11. Procedimiento según la reivindicación 10, que comprende además el control activo del modulador (3) y por lo tanto la linealización de la señal óptica.

50 12. Procedimiento según la reivindicación 11, en el que la etapa de control activo comprende:

i) la detección de una salida óptica del transmisor; y

ii) la variación, en función de dicha salida óptica, de una entrada de control que se aplica al modulador (3).

55 13. Procedimiento de funcionamiento de un sistema de radio celular que comprende:

a) en una estación central (91) generar una señal óptica analógica de alta frecuencia mediante el procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 10 a 12;

b) transmitir dicha señal óptica a través de un enlace óptico analógico a una estación base remota; y

c) derivar posteriormente, a partir de dicha señal óptica, una señal de radiofrecuencia en el dominio eléctrico para la radiotransmisión desde la estación base remota.

Fig.1.

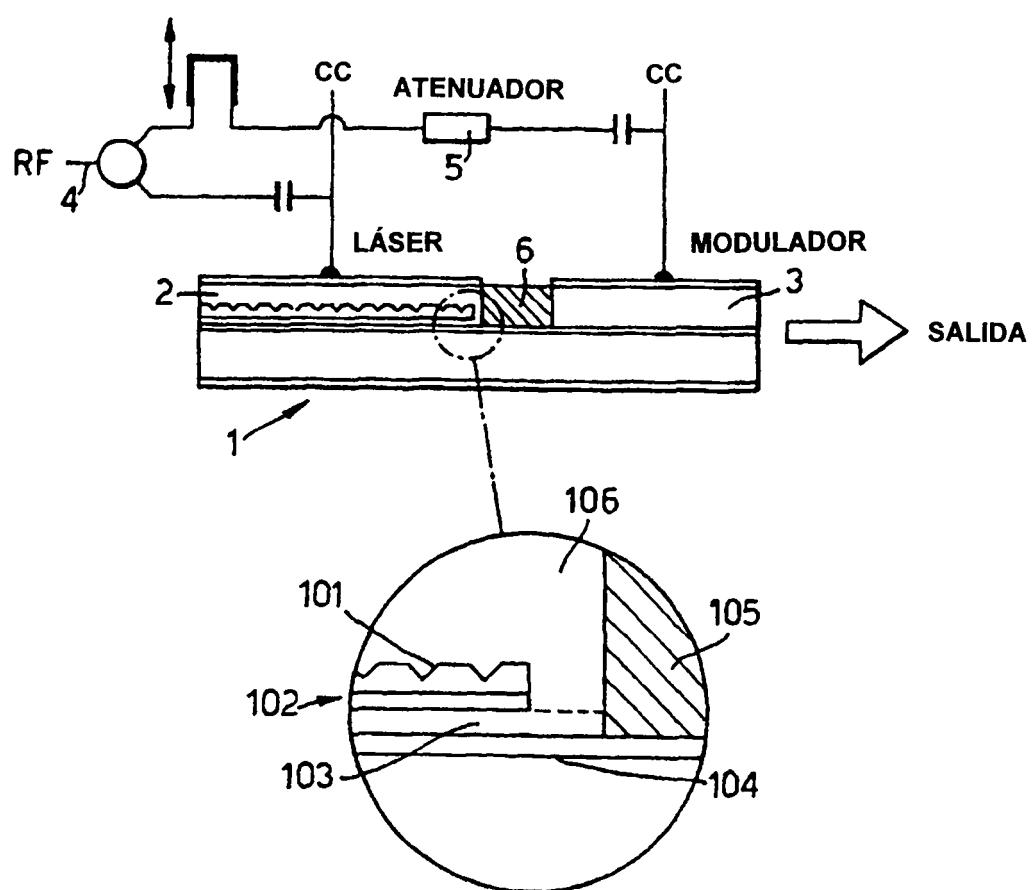


Fig.2.

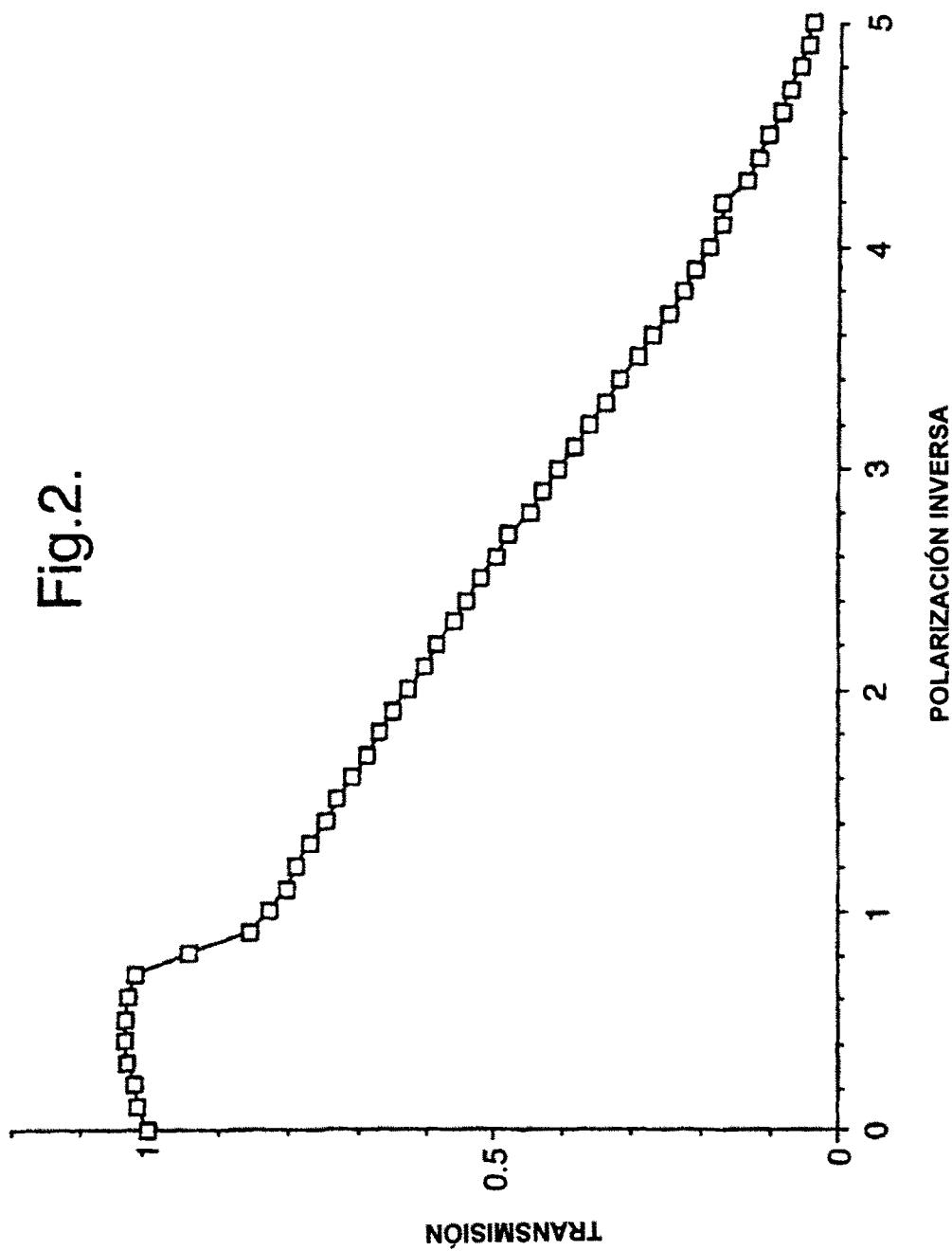


Fig.3A.

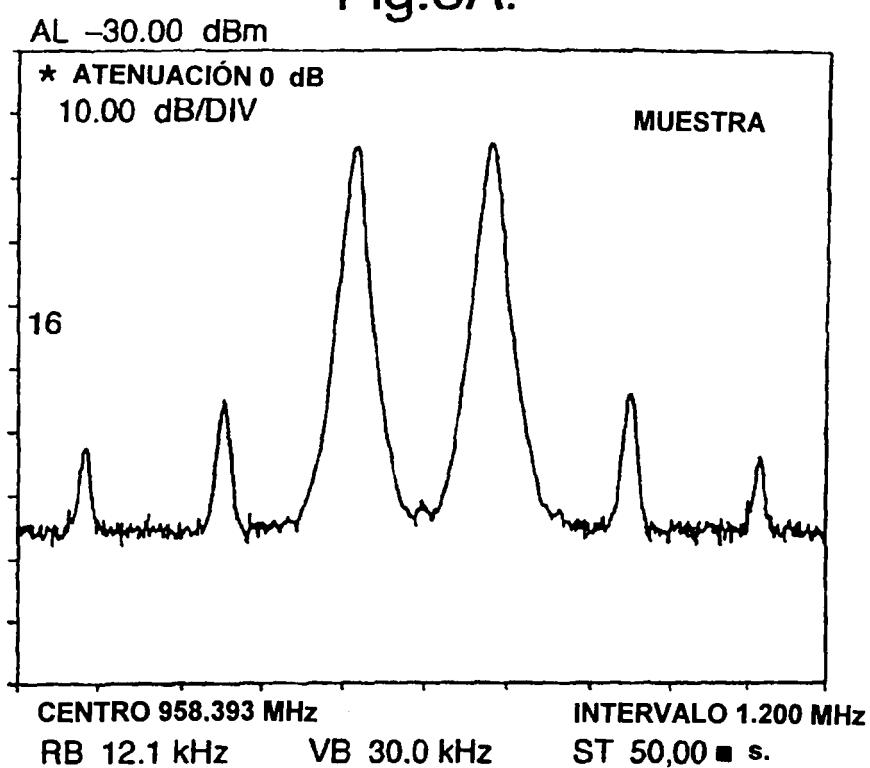


Fig.3B.

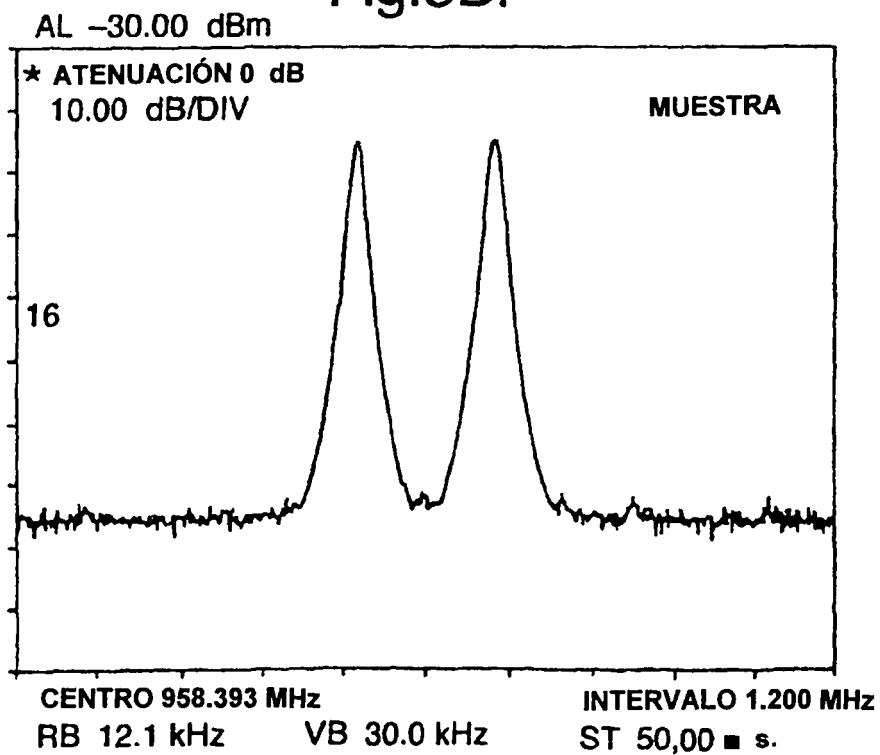


Fig.4.

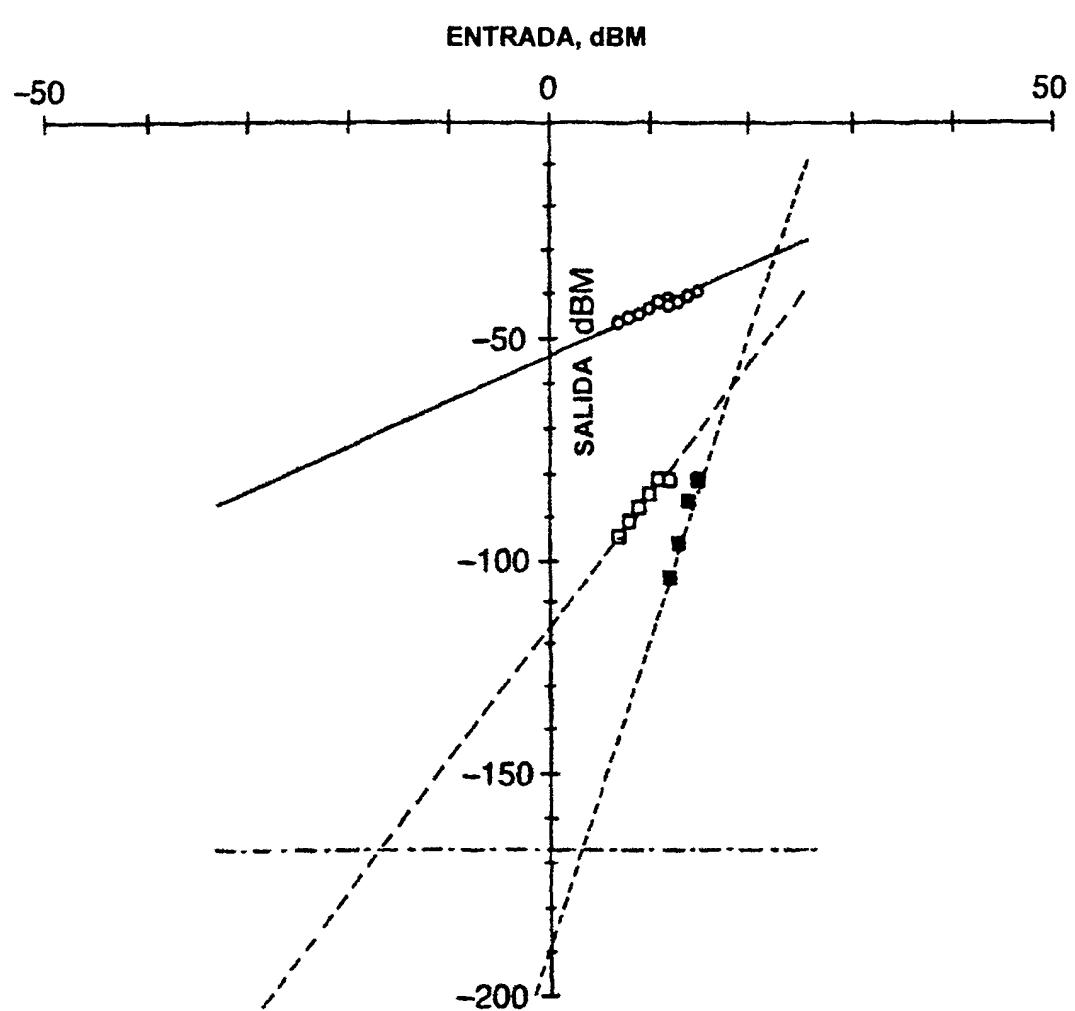


Fig.5a. CONDICIÓN 1

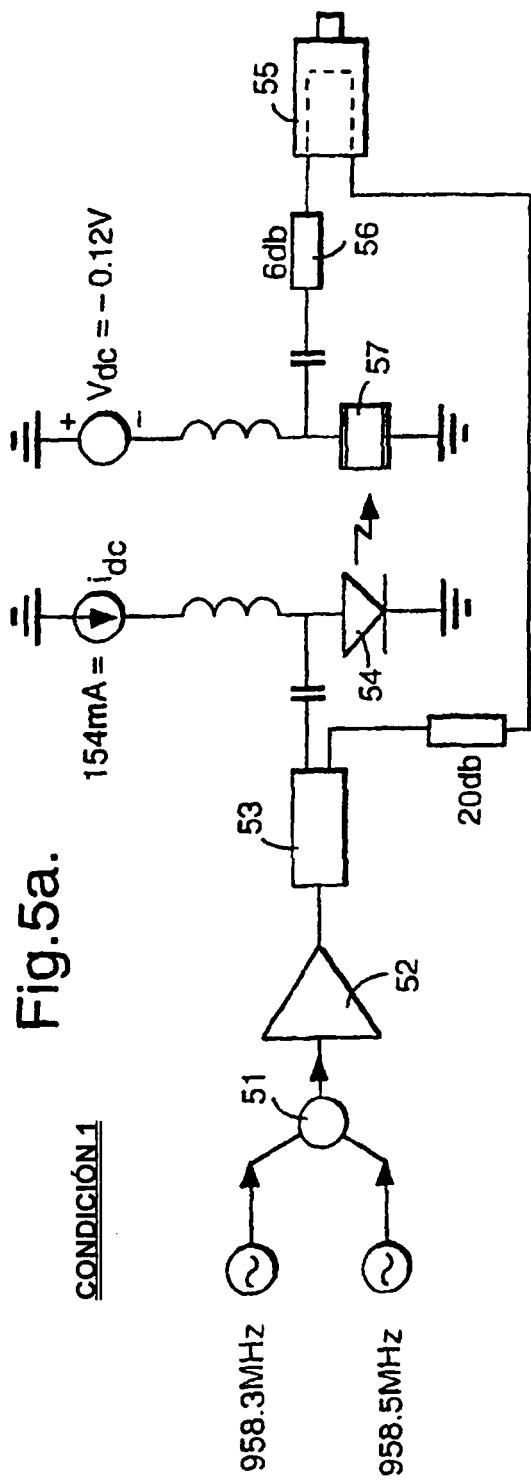


Fig.5b. CONDICIÓN 2

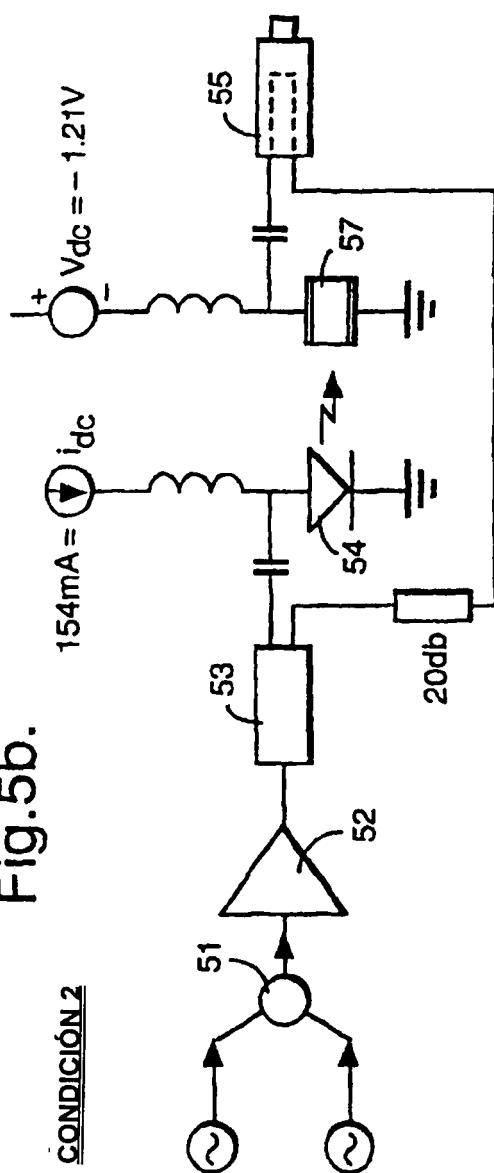


Fig.6.

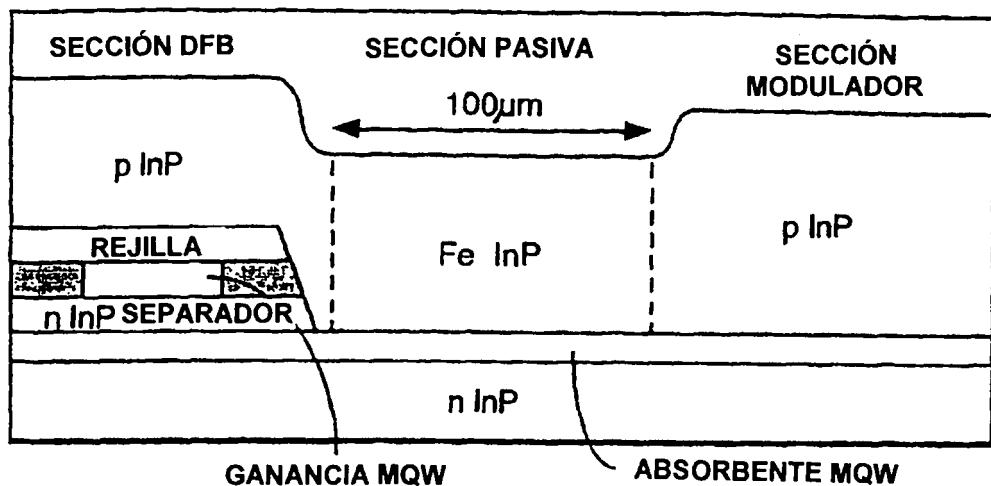


Fig.7.

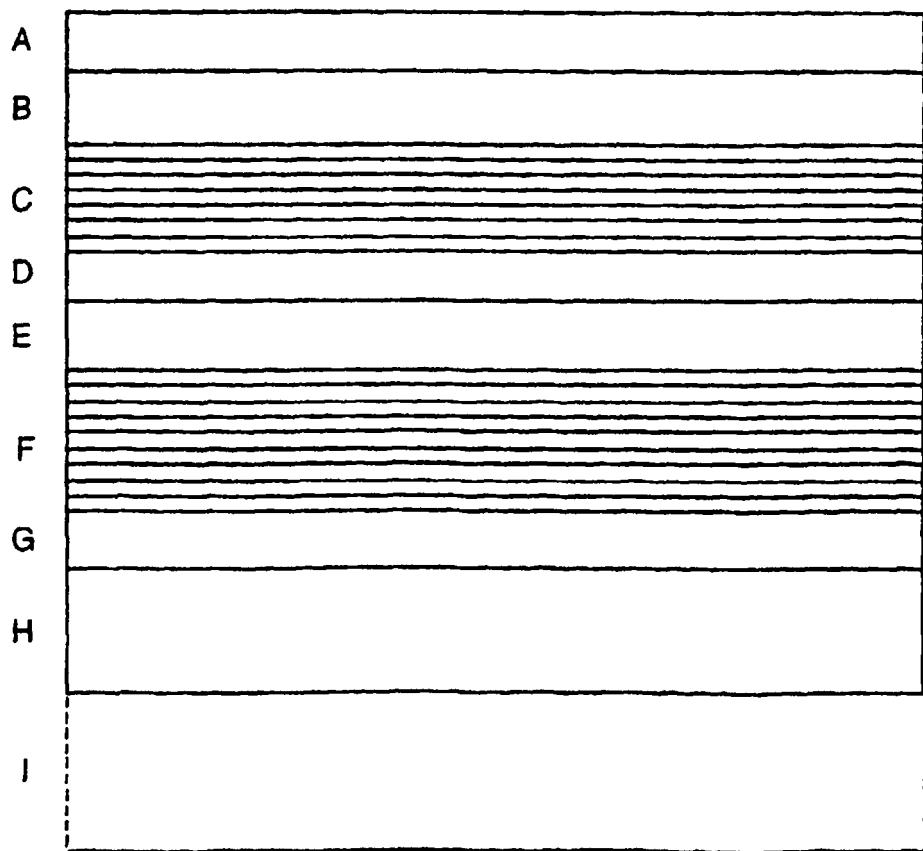


Fig.8.

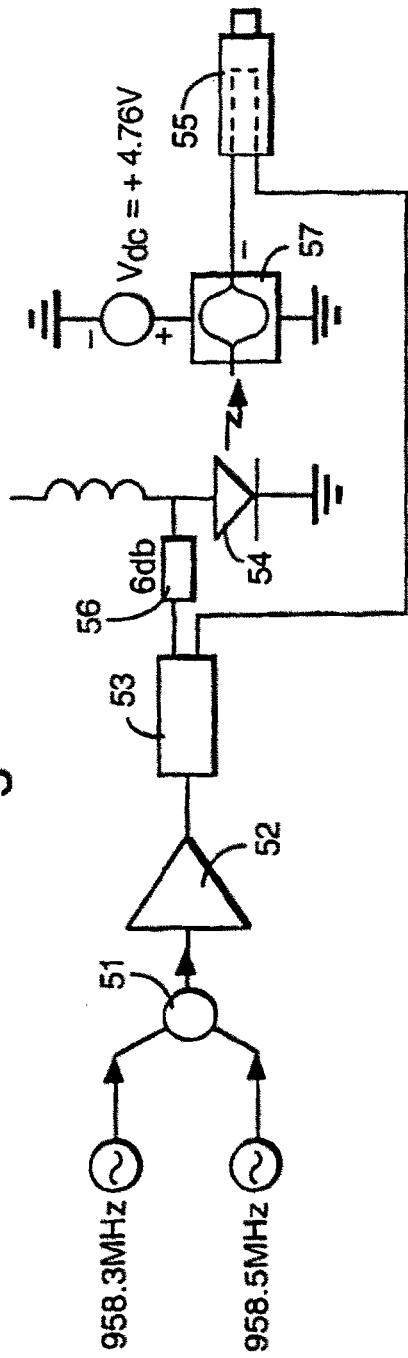


Fig.9.

