

277828

30 MAY



PATENTE DE INVENCION

Paris file 3218-A.

Memoria Descriptiva

sobre:

PERFECCIONAMIENTOS EN SISTEMAS DE RADAR DE FRECUENCIA
MODULADA.

Solicitante: THE BENDIX CORPORATION, entidad norteamericana, residente
en Fisher Building, DETROIT, Michigan, EE. UU. de A.

Este invento se refiere, en general, a sistemas de radar de frecuencia modulada, y tiene aplicación especial a los sistemas de navegación Doppler de onda continua de frecuencia modulada, -

5. en los que la energía de las micro-ondas se proyec

277828



ten hacia el suelo, y se recupera la energía de la señal de retorno para obtener datos Doppler de los cuales puede conseguirse información para la navegación.

- Una forma de sistema de navegación Doppler
5. que emplea energía transmitida de frecuencia modulada, se describe y reivindica en la solicitud pendiente de Gunkel y otros, nº de serie 845.034 cedida al concesionario de este invento. El sistema de navegación Doppler en aquella solicitud descrita, prevé la colocación
 10. sucesiva de un haz de antena en posiciones simétricas, con respecto al eje horizontal de un avión, hacia la derecha y la izquierda, y a proa y a popa del aeroplano. Los datos Doppler recogidos de cada una de estas posiciones del haz, se someten a observación para obtener las indicaciones de navegación necesarias para el
 15. sistema. Este invento se describirá como una mejora del sistema revelado en la solicitud pendiente mencionada, pero es evidente que los perfeccionamientos proporcionados por este invento, se aplican en general a sistemas de radar de frecuencia modulada, de distintos tipos.
 - 20.

- En cualquier sistema de radar de onda continua, de frecuencia modulada (FM-CW) se comprueba un fenómeno siempre que la distancia del objeto reflector a la antena de radar es igual a un múltiple entero de la longitud de onda de la frecuencia de modulación que
25. produce una señal cero en la antena receptora. En los sistemas de navegación aérea, este fenómeno se ha denominado "lagunas en altura" y la pérdida de señal es generalmente tan severa que el sistema se somete a un
 30. error considerable, si el avión vuela a una altitud en

277828



- la que una de estas lagunas hace que se presente la falta de datos. Para la navegación extremadamente exacta, las lagunas en altura que se presentan durante el ascenso y el descenso son también censurable.-
5. En la solicitud pendiente citada, el problema de las lagunas en altura se reduce al mínimo escalonando la frecuencia de modulación en una zona predeterminada, de acuerdo con un programa fijado con objeto de que durante cualquier periodo de tiempo, la altitud a --
10. que se presenta una laguna se desplace ligeramente y los datos recibidos puedan utilizarse excepto en el caso de condiciones estrictas. Sin embargo, el escalonamiento o ascenso de la frecuencia de modulación, tiene inconvenientes, dado que el efecto de un cambio del 3% en la frecuencia de modulación a altitudes superiores, tiende a hacer que el tipo de respuesta de altitud se superponga, mientras que para la altitud --
15. muy inferior, la laguna en altitud no se elimina por completo, y la definición sigue existiendo.
20. Con objeto de vencer estos inconvenientes de una sola frecuencia de modulación que se escalonan para variar un porcentaje reducido con respecto a su valor nominal, este invento proporciona la modulación múltiple de la energía transmitida, y recupera las se
25. ñales de eco de modo adecuado a fin de utilizar todas las frecuencias de modulación empleadas para la eliminación virtual de todos los efectos de las lagunas en altura. Esta modulación se consigue de un modo que --
30. permite que el receptor utilizado en los sistemas -- existentes se utilice prácticamente sin cambios, me--

30 MAR 1948
277828



- diente una relación entera exacta entre las frecuencias de modulación, y recuperando o utilizando la armónica adecuada de la frecuencia de modulación, en el receptor, de tal modo que las componentes del amplificador de frecuencia intermedia del receptor amplificar componentes de cada una de las frecuencias de modulación. Para que la amplificación pueda llevarse a cabo a la frecuencia intermedia, en condiciones distintas de la expansión de la función de Bessel, que define la distribución de energía en cualquier sistema de frecuencia intermedia, se recupera de cada frecuencia de modulación. Dado que la modulación adicional presente en el transmisor, -- tiende a ensanchar el espectro transmitido y, por tanto, a introducir algo de pérdida de sensibilidad, el sistema de acuerdo con este invento se dispone para -- terminar la modulación múltiple después de alcanzar -- una altitud predeterminada, o un nivel de señal predeterminado, en cuyo momento la modulación múltiple no se precisa ya, y la variación escalonada de una frecuencia de modulación sencilla es adecuada para eliminar los efectos de lagunas en altura.

- Constituye pues un objeto primordial de este invento, el proporcionar un sistema perfeccionado de radar provisto de modulación múltiple en un receptor de armónicas de orden elevado, de onda continua de frecuencia modulada, para eliminar la pérdida de señales por objetos reflectores a distancias predeterminadas del sistema de radar.

- Otro objeto de este invento es proporcionar un dispositivo de modulación múltiple simultánea, sus--

277828



ceptible de modulación múltiple de un transformador, sin introducción de componentes de frecuencia de pulsación, susceptibles de degradar más aún el funcionamiento del sistema.

5. Otro objeto de este invento es proporcionar un sistema de modulación sucesiva, en el que las frecuencias de modulación no precisen estar armónicamente relacionadas, y se eligen de tal modo que pueda elegirse un término adecuado de la expansión de Bessel para la energía radiada, con objeto de amplificar en un amplificador de frecuencia intermedia corriente, a una frecuencia fijada.
10. Otro objeto de este invento es proporcionar, en un sistema de modulación múltiple simultánea, dispositivos para eliminar automáticamente la modulación múltiple, como función de la altitud o de la energía de la señal recibida.
15. Otro objeto es proporcionar un sistema combinado de frecuencia modulada "vobulada" y de frecuencia de modulación múltiple, de características perfeccionadas
20. Estos y otros objetos de este invento, resultaran evidentes de la descripción siguiente, estudiada en combinación con los dibujos adjuntos, en los que
25. la fig. 1, es un esquema de conjuntos de un sistema de navegación Doppler, con modulación simultánea de las frecuencias y variación de la frecuencia básica de modulación;
30. la fig. 2, es un esquema útil para la explicación del sistema de la figura 1, y
- la fig. 3, es un esquema de conjuntos de un

30 MAY



277828

sistema de navegación Doppler, para emplear frecuencias multiples de modulación sucesiva.

5. Con referencia a la fig. 1, el sistema de acuerdo con este invento, se describirá en relación con un sistema de navegación Doppler del tipo general, descrito en la solicitud antes citada, pendiente de aprobación, que puede consultarse para los detalles. El sistema indicado en la fig. 1 de esta solicitud corresponde en general a las partes del sistema representado en la fig. 5 de la solicitud pendiente, incorporado en el esquema de conjuntos de la fig 1 de la misma.
10. El sistema de navegación de la fig. 1, -- contiene una antena 11 preparada para controlarse por un interruptor 12 de antena, para colocarse sucesivamente en posición de transmisión de micro-ondas y de recepción de haces, en posiciones predeterminadas con respecto al avión. En una disposición clásica del interruptor de antena de este tipo, el haz de antena girará describiendo un ciclo completo de posiciones, a razón de cinco ciclos o periodos por segundo, y la posición del haz puede lograrse por medios electricos o mecánicos. El interruptor de antena 12, proporciona este control básico de la frecuencia de interrupción, para la antena 11, y aplica además señales de sincronización a un contador 13 de dos etapas, que se dispara una vez para cada ciclo de interrupción de antena,
15. con objeto de, contando a partir de esta frecuencia, proporcionar cuatro estados únicos dependientes del estado conductivo de las dos etapas del contador. El contador 13, controla un oscilador de modulación de 600 -
- 20.
- 25.
- 30.

277828

80



- kilociclos, y los cuatro estados del contador 13 proporcionan cuatro frecuencias distintas en una zona de aproximadamente más y menos 3% del valor de los 600 kilociclos. Este escalonamiento de la frecuencia de modulación, puede lograrse tal como la modulación de fases múltiples, se realizó en la solicitud pendiente antes citada, o por conexión adecuada de las etapas del contador 13, a interruptores diódicos que controlan la conexión de capacitores a través del circuito sintonizado del oscilador 14. En esta solicitud, se ha comprobado que cuatro etapas de frecuencia de modulación, son suficientes, ya que la modulación múltiple proporcionada, por este invento, elimina los problemas a baja altitud y, a altitudes elevadas, cuatro etapas de frecuencia básica de modulación, son adecuadas. La frecuencia de modulación de 600 kilociclos del oscilador 14, se duplica en un duplicador 15, con objeto de proporcionar la salida de frecuencia básica de modulación de 1.200 kilociclos al repulsor de un klystron para microondas del transmisor 16. Esta frecuencia de modulación de 1.200 kilociclos, se aplica también a un cuadruplicador 17 para aplicarse a un receptor 18 para la detección de la cuarta armónica de la frecuencia de modulación recuperada del sistema de antena, después de la mezcla con la energía del transmisor del primer detector asociado con el sistema de antena. La señal de 1.200 kilociclos del duplicador 15, se aplica a un circuito 19 de control automático de frecuencia, que funciona para mantener el transmisor 16 a su frecuencia de funcionamiento, como se des
- 5.
 - 10.
 - 15.
 - 20.
 - 25.
 - 30.

277828



cribe en la solicitud pendiente de Gunkel y otros.

- La señal de 600 kilociclos producida por el oscilador 14, se reduce en un basculador 21 para producir una señal de salida de 300 kilociclos, que
5. se reduce nuevamente en un basculador 22 para producir una señal de salida de 150 kilociclos. Las tres frecuencias de modulación, 1.200 kilociclos del duplicador 15, 300 kilociclos del basculador 21 y 150 kilociclos del basculador 22, se aplican todas a un
10. combinador 23 que puede ser un dispositivo transformador dotado de arrollamientos primarios separados para las tres entradas, y de una bobina secundaria comun para la salida. El combinador 23 aplica estas tres frecuencias de modulación al repulsor del klystron del transmisor 16. En combinación con el circuito del combinador 23, puede introducirse un dispositivo de control 20 de amplitud adecuada, tal como potenciómetros, en cada una de las líneas de señal de frecuencia de modulación, con objeto de que
15. las amplitudes de frecuencia de modulación, puedan ajustarse al valor apropiado. En general, será conveniente ajustar las amplitudes para obtener índices de modulación para las distintas frecuencias de modulación que produzcan amplitudes iguales en la señal
20. de eco de la armónica apropiada, que se desarrolla a la frecuencia común del amplificador de frecuencia intermedia del receptor 18. Dado que la frecuencia intermedia es de 4,8 megaciclos correspondiente a la cuarta armónica de la frecuencia de modulación de
25. 1.200 kilociclos del duplicador 15, la armónica co-
- 30.



277823

- correspondiente de la frecuencia de modulación de 300 kilociclos, será la 16ª armónica, y la armónica de la señal recibida para la frecuencia de modulación de 150 kilociclos, será la 32ª armónica. Cada una de estas señales de retorno, se hallará aproximadamente a 4,8 megaciclos para amplificarse por el amplificador de frecuencia intermedia del receptor 18, y desmodularse en un segundo mezclador, por la señal de 4,8 megaciclos del cuadruplicador 17, de acuerdo con la descripción de la solicitud pendiente. Las señales desmoduladas por el receptor 18, se aplican a un rastreador 24 que aplica señales de frecuencia Doppler equivalente, a un computador 25 que calcula la velocidad con respecto a tierra y el ángulo de deriva a aplicar al computador de navegación, o dispositivo indicador 26.

- Dado que la necesidad principal para la técnica de la modulación múltiple de la fig. 1 es a bajas altitudes, donde la sensibilidad del sistema no necesita ser óptima a causa de la proximidad de la superficie reflectora de la tierra, la reducción en la sensibilidad del sistema producida por la modulación múltiple, no resulta perjudicial para el funcionamiento general. Para altitudes superiores a unos 1.500 metros, sin embargo, esta pérdida de sensibilidad, del sistema puede ser perjudicial. Dado que el efecto de las lagunas en altura se elimina prácticamente por completo por el contador 13 de modulación escalonada, la modulación múltiple se dispone para ser eliminada en las condiciones de altitud superior. Para este objeto, los basculadores 21 y 22 se disponen para controlarse por

277823



- una línea de entrada 27 que puede excitarse a través de un medio adecuado, para insertar o aislar los basculadores de modulación 21 y 22. Como se indica, la línea 27 está conectada a un interruptor 28 de conexio-
5. nes selectivas, a un interruptor de altitud 29 o a un dispositivo receptor de potencial 30 de control automático de ganancia para el control automático de dichos basculadores. Por la conexión selectiva del interruptor 28 al interruptor de altitud 29, se aplicará
10. un potencial a una altitud predeterminada, por ejemplo, 1.500 metros, para inactivar los basculadores 21 y 22, eliminando así la producción de las señales de 300 kc y 150 kc. En estas condiciones, el combinador 23 suministra solamente la frecuencia de modulación única de
15. 1.300 kc al klystron del transmisor 16, y solamente se emplea una frecuencia única de modulación.

- La posición alternativa del interruptor 28 para el dispositivo receptor 30 de control automático de ganancia, se dispone para que produzca automáticamente las frecuencias adicionales de modulación siempre -
20. que se presente una laguna en altura, y se produzca -- una pérdida de señal suficientemente elevada, para reducir el potencial de control automático de ganancia. Así, para estas condiciones, el potencial de control automático de ganancia se conectará en las frecuencias de modulación de 300 y 150 kc para eliminar el efecto de la laguna en altura, siempre que se presente. El sistema -
25. podría disponerse también para funcionar en ambas condiciones, o sea modulación múltiple para altitudes inferiores a 1.500 m., o para energía de señal inferior.
- 30.

277828



- El efecto de la modulación múltiple, puede comprenderse haciendo referencia a la fig. 2, que representa la distribución de lagunas en altura para distintas frecuencias de modulación. Así, la característica -
5. 31 es una representación de la respuesta de amplitud -- con respecto a la altitud para una frecuencia de modulación de 1.200 kilociclos. Como puede verse, se presenta una laguna en altura, en la característica de respuesta, cada 120 m., con la primera laguna en altura alrededor
10. de 120 m de altitud. Análogamente, la característica 32 - representa la respuesta de amplitud para una frecuencia de modulación de 300 kc, y la característica 33 es la - respuesta de amplitud para una frecuencia de modulación de 150 kc. Como puede observarse, las lagunas en altura,
15. en todas las altitudes, se han salvado de modo eficaz, por la característica compuesta que es, efectivamente, la amplitud más elevada en cualquier altitud, de cualquiera de las tres características 31 a 33. A la altitud cero, las tres características tienen una laguna en
20. altura, pero la laguna para la característica 31, tiene una pendiente suficientemente brusca para producir rápidamente una señal de amplitud adecuada, en cuanto al -- avión se encuentra pocos metros por encima del suelo. - La laguna en altura inmediata y común, se presenta a 96
25. metros, en cuya altitud la modulación escalonada de frecuencia de 1.200 kc de la frecuencia modulada básica, y la anchura del haz de la antena, han de desplazarse para salvar la laguna en altura de 96 m de la característica 31, en proporción suficiente para eliminar el efecto
30. de esta laguna en la respuesta a 1.200 kc.

277828³⁰



Con referencia a la fig. 3, se describe a continuación una modificación del sistema de radar de este invento, para proporcionar modulación sucesiva de frecuencia múltiple. Para este objeto,

5. el interruptor de antena 12 se prepara para controlar pasos de control 38 y 39 para excitar los osciladores 41 a 43, sucesivamente, y hacer pasar las señales de los mismos, sucesivamente, al repulsor del klystron del transmisor y como fase de referencia del bucle de control automático de frecuencia.

10. El oscilador 41 se elige para que tenga una frecuencia relativa, con respecto a los osciladores 42 y 43, tal que un múltiplo común de las frecuencias sea adecuado para el amplificador de frecuencia intermedia del receptor. Como se indica, el oscilador 41 funciona a 400 kc, el oscilador 42 a 300 kc y el oscilador 43 a 240 kc. El múltiplo comun de estas frecuencias es 1.200 kc. que, para este sistema, sería la frecuencia intermedia del receptor. Para desmodular frecuencias de 1.200 kc desde cada una de las frecuencias de modulación, se dispone de un multiplicador de armónicas 44, selectivo para obtener respectivamente, las armónicas 3ª y 5ª de la energía derivada de los osciladores 41 a 43. Así, el receptor funcionará con respecto a la tercera armónica del oscilador 41, la 4ª armónica del oscilador 42 y la 5ª armónica del oscilador 43, y estos términos en la señal de energía de eco, serán los que se recuperarán.

25.

30. En este sistema, el bucle de control automático de frecuencia para el transmisor, habrá de adaptar

277828



- se para funcionar con cada una de las frecuencias de modulación transmitidas, ya que en un sistema sucesivo, solamente se halla presente la frecuencia única de modulación, en cualquier momento dado. Tambien en este caso, el interruptor de antena Doppler suministra una señal de sincronización para sincronizar la secuencia de modulación en una relación predeterminada para la inserción del haz de antena y, con preferencia, la modulación se intercala solamente despues de llevarse a cabo un ciclo completo de interrupción del haz. Con el sistema de la fig. 3, los problemas con que se tropieza en la oscilación del voltaje del repulsor del klystron en una zona relativamente amplia, por frecuencias de modulación múltiples, se evitan y las frecuencias inferiores de modulación permiten el mismo indice de modulación con una oscilación inferior del voltaje del repulsor. De ahí, el aislamiento entre el transmisor y el receptor que resultará mejorado en parte para estas frecuencias inferiores de modulación. Dado que las frecuencias de modulación se aplican sucesivamente, no precisa existir relación alguna armónica entre las frecuencias, ya que no se presentará la posibilidad de frecuencias de oscilación.
- 5.
- 10.
- 15.
- 20.

- En el sistema de la fig. 1, los indices de modulación elegidos para obtener amplitudes óptimas de los terminos J4, J16 y J32 son como sigue: 120 KC -2,4; 300 KC - 9,6; 150 KC - 19,2. Con estos indices, las señales recibidas de las tres frecuencias de modulación, se recuperan, aproximadamente, con la misma energia para tratarlas por el receptor y órganos ulteriores del -
- 25.
- 30.



sistema.

277828

- Aunque se ha descrito una disposición especial de modulación múltiple sucesiva o simultánea, resulta evidente que pueden emplearse otros varios --
5. dispositivos utilizando estos principios, para conseguir el resultado deseado. En especial, el empleo de una variación enérgica de la frecuencia básica de modulación en un porcentaje reducido del valor nominal para la eliminación de los efectos de las lagunas en altura a altitudes elevadas, y el empleo de frecuencias múltiples de modulación para la eliminación de las lagunas a baja altitud, permite que el sistema de acuerdo con este invento funcione con cualquier tipo de perfil de vuelo y elimine cualquier error debido a la pérdida de señales resultantes de las lagunas en altura, cuando el vuelo se realiza a altitudes reducidas o en las partes de recorrido a baja altitud, a causa del ascenso y el descenso.
 - 10.
 - 15.

20. Este invento por tanto no ha de considerarse limitado por la disposición especial descrita, sino solamente por el alcance de las reivindicaciones adjuntas.

N O T A

25. Descrita suficientemente la naturaleza del invento, así como la manera de realizarlo en la práctica, debe hacerse constar que las disposiciones anteriormente indicadas son susceptibles de modificaciones de detalle en cuanto no alteren su principio fundamental. También se hace constar que este invento se refiere a una Prioridad norteamericana nº 116,440 de 12 de



Junio de 1961, acogiendo por lo tanto a los benefi
cios que conceden los Convenios Internacionales en -
vigor, y siendo lo que constituye la esencia del re-
ferido invento, y por lo que se solicita Patente de

5. Invención, por 20 años en España: "Perfeccionamientos
en sistemas de radar de frecuencia modulada"; carac-
terizándose por lo siguiente.

1a.- "Perfeccionamientos en sistemas de -
radar de frecuencia modulada," caracterizados por com

10. prender un transmisor de micro-ondas para la transmi-
sión de energía de frecuencia modulada, y un receptor
para detectar partes de dicha energía reflejadas desde
objetos distantes, y por disponerse en ellos medios -
de aplicar al transmisor indicado varias frecuencias

15. de modulación separadas, con objeto de producir series
distintas de magnitud nula en la respuesta de dicho re-
ceptor.

2a.- "Perfeccionamientos en sistemas de radar -
de frecuencia modulada", según reivindicación 1a, carac-
terizados porque dichas frecuencias de modulación se -
aplican al transmisor citado, simultaneamente, y dicho
receptor detecta señales reflejadas, derivadas de cada
frecuencia de modulación.

- 20.

3a.- "Perfeccionamientos en sistemas de ra-
dar de frecuencia modulada", según reivindicación 1a,
caracterizados porque dichas frecuencias de modulación
se aplican al transmisor citado sucesivamente, y dicho
receptor detecta señales reflejadas, derivadas de cada
frecuencia de modulación.

- 25.

4a.- "Perfeccionamientos en sistemas de ra-
dar de frecuencia modulada", según reivindicación 1a o

- 30.

277828



2^a, caracterizados porque dichas frecuencias de modulación estan armónicamente relacionadas.

5. 5^a.- "Perfeccionamientos en sistemas de radar de frecuencia modulada", según reivindicaciones 1^a y 4^a, caracterizados porque dicho receptor contiene medios para detectar el espectro Doppler asociado con -- componentes de todas las frecuencias de modulación mencionadas, a una frecuencia especial que es una armónica de orden mas elevado de todas las frecuencias de --
10. circulación citadas.

15. 6^a.- "Perfeccionamientos en sistemas de radar de frecuencia modulada", según reivindicación 5^a, caracterizados porque dichos medios detectores contienen un multiplicador de frecuencias para producir una frecuencia de desmodulación que es un multiplo entero de la mas elevada de dichas frecuencias de modulación.

20. 7^a.- "Perfeccionamientos en sistemas de radar de frecuencia modulada", según reivindicaciones 1^a y 4^a, caracterizados porque se disponen medios para terminar selectivamente la modulación del transmisor -- citado por todas menos una de dichas frecuencias de modulación, y medios para variar esta frecuencia de modulación en un campo limitado.

25. 8^a.- "Perfeccionamientos en sistemas de radar de frecuencia modulada", según reivindicación 7^a, caracterizados porque este medio terminador de modulación contiene medios dependientes de la altitud, para inactivar todas las frecuencias de modulación citadas, menos la mencionada.

30. 9^a.- "Perfeccionamientos en sistemas de ra

277828



dar de frecuencia modulada", según reivindicación 7ª, caracterizados porque los medios terminadores de modulación contienen medios dependientes de la energía de la señal recibida, para inactivar todas las frecuencias de modulación citadas, menos la indicada.

10ª.- "Perfeccionamientos en sistemas de radar de frecuencia modulada", según reivindicación 1ª, caracterizados porque una de dichas frecuencias de modulación, que es la frecuencia básica de modulación, se produce en un generador de frecuencia de modulación, mientras que las otras frecuencias de modulación, que son frecuencias submúltiplos de dicha frecuencia de modulación básica, se producen por cuenta binaria de dicha frecuencia básica de modulación.

11ª.- "Perfeccionamientos en sistemas de radar de frecuencia modulada", tal y como queda sustancialmente descrito en la presente Memoria e ilustrado en los adjuntos dibujos.

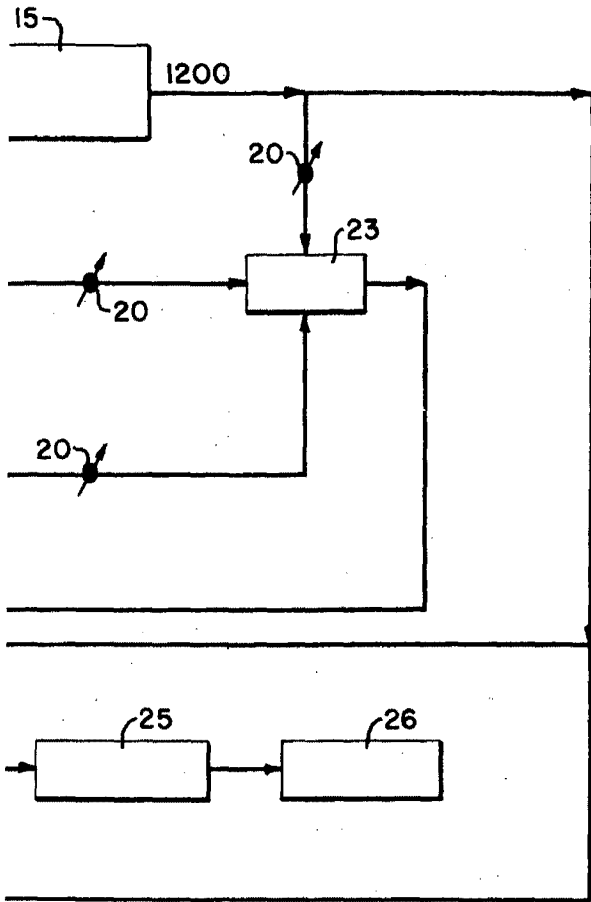
Esta Memoria consta de 17 hojas escritas a máquina por una sola cara.

Madrid,

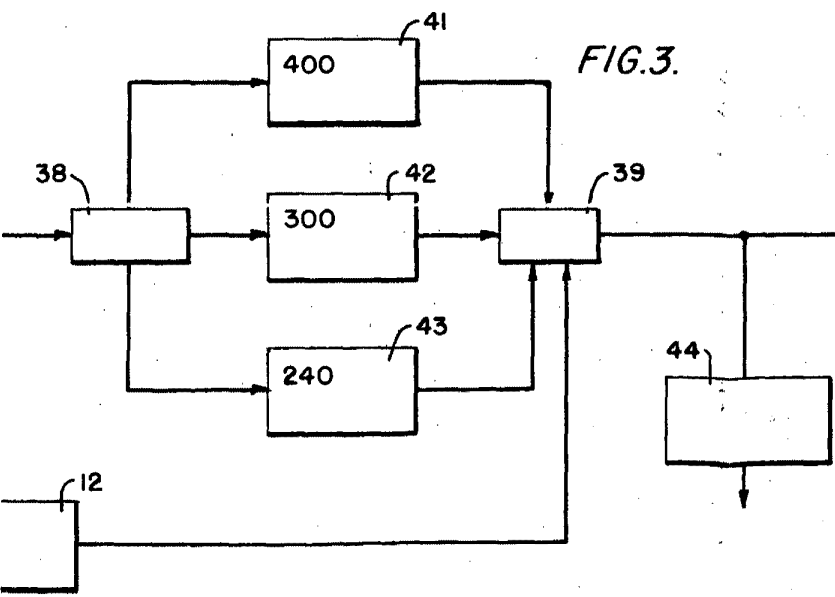
30 MAY. 1962

THE BENDIX CORPORATION,
J. GOMEZ ACEBO Y MODET

ESCALA VARIABLE



277828



[Handwritten signature]

MAY 1967
L. GARCIA LEBRO Y MODER