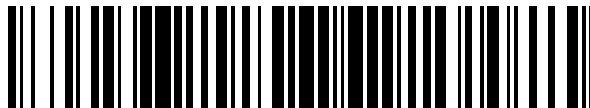


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 447 778**

51 Int. Cl.:

H04B 7/212 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.04.2006 E 06743358 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.11.2013 EP 1875634**

54 Título: **Procedimiento de sincronización y de control en los sistemas de comunicación inalámbricos**

30 Prioridad:

22.04.2005 FR 0504074

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

12.03.2014

73 Titular/es:

**THALES (100.0%)
45 RUE DE VILLIERS
92200 NEUILLY SUR SEINE, FR**

72 Inventor/es:

BRUAS, PATRICK

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 447 778 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

Procedimiento de sincronización y de control en los sistemas de comunicación inalámbricos

5 La invención se refiere, en particular, a un procedimiento de sincronización en las comunicaciones inalámbricas y en especial, en el campo de los satélites en los que se busca la sincronización y el control entre una estación maestra horaria de la red y un abonado de la red de telecomunicaciones.

Se utiliza principalmente en el campo de las telecomunicaciones que usan una forma de onda OFHMA (acceso múltiple por salto de frecuencia ortogonal u Orthogonal Frequency Hopping Multiple Access).

10 En el campo de las telecomunicaciones que utilizan unas formas de onda del tipo OFHMA, la ortogonalidad se asegura habitualmente mediante una distribución y un mantenimiento de la hora del tipo maestro-esclavo que se realiza de manera que los instantes de llegada de todas las portadoras emitidas por el segmento de base en el mismo repetidor estén sincronizadas en el satélite, esto con una precisión de sincronización mejor que la duración de un hueco del escalón de la forma de onda EVF (de evasión de frecuencia). Esto garantiza una auto-interferencia nula de la red y por tanto una mejor capacidad de la red. La gestión de la hora es así de tipo centralizado.

15 El medio utilizado generalmente para cumplir la condición de ortogonalidad anterior es un bucle de control entre el maestro horario de la red y cada abonado (esclavo) de la red.

20 Dada la latencia del bucle de control, cualquier variación del Tiempo de Tránsito debido al movimiento del satélite (por ejemplo, la inclinación de algunos grados del plano orbital que crea el famoso "ocho" del satélite) o del portador (por ejemplo, la velocidad de la nave) en un sistema controlado de 1^{er} orden se traduce en un régimen permanente con un error de bucle incompatible con la exigencia de precisión de sincronización requerida por la condición de ortogonalidad.

El doble problema a resolver es por lo tanto asegurar un tiempo de convergencia del bucle satisfactorio, al mismo tiempo que un error de bucle nulo o casi nulo en régimen permanente, con un margen de estabilidad correcto. En efecto, el tiempo de convergencia de este bucle de control es un elemento preponderante en el rendimiento de tiempos de reentrada en la red de una estación.

25 Es conocido por la técnica anterior la utilización de un control de segundo orden para anular este error de bucle. Sin embargo, esto se realiza en detrimento del tiempo de convergencia del bucle que se incrementará de manera significativa para mantener un margen de estabilidad suficiente del bucle de control. Los inconvenientes de la solución del control de segundo orden son particularmente su complejidad y sobre todo el alargamiento del tiempo de convergencia.

30 Puede surgir también un rebose importante con varios rebotes para ciertos reglajes de las ganancias del bucle.

El documento US 4 811 365 describe un procedimiento de sincronización en las comunicaciones inalámbricas.

35 El procedimiento según la invención utiliza principalmente una información suplementaria que es la velocidad de variación del trayecto satélite-portador que permite hacer converger hacia cero el bucle largo de un abonado. Esta velocidad de variación se encuentra, por ejemplo, calculando la derivada de la posición temporal de recepción del enlace de servicio EVF denominado "baliza horaria", que se emite por el maestro de la hora con difusión permanente hacia todos los abonados de la red.

40 La invención se refiere principalmente a un procedimiento de sincronización en un sistema de telecomunicaciones por satélite transparente que comprende una estación maestra y una o varias estaciones de abonado, utilizando el sistema para intercambiar las informaciones una forma de onda del tipo de salto de frecuencia ortogonal, intercambiando un abonado y el maestro unos mensajes de petición de hora y de respuesta de la hora, estando controlada la hora de emisión de cada abonado por un bucle largo controlado por el maestro de manera que todas las señales de la red lleguen sensiblemente sincronizadas en el repetidor del satélite, determinando la estación maestra el error de bucle $\Delta B(n)$ de un abonado determinando el desfase entre el instante de recepción y la petición de hora de la estación de abonado y el instante de recepción de su propia baliza horaria, caracterizado porque:

- 45
- una estación de abonado tiene en cuenta el valor del desfase (error de bucle) recibido en la respuesta de la hora y la velocidad de variación del trayecto satélite-portador deducido de la recepción de la baliza horaria, para proceder a un reajuste de su hora de emisión de la nueva petición de hora, y porque
 - la estación maestra o una estación de abonado compara el valor del error de bucle medido con un valor de umbral y cuando el valor del error de bucle, para una estación de abonado dada, es inferior o igual al valor de
- 50 umbral, la estación maestra da la autorización para emitir su tráfico a dicha estación de abonado.

Se determina la hora de emisión que permite anular el error de bucle en régimen permanente por ejemplo realizando en cada ciclo del bucle (es decir cada intercambio solicitud/respuesta de la hora) el algoritmo siguiente:

$$H^B_{emi}(n+1) = H^B_{emi}(n) - G_o B(n-k) - C(n) \quad [E3]$$

en la que:

Go es la ganancia de bucle

C(n) un término de corrección que estima en este caso la variación del trayecto satélite-abonado y que es igual, según el algoritmo de la invención, a:

$$5 \quad C(n) = Hrec(n) - Hrec(n-1)$$

H^Bemi: hora de emisión de la estación de abonado

B(n) error de bucle para la estación de abonado B

Hrec: hora de recepción por el abonado de la baliza horaria emitida por el maestro

10 "k": latencia del bucle expresada en número de ciclos del bucle = duración que separa la medición del desfase de la toma en consideración del reajuste.

La etapa de comparación del error de bucle y el valor de umbral se ejecuta por ejemplo en varios ciclos del bucle consecutivos.

El valor de umbral se elige por ejemplo inferior a la duración del hueco de escalón de la forma de onda.

La forma de onda es por ejemplo una forma de onda OFHMA.

15 La invención se refiere también a un dispositivo que permite sincronizar una estación maestra y una o varias estaciones de abonado en una red de comunicaciones inalámbricas, comprendiendo al menos un procesador dispuesto en cada una de las estaciones de abonado, estando adaptado un procesador para calcular el reajuste de la hora de emisión de cada abonado teniendo en cuenta la velocidad de variación del trayecto satélite-abonado, dispuesto un procesador del lado de la estación maestra, adaptado para medir el error de bucle y un procesador
20 adaptado para comparar el valor del error con un valor de umbral y cuando el valor de error de bucle, para una estación de abonado, sea inferior o igual al valor de umbral, para dar autorización a dicha estación de abonado para emitir su tráfico.

El procesador adaptado para comparar el valor del error de bucle y el valor de umbral está dispuesto en la estación maestra o en una estación de abonado.

25 La invención presenta principalmente las ventajas siguientes: permite un tipo de convergencia sensiblemente idéntico al de un bucle de control de primer orden mientras asegura un error de bucle nulo compatible con el criterio de ortogonalidad.

El rendimiento en tiempos de reentrada en la red de una estación es significativamente mejorado. La idea es simple de realizar. La estabilidad del bucle se mejora.

30 Surgirán mejor otras características y ventajas de la presente invención con la lectura de la descripción a continuación de un ejemplo de realización, dado a título ilustrativo en ningún caso limitativo, con unas figuras adjuntas que representan:

- la figura 1, una representación de las leyes EVF ortogonales,
- la figura 2, la representación de un canal de difusión de la hora síncrona,
- 35 • la figura 3, un sinóptico de la adquisición de la hora mediante bucle largo y la figura 4 las etapas realizadas,
- la figura 5, una implementación del control de la hora mediante bucle largo,
- la figura 6, una respuesta a un escalón del bucle largo,
- la figura 7, unos resultados de simulación que comparan la convergencia obtenida según la técnica interior y realizando el procedimiento según la invención, y
- 40 • la figura 8, una representación de la latencia en un bucle largo.

En resumen, la idea de la invención consiste principalmente en utilizar una información suplementaria, por ejemplo la velocidad de variación del trayecto satélite-portador del lado del abonado, para obtener una sincronización más rápida del bucle. Esta información se puede obtener calculando la derivada de la posición temporal de la recepción del enlace EVF denominado "baliza horaria" que se emite por el maestro de la hora como difusión hacia los
45 abonados de la red.

Se trata, principalmente para esta baliza horaria, de una difusión permanente de la hora síncrona (designada en anglosajón con full-EVF) e implícita (no la Time-Of-Day explícitamente transportada). Todas las estaciones de abonados o usuarios de la red tienen su hora de recepción del tráfico controlada en base a esta baliza horaria. Los abonados son, por ejemplo, unas unidades de comunicación, UC, (moduladores que emiten cada uno una portadora de tráfico). Para una estación, hay una o varias UC que emiten en el mismo receptor y que tienen necesidad de ser
50

controladas independientemente cada una por el maestro para no auto-interferirse.

De manera general, el procedimiento según la invención se puede utilizar en cualquier sistema EVF ortogonal (OFHMA) del tipo maestro-esclavo o cualquier otro sistema que utilice una forma de onda que presente unas características similares a las de las formas de onda OFHMA.

5 La técnica EVF ortogonal (OFHMA) consiste, en el contexto de los enlaces de comunicaciones SAT-COM, en sincronizar temporalmente y en frecuencia todos los escalones del salto de frecuencia que llegan en el repetidor del satélite, de manera que la superposición entre 2 escalones sea más pequeña que la duración del hueco entre escalones de la forma de onda EVF.

10 Dado el movimiento del satélite (el famoso ocho) GEO y/o el movimiento del portador de la estación del segmento terrestre, es necesario tener un maestro de la hora (estación NC = "Network Controller") que controle todas las emisiones de los abonados (estaciones NM = "Network Member") de la red con tantos bucles largos como abonados, de manera que se respete el criterio de ortogonalidad y por tanto anular la auto-interferencia de la red para ganar en capacidad.

15 La figura 1, Leyes EVF ortogonales (OFHMA), muestra en un diagrama tiempo-frecuencia, un conjunto de enlaces de tráfico que comparten la misma banda de escalonamiento, sin interferirse mutuamente.

El maestro de la hora (estación NC) emite una baliza horaria permanente en EVF que llega al satélite a la hora del sistema Ho. La banda de escalonamiento del EVF puede ocupar uno o varios repetidores del satélite. Esta estación NC mantiene la hora del sistema principalmente con la ayuda:

- 20 • de una referencia horaria Ho (por ejemplo, la escala de tiempo internacional "GPS time" o la del tiempo universal coordinado "UTC" modificado para despejar unos segundos intercalares y convertirse en una escala de tiempo continua),
- de una estimación final de su tiempo de tránsito TT (por ejemplo, la medición del TT mediante bucle corto).

25 Esta hora del sistema define la hora de referencia de la red. Se trata de una hora estándar elegida por convención entre todos los abonados de la red para hacer la adquisición de la hora y permitir la interoperabilidad. El canal de baliza horaria difundido permanentemente se designa DIFF en la descripción. La figura 2 ilustra el canal de difusión de la hora síncrona full-ECCM.

30 Del lado del maestro de la hora, dado que el tiempo de tránsito entre la estación maestra NC y el satélite varía con el tiempo, se compensa esta variación controlando la hora de emisión Hemi de la estación maestra HC sobre la medición del tiempo de tránsito TT obtenida mediante bucle corto (ejemplo: mediante escucha de su propio canal DIFF). Esto permite a la estación maestra NC mantener el instante de llegada del DIFF sobre el satélite a la hora Ho.

La figura 3 es un sinóptico de la adquisición de la hora vía radio y la figura 4 reagrupa un ejemplo de etapas de adquisición de la hora para un bucle largo.

35 Del lado del abonado (estación NM), la adquisición pasiva de la hora vía radio se obtiene, por ejemplo, mediante la técnica de la ley de guarda EVF clásica que consiste en buscar una frecuencia desde el instante $-\Delta T$ hasta el instante $+\Delta T$, correspondiente a la incertidumbre temporal relativa entre la estación NM y la estación NC. Esta incertidumbre temporal engloba una incertidumbre horaria y una incertidumbre del tiempo de tránsito.

En resumen la sincronización de las estaciones de abonado se efectúa:

- en la recepción, a partir de la escucha del canal DIFF,
- en la emisión, mediante un bucle largo de control que se controla mediante la estación maestra NC.

40 Del lado de la estación de abonado NM, una vez que se detecta el canal DIFF, la hora de recepción Hrec de la estación de abonado NM se reajusta y sigue la evolución del canal DIFF gracias al seguimiento temporal del tratamiento de la señal. La demodulación del canal de tráfico de recepción se autoriza. Según la forma de onda, el canal de tráfico se puede multiplexar con el canal DIFF o bien los dos canales ocupan 2 UC (unidades de comunicación) diferentes.

45 Del lado NC (estación maestra), hay una búsqueda del mensaje técnico de petición de hora por el abonado denominado SYNCH_EL "extremo de enlace" sobre un intervalo de búsqueda reducido, por ejemplo $\pm 200 \mu s$, que debe ser compatible con la precisión del tiempo de tránsito inicial de la estación NM.

50 Del lado NM (estación de abonado), hay una emisión del mensaje técnico de petición de hora denominado SYNCH_EL que se anticipa en $2 \times TT_{init}$, en la que TT_{init} = tiempo de tránsito inicial, estimado generalmente mediante cálculo local a partir de las efemérides del satélite (calculadas centralmente por la estación de control del satélite) recibidas con el DIFF, y de la posición geográfica local de la estación NM.

Del lado NC (estación maestra), cuando se detecta un mensaje SYNCH_EL válido, entonces el NC mide la desviación entre la hora de recepción del mensaje entrante y la hora prevista a la que se debía haber recibido si no hubiese error de sincronización.

5 Esta última hora prevista corresponde al instante de recepción del DIFF. Esta desviación del bucle $\Delta B(n)$ de cada abonado, indicada también como $f(t)$ en lo que sigue en el documento, se mide después de reenviar con una latencia de τ segundos (correspondiente en la implementación a la duración de varios ciclos del bucle) selectivamente hacia el NM en un mensaje de respuesta de hora denominado SYNCH_OUT (mensaje técnico de reajuste). Por ejemplo, si hay 100 módems de abonados de la red de sincronización, entonces habrá 100 bucles largos independientes controlados por un maestro de la hora, en este caso designado NC. Esto es por lo que la unidad de comunicación NC nominal se debe redundar mediante una unidad de comunicación NC de socorro (localizada conjuntamente o no) en caso de avería, con una conmutación automática de manera que se asegure una continuidad de los servicios de tráfico y no detener toda la red porque la estación maestra NC tenga una avería.

15 Del lado de la estación de abonado NM, cuando recibe el mensaje técnico SYNCH_OUT, corrige su hora de emisión Hemi aplicando una consigna $B(n)$ con una ganancia de filtrado del algoritmo de bucle largo (descrito en el presente documento a continuación) para reenviar un mensaje SYNCH_EL. La consigna de reajuste utilizada se indica por $B(n)$ en la relación [E3] formulada en el presente documento a continuación.

El bucle largo está en un régimen transitorio durante el intercambio de mensajes SYNCH_EL, SYNCH_OUT hasta que converge el bucle.

20 El criterio de convergencia del buque consiste particularmente en observar un error de bucle bajo un umbral de aceptación durante un cierto número de ciclos del bucle consecutivos.

La figura 5 esquematiza una implementación del control de la hora mediante bucle largo entre el módem implementado en una estación de abonado y el módem de la estación maestra de la red.

25 Cuando la estación maestra constata que el valor absoluto del error de bucle es inferior a un cierto umbral durante por ejemplo un cierto número de ciclos del bucle sucesivos, entonces la estación maestra NC advierte a la estación de abonado NM que el buque a convergido y, en consecuencia, que la estación de abonado NM está autorizada a emitir su tráfico. Para ello, se notifica en un campo de autorización de emisión, en el mensaje de respuesta SYNCH_OUT por la estación maestra NC para autorizar o no a la unidad de comunicación de la estación de abonado NM distante a emitir su tráfico.

Entonces hay ortogonalidad de los enlaces en el satélite.

30 El valor de umbral es elegido, por ejemplo, de manera que sea inferior a la duración del hueco del escalón de la forma de onda EVF.

Después del régimen transitorio, el bucle pasa a un régimen permanente con un error que es nulo según el algoritmo de la invención (denominado algo_03 en el presente documento a continuación).

35 Para realizar el algoritmo según la invención, cada una de las estaciones de abonado, NM, comprende por ejemplo un procesador (no representado por razones de simplificación) adaptado para calcular el reajuste de la hora de emisión de cada abonado teniendo en cuenta la velocidad de variación del trayecto satélite-abonado. La estación maestra, NC, comprende un procesador adaptado para medir el error de bucle y un procesador adaptado para comparar el valor del error con un valor de umbral y cuando el valor de error de bucle, para la estación de abonado, es inferior o igual al valor de umbral, para dar autorización a dicha estación de abonado para emitir su tráfico.

40 Una estación de abonado puede comprender un procesador adaptado para ejecutar la operación de comparación del valor del bucle con un valor de umbral.

Las tareas de la estación maestra y de una estación de abonado son respectivamente las siguientes:

- 45 • La estación maestra NC mide un desfase entre el mensaje técnico de petición de hora, emitido regularmente por una estación de abonado y el instante esperado. Este desfase se envía regularmente en el mensaje de respuesta denominado SYNCH_OUT,
- La estación de abonado NM utiliza la relación [E3] para efectuar su reajuste de hora,
- La estación maestra NC compara el valor del desfase medido con un valor de umbral fijado. Antes de sobrepasar el umbral, la estación maestra prohíbe a la estación de abonado emitir tráfico. Después de rebasar el umbral, la estación de abonado está autorizada por la maestra para emitir su tráfico. No teniendo que conocer la NM el valor de umbral, sólo la estación maestra conoce el valor de umbral y decide autorizar a la estación de abonado a emitir su tráfico a través de 1 bit de información contenido en el mensaje SYNCH_OUT.

El procedimiento funciona también cuando es la estación de abonado NM quien ejecuta la operación de comparación del valor de desfase medido.

Para determinar el error de bucle se realizan las etapas del procedimiento descritas a continuación.

Se utilizan las notaciones siguientes

5 Se denotan respectivamente como A y B las estaciones NC (maestra de la hora) y NM (estación esclava).

Se señala como $f(t)$ la función de error de bucle = $H^B \text{sat} - H_o$ [E1] o bajo la forma discretizada equivalente $B(n) = f(t = nT_e)$ en la que:

- H_o = hora del sistema = instante de llegada del canal DIFF en el satélite,
 - $H^B \text{sat}$ = instante de llegada al satélite de una portadora emitida por la estación B,
- 10 - T_e es el periodo de muestreo del sistema controlado = duración de un ciclo del bucle.

Ecuación del bucle analógico

La función del error [E1] se convierte en: $f(t) = H^B \text{emi}(t) + T_B - H_o$ y derivándola:

$$\frac{df}{dt}(t) = \frac{d}{dt}(H^B \text{emi}) + \frac{dT_B}{dt}(t) \quad [E2]$$

15 en la que
 $H^B \text{emi}(t)$ = hora de emisión de la estación B
 T_B = tiempo de tránsito de la estación B.

El mensaje del bucle largo $B(n)$ emitido por la estación maestra NC hacia la estación de abonado NM en el SYNCH_OUT contiene el desfase entre el instante de recepción del mensaje recibido SYNCH_EL y el instante esperado (es decir el instante de recepción del DIFF a través del bucle corto).

20 Este mensaje del bucle largo mide por lo tanto el error de ortogonalidad $f(t-\tau)$ y será emitido τ segundos más tarde correspondiendo a la latencia del sistema con $\tau = k \cdot T_e$ que se ilustra en la figura 8.

El algoritmo implementado en el lado de la estación de abonado B es el siguiente:

$$H^B \text{emi}(n+1) = H^B \text{emi}(n) - G_o B(n-k) - C(n) \quad [E3]$$

25 en la que:
 G_o es la ganancia del bucle.
 $C(n)$ término de corrección que es igual, según el algoritmo 3, a

$$C(n) = H_{\text{rec}}(n) - H_{\text{rec}}(n-1)$$

en la que:
 $H_{\text{rec}}(n)$ = hora de recepción de la baliza horaria (DIFF) por el abonado.

30 La relación [E3] equivale a la aproximación:

$$\Delta T \frac{d}{dt}(H^B \text{emi}) \approx - G_o f(t-\tau) - C(t) \quad [E4]$$

se normaliza la duración del ciclo de bucle $\Delta T=1$ unidad de tiempo (T_e) en las notaciones. [E2] y [E4] se convierten en:

$$\frac{df}{dt}(t) + G_o f(t-\tau) = \frac{dT_B}{dt}(t) - C(t) \quad [E5]$$

35 ecuación del bucle analógico.

Según un modo de realización las ecuaciones se expresan en la forma de una serie recurrente.

Haciendo:

$$u_n = T_B(n); \quad e_n = u_n - u_{n-1}; \quad s_n = f(n-k); \quad c_n = C(n); \quad kT_e = \tau$$

40 [E3] se convierte en: $H^B \text{emi}(n+1) = H^B \text{emi}(n) - G_o s_n - c_n$ en la que c_n es un término de corrección que toma el valor $c_n = u_n - u_{n-1} = e_n$

Se busca la ecuación de recurrencia para el algo_03 en el presente documento a continuación.

$$s_{n+k} = H^B \text{emi}(n) + u_n$$

$$s_{n+k+1} = H^B \text{emi}(n+1) + u_{n+1} = s_{n+k} - G_o s_n - e_n + e_{n+1}$$

de dónde:

$$5 \quad s_n = s_{n-1} - G_o s_{n-k-1} + e_{n-k} - e_{n-k-1} \quad [E6]$$

ecuación del bucle muestreado.

La ecuación del bucle analógico (respectivamente muestreado) se puede analizar con la herramienta matemática de la transformada de Laplace (respectivamente transformada en Z).

La ecuación [E5] es una ecuación diferencial de 1^{er} orden con retardo puro, de la forma:

$$10 \quad y'(t) + a y(t-\tau) = c$$

Aunque no es lineal, se puede aproximar la ecuación [E5] mediante una ecuación diferencial de 2^o orden. Se considera un sistema controlado continuo de entrada $e(t) = \frac{dT_B}{dt}(t)$ y de salida $s(t) = f(t)$

Su función de transferencia se escribe: $F(p) = c/(p + a e^{-p\tau})$

Utilicemos el desarrollo limitado: $e^x = 1 + x + \frac{x^2}{2!} + \frac{x^3}{3!} + \dots$

15 entonces,

$$F(p) \approx c / (a + (1 - a\tau) p + a \frac{\tau^2}{2!} p^2)$$

Se encuentra la ecuación característica correspondiente a la ecuación diferencial de 2^o orden siguiente:

$$a \frac{\tau^2}{2!} y''(t) + (1 - a\tau) y'(t) + a y(t) = c$$

Recordatorio sobre la solución de una ecuación diferencial de segundo orden:

$$20 \quad y'' + 2 \lambda y' + \omega_o^2 y = c$$

de ecuación característica: $p^2 + 2 \zeta \omega p + \omega_o^2 = 0$

Existen 3 regímenes, según el valor del coeficiente de amortiguación:

- Régimen pseudo periódico ($\zeta < 1$): el sistema converge hacia su posición de equilibrio con unas oscilaciones cuya amplitud disminuye exponencialmente,
- 25 • Régimen no periódico ($\zeta > 1$),
- Régimen crítico ($\zeta = 1$): el sistema desemboca lo más rápido posible en su posición de equilibrio.

En régimen transitorio, en régimen pseudo periódico, la respuesta a un escalón viene dada por:

$$s(t) = 1 - A e^{-\lambda t} \text{sen}(\omega t + \varphi)$$

con el coeficiente de amortiguación: $\zeta = \frac{\lambda}{\omega_o}$, $A = \frac{1}{\sqrt{1-\zeta^2}}$

$$30 \quad \omega = \sqrt{\omega_o^2 - \lambda^2} \quad \text{et} \quad \varphi = \text{arctg} \left(\frac{\sqrt{1-\zeta^2}}{\zeta} \right)$$

La respuesta a un escalón está en la Figure 5.

La respuesta a un escalón del "bucle largo" se puede aproximar mediante la transformada de Laplace siguiente:

$$S(p) = c / \{ p (a + (1 - a\tau) p + a \frac{\tau^2}{2!} p^2) \}$$

El valor del error ϵ del bucle en régimen permanente se obtiene aplicando el teorema del valor final:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} s(t) = \lim_{p \rightarrow 0} p S(p)$$

en este caso, se tiene: $\epsilon = c/a = (\frac{dT_B}{dt} (t) - C(t)) / G_0$

- 5 En la figura 7, se comparan los Tiempos de Convergencia obtenidos con el Bucle largo según la técnica anterior del estado de la técnica, representados por los Algo_01 y Algo_02 y obtenidos con el Bucle largo obtenido, realizando el procedimiento según la invención, Algo_03, que utiliza el canal DIFF.

Caso ALGO_01

La asíntota corresponde al error ϵ del bucle en régimen permanente $c/a = \frac{dT_B}{dt} / G_0$.

- 10 Por ejemplo, para $\frac{dT_B}{dt} = 82 \text{ ns/s}$, para latencia = 4 s y para ganancia $G_0 = 0,25$ se tiene $\epsilon = 0,328 \text{ } \mu\text{s}$.

A partir de $G_0 \tau = 0,1$, se espera el régimen crítico, después se tiene, a continuación, el régimen aperiódico para unas ganancias inferiores.

Las curvas de la Figure 5 anterior muestra la velocidad de convergencia del bucle y el error según los parámetros τ y G_0 .

15 **Caso ALGO_02**

Para anular completamente el error, se añade un integrador en **la cadena**.

En efecto, $F(p)$ no corregido es del tipo $c/(a+bp+p^2)$ y la respuesta a un escalón vale $S(p) = F/p$ de donde $\epsilon = c/a$.

Al añadir un integrador, se añade un término $1/p$ en la ecuación diferencial, que vuelve a pasar al numerador de $F(p)$ y que anula el valor asíntótico ϵ .

20 **Caso ALGO_03**

La asíntota corresponde al error ϵ del bucle permanente $c/a = (1/G_0) (\frac{dT_B}{dt} - C(t))$

En la que $C(t) = \Delta H_{rec}(t)$ que sigue la variación de T_B .

Esto permite anular el error en régimen permanente.

- 25 Se gana en tiempo de convergencia (véanse los resultados comparativos de la Figura 7) y, además, la ganancia del algoritmo es independiente de los parámetros de perturbación del canal, tales como la latencia o la velocidad radial del satélite (dada por la posición geográfica relativa del abonado con relación al satélite y por la posición del satélite en su curso orbital a lo largo del ocho cuya forma depende de la inclinación del plano orbital con relación al ecuador pero también de la excentricidad de la órbita).

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de sincronización en un sistema de telecomunicaciones por satélite transparente que comprende una estación maestra, NC, y una o varias estaciones de abonado, NM, utilizando el sistema para intercambiar las informaciones una forma de onda del tipo de salto de frecuencia ortogonal, intercambiando un abonado, NM, y el maestro, NC, unos mensajes de petición de hora y de respuesta de la hora, estando controlada la hora de emisión de cada abonado por un bucle largo controlado por el maestro de manera que todas las señales de la red lleguen sensiblemente sincronizadas en el repetidor del satélite, determinando la estación maestra el error de bucle $\Delta B(n)$ de un abonado determinando el desfase entre el instante de recepción y la petición de hora de la estación de abonado y el instante de recepción de su propia baliza horaria, en el que:

- una estación de abonado tiene en cuenta el valor del desfase, error de bucle, recibido en la respuesta de la hora y la velocidad de variación del trayecto satélite-portador deducido de la recepción de la baliza horaria, para proceder a un reajuste de su hora de emisión de la nueva petición de hora, y
- la estación maestra o una estación de abonado compara el valor del error de bucle medido con un valor de umbral y cuando el valor absoluto del error de bucle, para una estación de abonado dada, es inferior o igual al valor de umbral, la estación maestra autoriza a dicha estación de abonado para emitir su tráfico.

2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado porque** se determina el instante de emisión que permite anular el error de bucle en régimen permanente gracias a la realización, en cada ciclo del bucle, del algoritmo siguiente:

$$H^B_{emi}(n+1) = H^B_{emi}(n) - G_o B(n-k) - C(n) \quad [E3]$$

en la que:
 G_o es la ganancia de bucle
 $C(n)$ un término de corrección que es igual a:

$$C(n) = H_{rec}(n) - H_{rec}(n-1)$$

H^B_{emi} : hora de emisión de la estación de abonado
 $B(n)$ error de bucle para la estación de abonado B
 "k": latencia del bucle expresada en número de ciclos del bucle
 H_{rec} : hora de recepción por el abonado de la baliza horaria emitida por el maestro

3. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado porque** se ejecuta la etapa de comparación del error de bucle y el valor de umbral en varios ciclos del bucle.

4. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado porque** se elige el valor de umbral de modo que sea inferior a la duración del hueco de escalón de la forma de onda.

5. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado porque** la forma de onda es una forma de onda OFHMA.

6. Sistema que permite sincronizar una estación maestra, NC, y una o varias estaciones de abonado, NM, en una red de comunicaciones inalámbricas, comprendiendo al menos un procesador dispuesto en cada una de las estaciones de abonado adaptado para calcular el reajuste de la hora de emisión de cada abonado teniendo en cuenta la velocidad de variación del trayecto satélite-abonado, un procesador del lado de la estación maestra adaptado para medir el error de bucle y un procesador adaptado para comparar el valor del error con un valor de umbral y cuando el valor de error de bucle, para una estación de abonado, es inferior o igual al valor de umbral, para dar autorización a dicha estación de abonado para emitir su tráfico.

7. Sistema según la reivindicación 6, **caracterizado porque** el procesador adaptado para comparar el valor del error de bucle con el valor de umbral está dispuesto en la estación maestra.

8. Sistema según la reivindicación 6, **caracterizado porque** el procesador adaptado para comparar el valor del error de bucle con el valor de umbral está dispuesto en una estación de abonado.

45

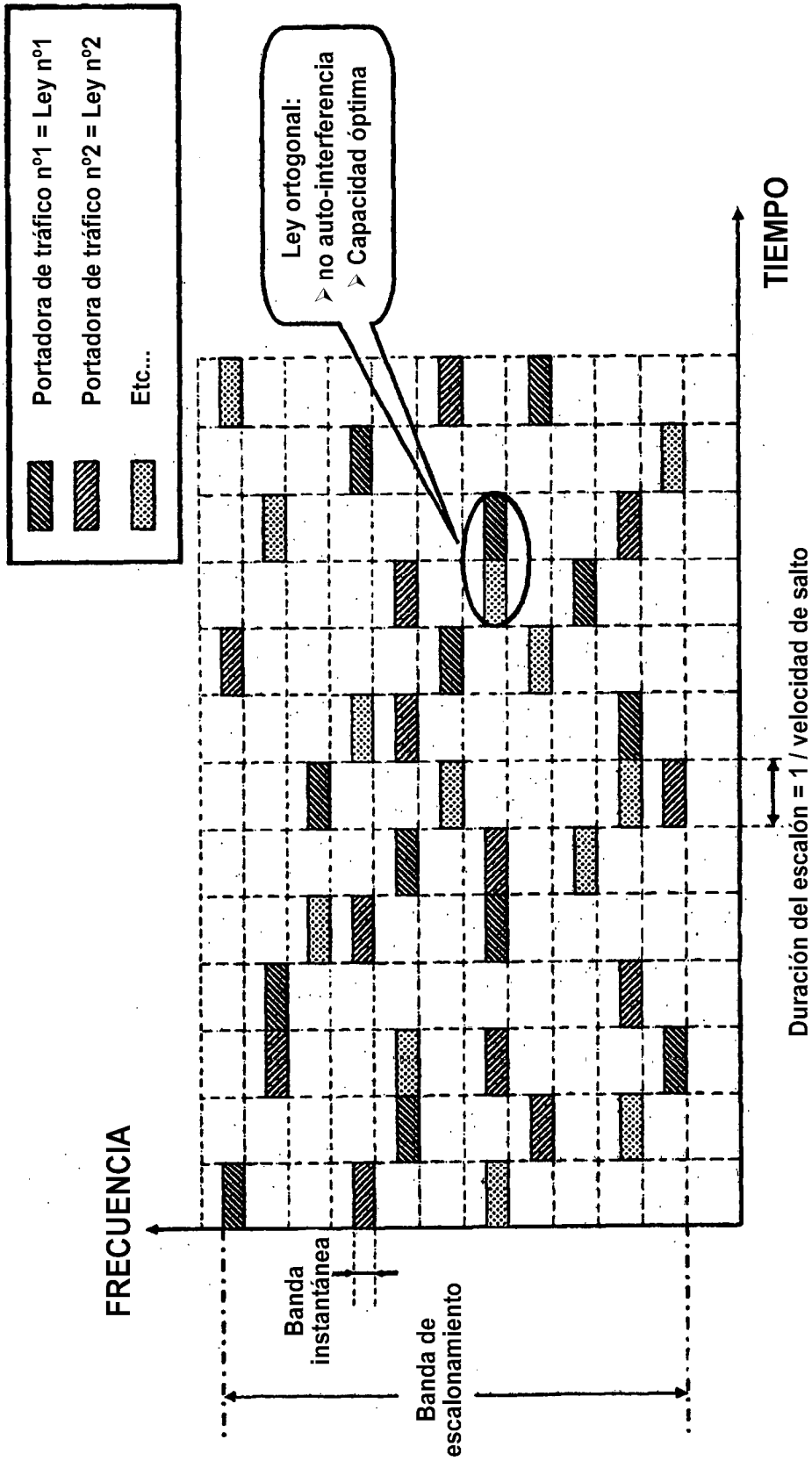


FIG.1

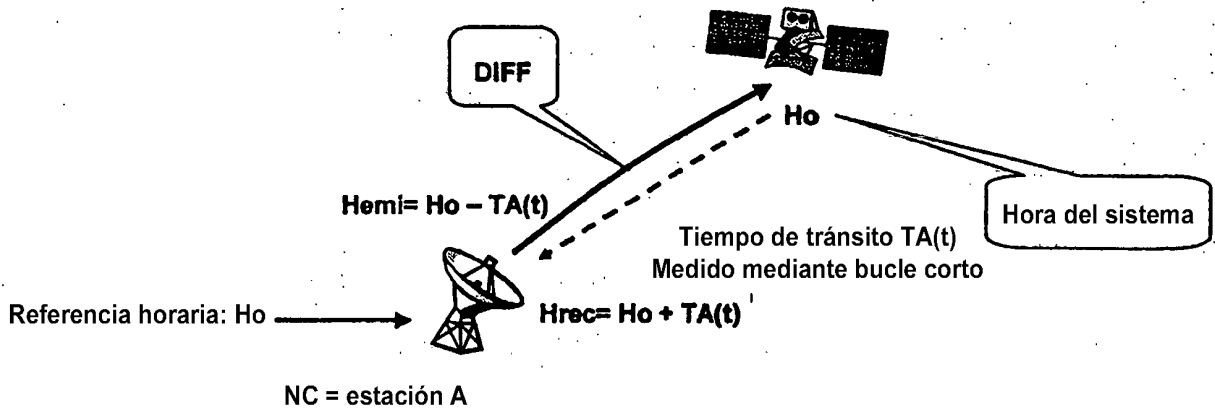


FIG.2

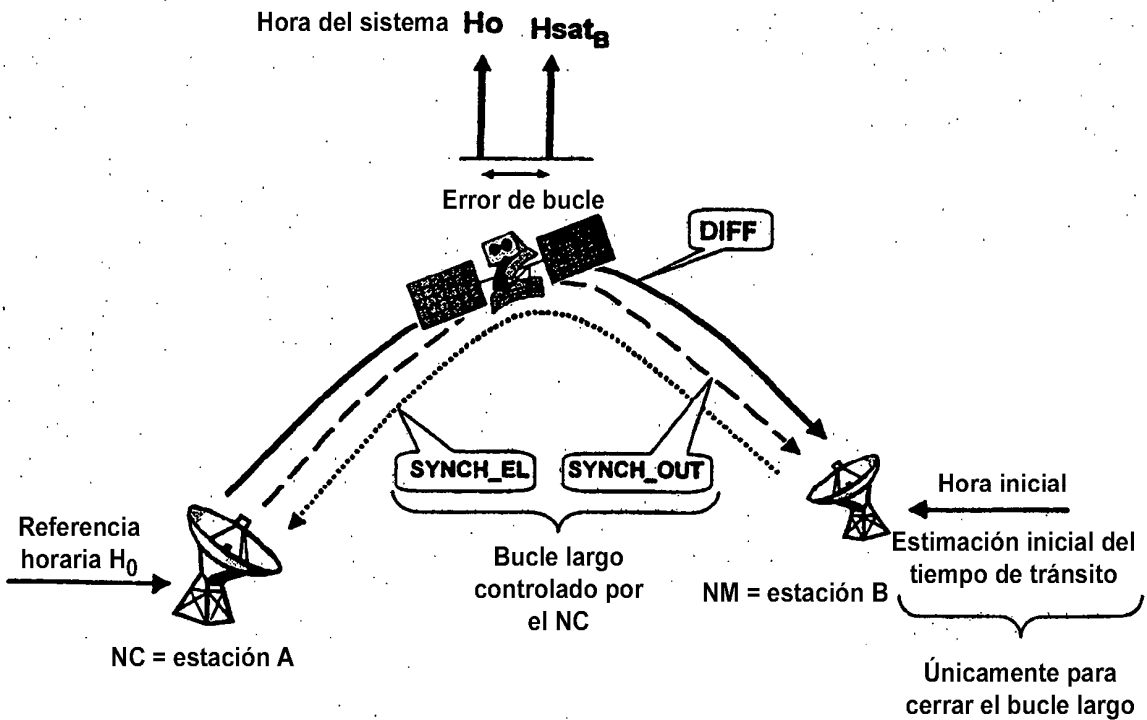


FIG.3

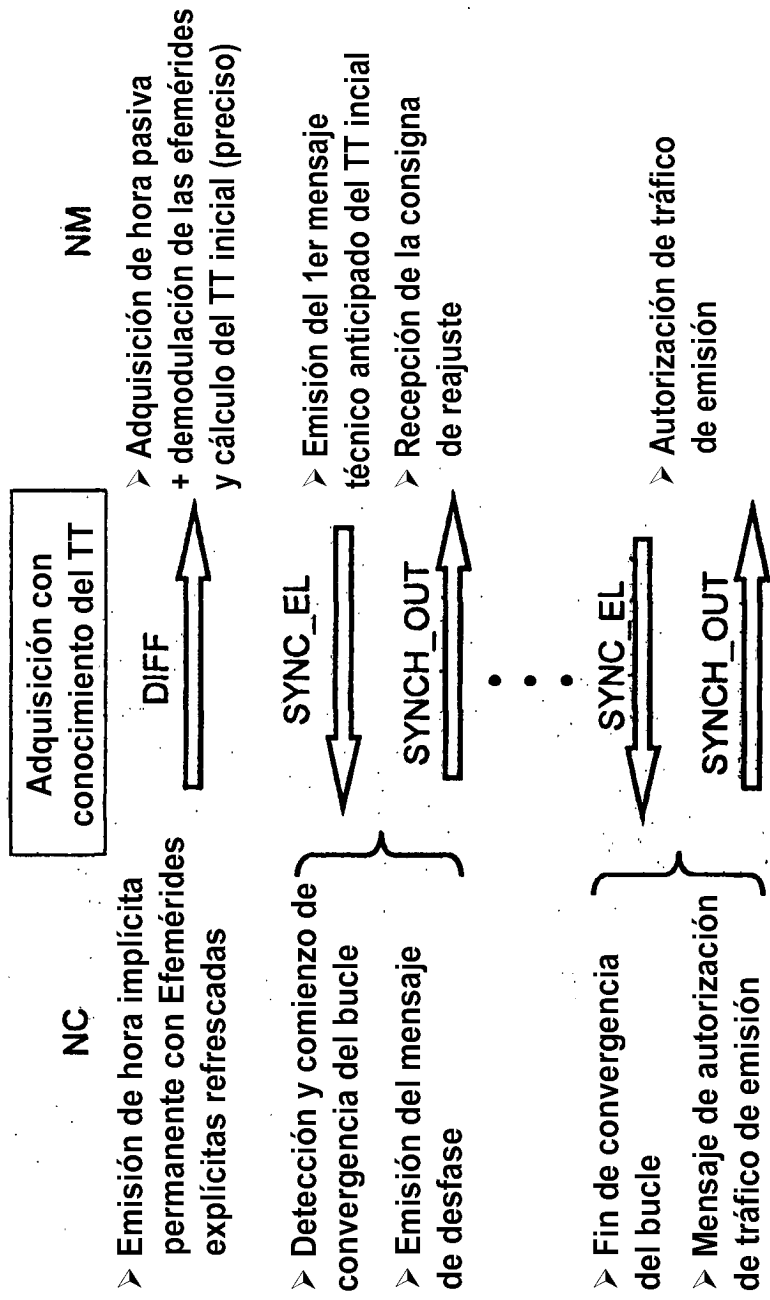


FIG.4

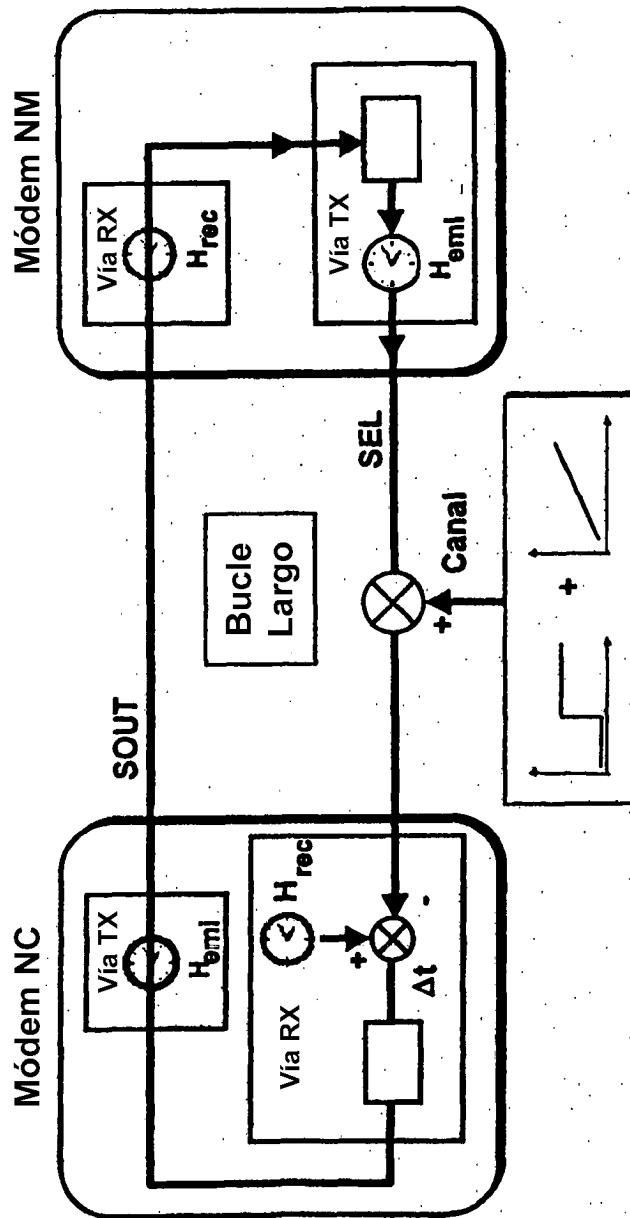


FIG.5

**Error y Tiempo de CV del Bucle Largo
con Retardo puro y Filtrado amnésico de la orden
Sistema controlado de Seg. orden - Respuesta a un escalón de 82 ns/s**

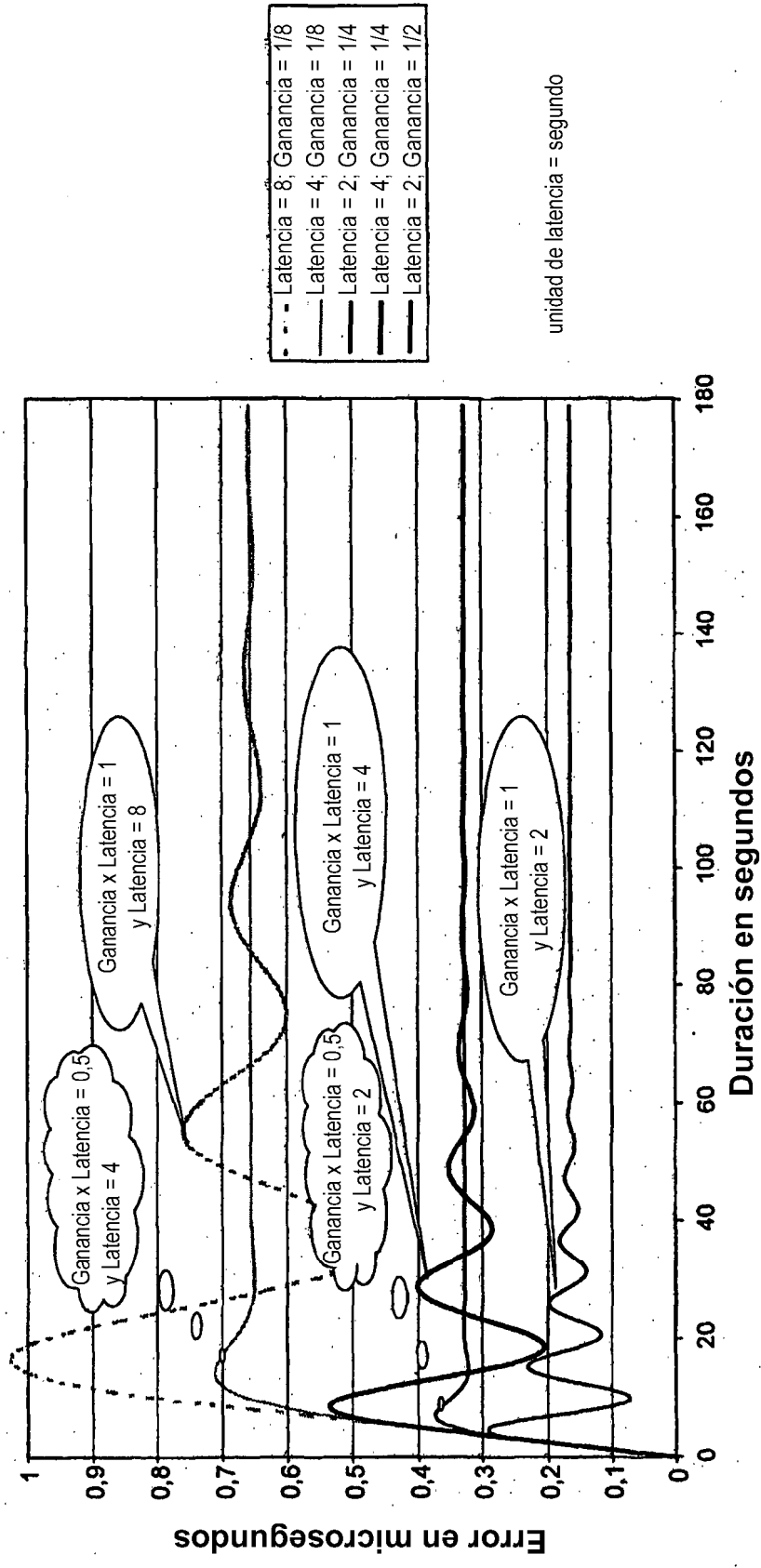
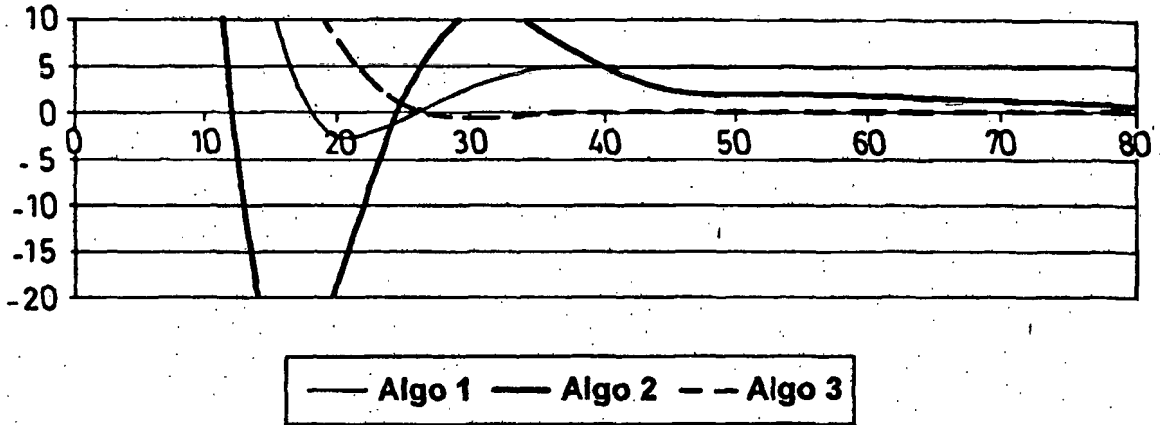


FIG.6

RESPUESTA del BUCLE largo a una variación de TT según Algo
(error en microsegundos y abcisas en Ciclos del bucle)



RESPUESTA del BUCLE largo a una variación de TT según Algo
(error en microsegundos y abcisas en Ciclos del bucle)

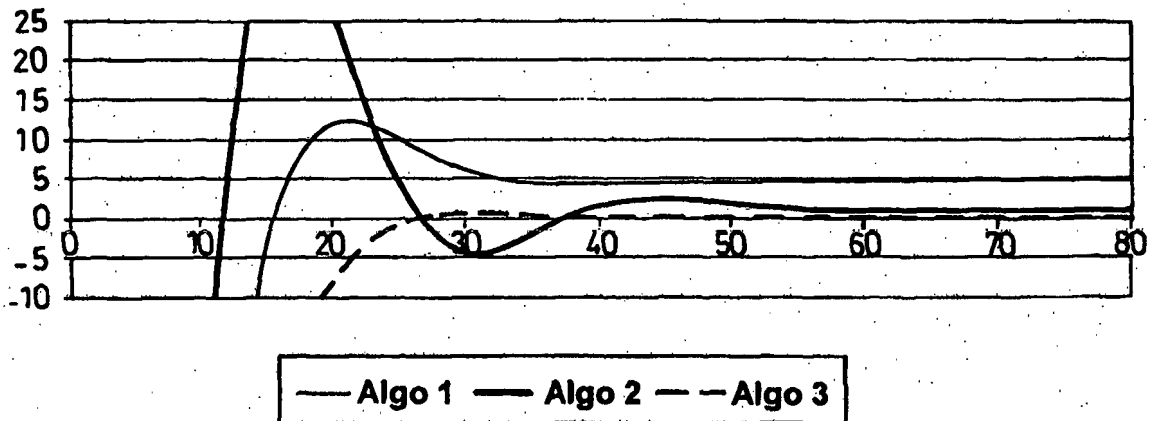


FIG.7

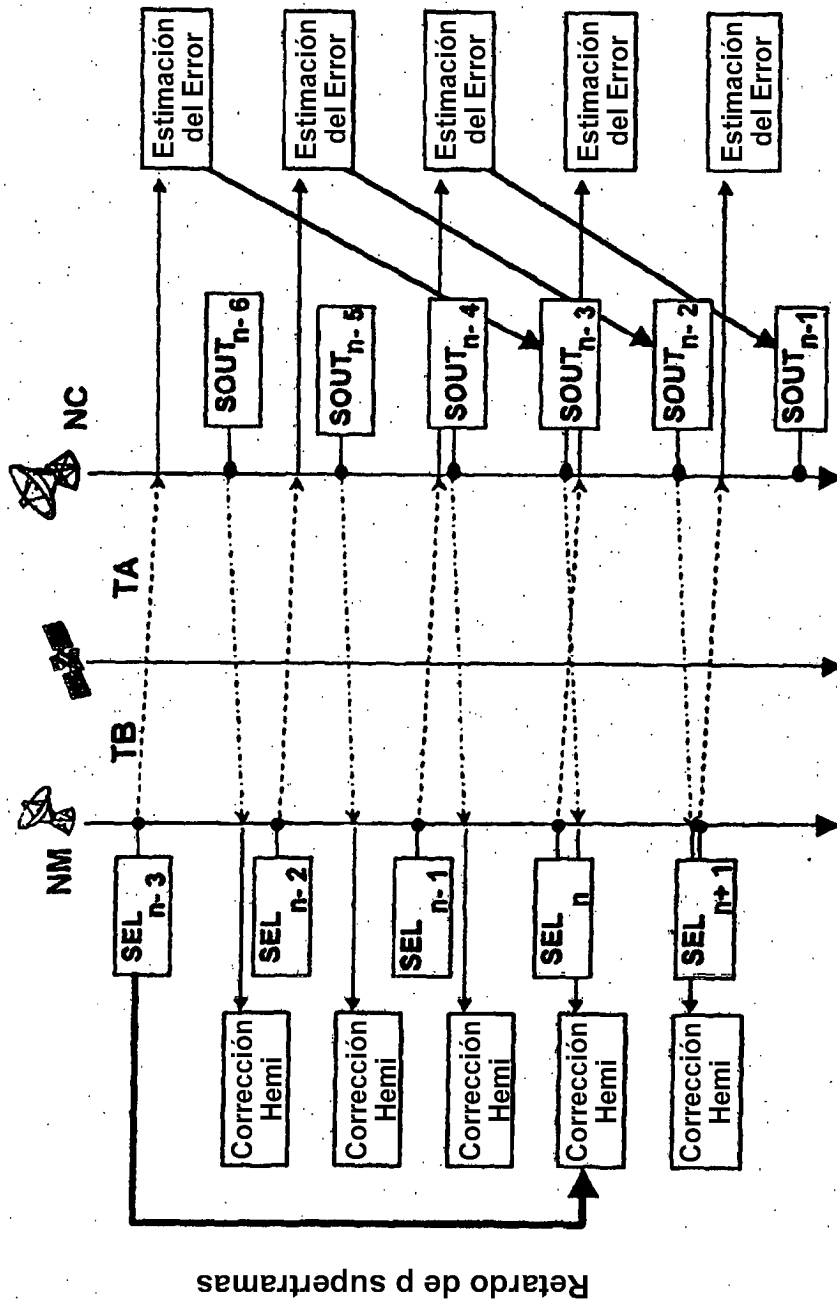


FIG.8