

ALTERNATIVAS PARA UNA "CANALIZACION SUBOPTIMA" DEL ESPECTRO RADIOELECTRICO PERMITIDO AL SATELITE DE TELECOMUNICACIONES EUROPEO E.C.S.

R. Agustí Comes, J.A. Delgado Penín

Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación de Barcelona

INTRODUCCION

Los sistemas de Telecomunicación que utilizan satélites artificiales de la Tierra, están siendo diseñados y construidos para el empleo de señales digitales, lo que lleva consigo entre otras consecuencias la posibilidad de trabajar en T.D.M.A. y, aprovechar con el mayor rendimiento posible los repetidores dispuestos a bordo del satélite. Hoy en día, podemos conseguir que el amplificador situado a bordo- Tubo de Ondas Progresivas- funcione próximo a su saturación, ahora bien, esta posibilidad crea problemas a las señales digitales que se pretendan transmitir entre estaciones terrenas situadas en puntos diferentes, ya que dicho amplificador es un elemento de características de transferencia fuertemente alineales y, por consiguiente, cualquier señal eléctrica que pasa a su través sufre una dispersión espectral considerable, lo que trae consigo interferencias con otras señales situadas en bandas, de frecuencia, adyacentes y procedentes de estaciones terrenas distintas.

Se hace necesario, a la vista de lo anterior, estudiar esquemas de canalización para las diferentes señales teniendo en cuenta que el espectro radioeléctrico está fijado por la U.I.T. (Unión Internacional de Telecomunicaciones) y no disponemos del mismo, de forma indiscriminada y arbitraria.

El estudio de una situación como esta, exige un modelo matemático con un número elevado de parámetros en juego. Desde el punto de vista analítico, el problema es difícil de resolver y, hasta

ahora problemas semejantes no han sido atacados por este camino; mientras que el empleo de una simulación mediante ordenador para problemas análogos ha sido ya utilizada. No obstante, la simulación presenta la desventaja económica de consumir mucho tiempo de máquina y, por otro lado, es necesario prestar atención a cómo se eligen los diferentes parámetros a causa de la facilidad con que se pueden obtener resultados fuera de lugar.

En la figura 1 dibujamos un diagrama para un modelo que tiene en cuenta las estaciones terrenas y el satélite, considerando aquellos elementos que condicionan la canalización del espectro radioeléctrico.

El análisis que hemos llevado a cabo, considera un modelo de sistema de transmisión formado por: uno principal, al que interfieren otros dos en situación próxima de canalización. La figura 2 muestra el diagrama de bloques para realizar un Test mediante el cual elegir el esquema de señalización digital pasa banda idóneo para las condiciones de transmisión que se exigen en el sistema E.C.S.

En el párrafo que sigue, ponemos de manifiesto las características del sistema E.C.S.

El párrafo tres comenta las señalizaciones digitales pasa banda utilizadas para buscar alternativas satisfactorias para un buen empleo de la canalización del satélite.

En el cuarto párrafo comentamos el estudio de las alternativas mediante simulación con ordenador, poniendo de manifiesto los diferentes Test que se realizan y que no son exhaustivos a causa del tiempo de máquina.

Concluimos comentando, que el esquema de señalización O.Q.P.S.K. es aquel que mejores prestaciones presenta cuando se desea un rechazo contundente de la interferencia intercanal procedente de otros

sistemas interferentes trabajando con el mismo esquema de señal.

CARACTERISTICAS DEL SISTEMA E.C.S.

El sistema que empleará el satélite de Telecomunicaciones Europeo está diseñado para enlazar diferentes países del área que abarca el C.E.P.T. (Conferencia Europea de Correos y Telecomunicación) y la E.B.U. (Unión Europea de Radiodifusión); existiendo excepciones por lo que a transmisiones televisivas se refiere, ya que el cubrimiento puede alcanzar determinados países del Magreb e Israel, respectivamente.

Las características de cobertura radioeléctrica por parte del satélite, abarcan tres zonas para telefonía: "haz Atlántico"- en el que está incorporado España-; "haz Este" y "haz Oeste". En cuanto a T.V. el cubrimiento es Europeo y previsto para las zonas comentadas anteriormente.

Los parámetros técnicos, algunos descritos en las referencias [1] y [2], son los siguientes:

Generales

Tráfico de Telecomunicaciones permitido: 17.000 comunic. telefónicas

2 transmisiones de T.V.

Número de estaciones terrenas : 30

Frecuencias de trabajo : Estación terrena- satélite 14 Ghz.

Satélite- Estación terrena 11 Ghz.

Ancho de banda : 500 Mhz.

Modulaciones : Para telefonía: 120 Megabit/sg. mediante O.Q.P.S.K.
Q.P.S.K.

Sistema de acceso : Para T.V..... F.M. analógica

T.D.M.A. (Múltiple Acceso por División de Tiempo)

Satélite

Canalización : 12 canales idénticos que se corresponden con 12 posibles relevadores radioeléctricos separados por una " f_d "

(frecuencia central de centro de banda)

Antenas : receptora de haz ancho
transmisoras de haz estrecho para telefonía tres
para t.v. una de haz ancho

Potencia transmisor: 20 vatios a la salida del T.C.P. en cada canal

Factor de ruido del receptor : 5 dB.

Estaciones terrenas

Diametro de las antenas : 15 a 18 metros

Potencia del transmisor : 2 kilovatios por canal

Receptor : amplificador paramétrico sin refrigeración

G/T : 36 a 40 dB/ Kº

Objetivo de funcionamiento telefónico

Menor que 10^{-4} para el 99,7 % del peor mes

SEÑALES PASA BANDA UTILIZADAS EN LA BÚSQUEDA DE ALTERNATIVAS

Las alternativas de canalización con las condiciones de contorno impuestas por E.S.A. (European Space Agency) se han reducido a la búsqueda de señales radioeléctricas que presenten un buen compromiso entre su configuración espectral y el criterio de fidelidad aplicado a las señales recibidas.

con el conocimiento de que disponemos hasta la fecha, la elección de una codificación y de un esquema de señalización Q.P.S.K. (Quadratura Phase Shift Keying) ya había sido hecho al comienzo del programa O.T.S. (Orbital Testing System), del que el E.C.S no es mas que la continuación, como resultado de una comparación entre los sistemas FDM/FM/PDMA y PCM/TDM/DSI/QPSK/TDMA [2]. Esta primera elección parció idóneas trabajando en condiciones lineales, es decir, sin aprovechamiento máximo de los amplificadores de transmisión de las

estaciones terrenas y de los repetidores de los satélites. Con la necesidad de aprovechar al máximo el rendimiento de estos subsistemas, se planteó la necesidad de trabajar en condiciones alineales- principalmente en los repetidores del satélite -, para lo que el esquema QPSK no es el mas idóneo. Surgieron así diversas señalizaciones cuyo origen está en el QPSK y las cuales pueden ser buenas soluciones al problema de la "canalización subóptima" [3] .

El modelo para la señalización QPSK puede formularse como sigue:

$$S(t) = \sum_{h=-\infty}^{h=+\infty} a_h \cdot \text{rect}_T(t-hT) \cdot \cos(\omega_0 t) - \sum_{h=-\infty}^{h=+\infty} b_h \cdot \text{rect}_T(t-hT) \cdot \sin(\omega_0 t) \quad (1)$$

con: a_h, b_h ($h = \dots, -2, -1, 0, +1, +2, \dots$)

que pueden tomar valores $+1, -1$

$$\text{rect}_T(t) \begin{cases} = 1 & 0 < t < T \\ = 0 & \text{para el resto de los valores} \end{cases}$$

donde la modulación de fase a cuatro estados (QPSK) se contempla como dos portadoras en cuadratura, que al pasar a través de un filtro originan en la salida de éste, una distorsión sobre la señal de entrada. Esto se traduce en la aparición de una modulación de amplitud residual que repercute sobre todo el esquema en cuanto a su comportamiento se refiere; haciendo poco aconsejable su uso por la aparición de lóbulos laterales con gran contenido de potencia.

Parece lógico recurrir- como se está haciendo- a esquemas de señalización que conservan las ventajas del QPSK pero que presentan una modulación de amplitud residual pequeña. Fue así como decidimos estudiar los esquemas conocidos como "Off-set Q.P.S.K." y "M.S.K."

Por lo que se refiere al "Off-set Q.P.S.K.", podemos considerar que deriva del Q.P.S.K. verificando un retraso de $T/2$ sg. en una de las señales en cuadratura, cuyo modelo analítico es:

$$O(t) = \sum_{h=-\infty}^{h=+\infty} a_h \cdot \text{rect}_T(t-hT) \cdot \cos(\omega_0 t) - \sum_{h=-\infty}^{h=+\infty} b_h \cdot \text{rect}_T(t-hT - T/2) \cdot \sin(\omega_0 t) \quad (2)$$

con las mismas interpretaciones para los símbolos vistos anteriormente en la expresión (1).

Por lo que se refiere a la señalización M.S.K. (Minimum Shift Keying), es la que se comporta mejor frente a las alineaciones; pero presenta la desventaja de una dispersión espectral mayor que los esquemas anteriores, lo que a simple vista parece no hacerlo muy idóneo para una canalización subóptima. Al igual que la anterior, podemos modelar dicha señal así:

$$M(t) = \sum_{h=-\infty}^{h=+\infty} a_h \cdot \text{rect}_T(t-hT) \cdot \sin\left(\frac{\pi}{T}t\right) \cdot \cos(\omega_0 t) - \sum_{h=-\infty}^{h=+\infty} b_h \cdot \text{rect}_T(t-hT - T/2) \cdot \cos\left(\frac{\pi}{T}t\right) \cdot \sin(\omega_0 t)$$

Podemos observar que este último esquema asemeja al anterior salvo en unos factores $\left(\sin\left(\frac{\pi}{T}t\right)\right)$ y $\left(\cos\left(\frac{\pi}{T}t\right)\right)$. La figura 3 reproduce tres posibles esquemas de generación de estas señales.

La mera formalización de las señales $S(t)$, $O(t)$ y $M(t)$ no es suficiente para deducir de ellas su densidad espectral de potencia y, en definitiva obtener conclusiones de tal magnitud en situaciones como la que estamos comentando.

Es necesario modelar la situación a estudiar y, probar cual de las tres opciones, junto con las características de los filtros importantes en el sistema y el elemento alineal producen un compromiso que origine una calidad de comportamiento telefónico deseable. Los problemas planteados por la transmisión de la señal televisiva no son considerados. El párrafo siguiente contempla el modelo que acabamos de enunciar.

ESTUDIO DE ALTERNATIVAS MEDIANTE SIMULACION CON ORDENADOR

La simulación digital exige el establecimiento de un modelo con el que realizar los diferentes Test.

La figura 2 pone de manifiesto el Diagrama de bloques correspondiente al modelo considerado. Contemplamos un sistema de transmisión principal interferido por dos adyacentes; creemos suficientes estas dos interferencias por que conocemos "a priori" cómo se comportan los esquemas de señalización en ambiente lineal y los resultados con dos interferentes no difieren mucho del caso en el que hubiésemos considerado un número mayor.

Los Test que hemos realizado se refieren a:

- 1) Tasa de error del sistema en las condiciones comentadas
- 2) Optimización del ancho de banda de los filtros en función de la anterior

El modelo está compuesto de las siguientes partes:

- Una Fuente
- El modulador bajo prueba; la elección de la señal pasa banda lo modifica
- Un filtro transmisor
- Una alinealidad pasa banda (T.O.P.)
- Un filtro receptor
- Un receptor: muestreador y comparador

La fuente produce un mensaje binario compuesto por un preámbulo de 20 bits y, una secuencia "PN" de 255 bits. Todas las pruebas del sistema interferido se inician al final del preámbulo cuando los efectos de los transitorios han desaparecido.

el modulador produce una señal: $S(t), O(t), M(t)$ según el esquema de señalización que probemos

.El filtro transmisor es del tipo Butterworth de 4 polos con un ancho de banda de ruido que es el parámetro a optimizar

.El filtro receptor toma diferentes aspectos dentro de la familia de los Butterworth: 3,4 y 6 polos respectivamente

.La alinealidad se modela según unas características típicas para un satélite de Telecomunicación y cuyo modelo considera las características de conversión AM/PM

.El receptor lo constituye un muestreador y un elemento función "signum".

Los dos Test 1) y 2) se verifican al unísono de la siguiente manera: la tasa de error para las dos señalizaciones O.Q.P.S.K. y M.S.K., suponiendo receptores coherentes- conocimiento exacto del sincronismo de portadora y de bit, respectivamente - perfectos, viene dada por la expresión [3]:

$$P(e) = P_{1b}(e) + P_{2b}(e) - P_{1b}(e) \cdot P_{2b}(e)$$

donde $P_{1b}(e)$ es la probabilidad de error por bit para la detección de la rama en fase y, $P_{2b}(e)$ es aquella correspondiente a la rama en cuadratura. Figura 4. El valor de $P_{1b}(e)$ y $P_{2b}(e)$ es del tipo:

$$P_b(e) = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{255} \cdot \sum_{h=1}^{h=255} \operatorname{erfc} \frac{|c_h|}{\sqrt{\frac{B_{eq} \cdot T}{\eta} + 2\sigma_i^2}}$$

con:

$|c_h|$: valor numérico de la muestra tomada por el muestreador
 T : duración del bit en segundos

$\eta = \frac{P}{3N_0}$: razón señal-ruido (Energía bit/ densidad espectral de potencia de ruido en frecuencias positivas)

σ_i^2 : potencia interferente debida a los canales adyacentes y, calculadasuponiendo que se pueden considerar las señales

adyacentes como un proceso aleatorio gaussiano de varianza σ_i^2

En la expresión de $P_b(e)$ aparece " B_{eq} ", que es el ancho de banda de ruido equivalente, el cual está ligado al filtro que se emplee. Como vemos, el criterio de fidelidad $P_b(e)$ y el ancho de banda " B_{eq} " están ligados a través del modelo. Por otro lado, la ocupación espectral, cuando definimos adecuadamente, queda ligada a la interferencia de los canales adyacentes caracterizados en su conjunto por la potencia que ellos producen: σ_i^2

La elección de una alternativa u otra, se basa por tanto en comparar los valores del producto: " $B_{eq} \times T$ " en función de la razón señal-ruido " η " para un objetivo de calidad telefónica $P(e) = 10^{-4}$ como fija la característica del sistema F.C.S.

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Como comentamos en la figura 2, los filtros TR y RC condicionan las canalizaciones idóneas. Por esto mismo, suponemos un filtro TR con 4 polos y el filtro RC con 3, 4 y 6 polos respectivamente.

Hemos comprobado que con valores de razón señal-ruido comprendidos entre 14 y 11 dB. pueden obtenerse conclusiones sobre cual esquema de señalización es el idóneo.

Fijando valores de ancho de banda equivalente de ruido normalizados a la velocidad de transmisión, tanto para el filtro TR como para el RC, obtenemos las siguientes conclusiones:

Con un " $B_{eq} \times T$ " del filtro TR entre 1 y 2,5 con pasos de 0,1 resultan los valores de " η " indicados en la figura 5 para las dos señalizaciones con una $P(e) = 10^{-4}$

En ausencia de interferencia intercanal, el mejor sistema sería el que emplea señalización "M.S.K."; con interferencia intercanal el mejor es el "Off-set QPSK."

La distancia entre frecuencias centrales, resulta en estas condiciones, que debe valer:

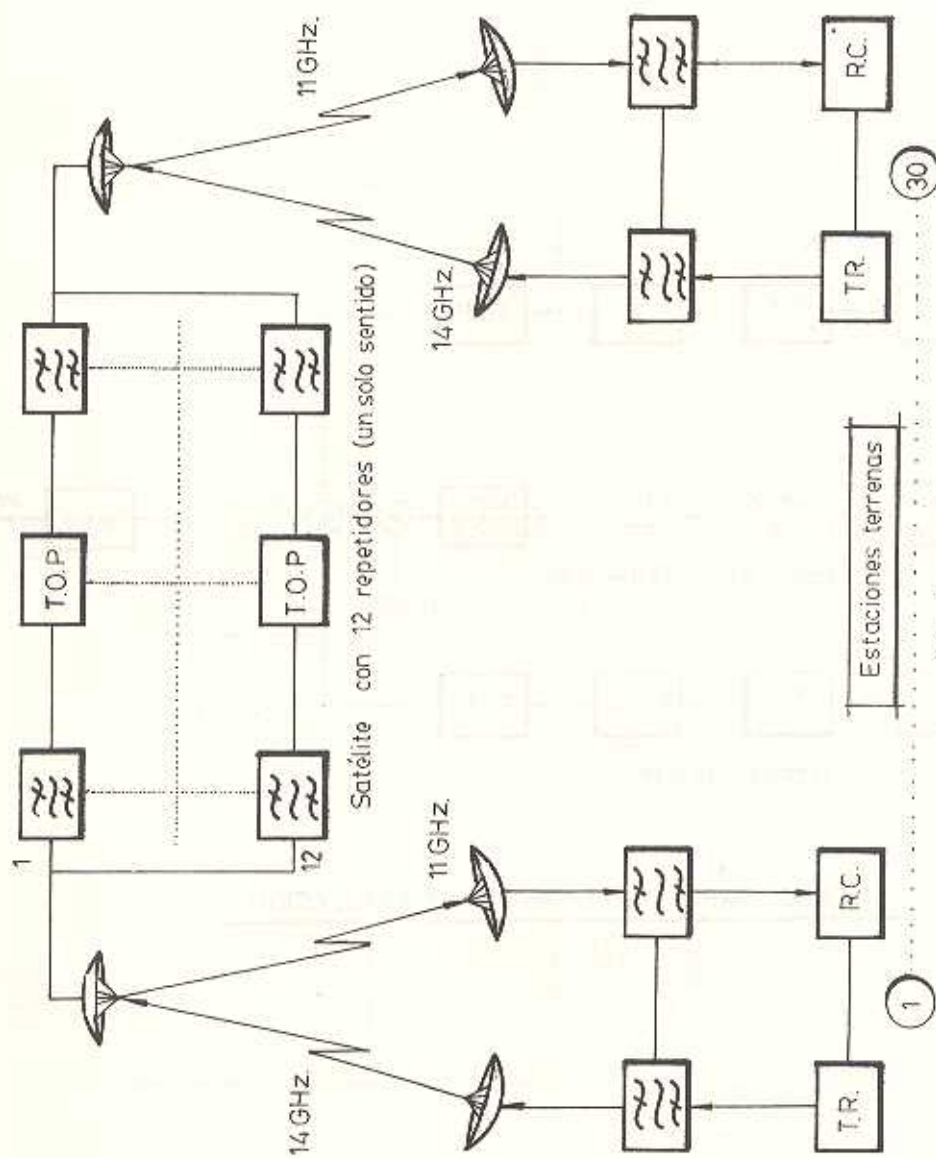
$$f_d = d/T$$

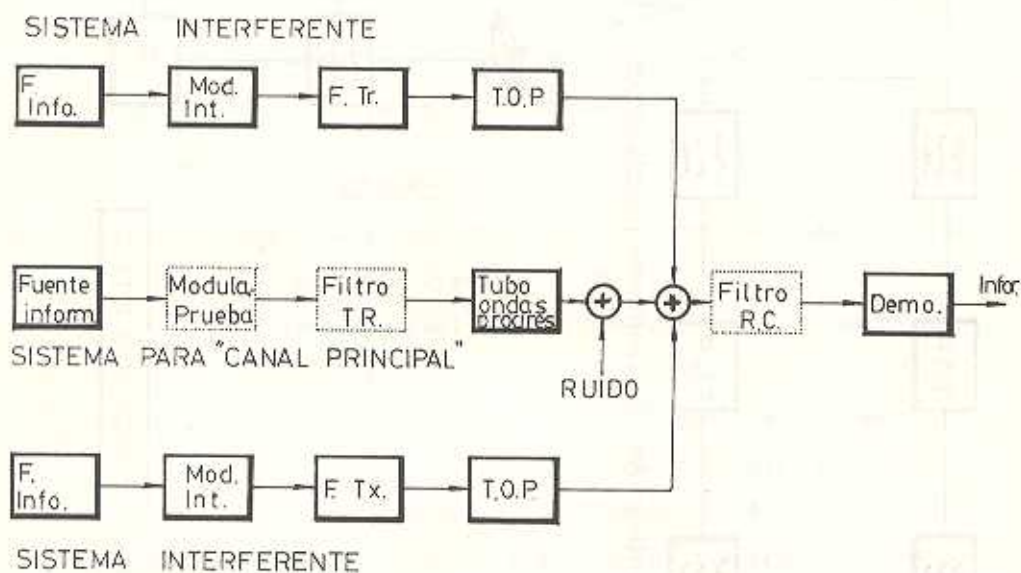
donde: $d > 1,33$ nos da la mejor canalización con "M.S.K."

$d < 1,33$ nos da la mejor canalización con "O.Q.P.S.K."

REFERENCIAS

- [1] P.Bartholomé and J.C.Raison : "The European Regional Communications Satellite System"- 28 th Congress International Astronautical Federation-Prague-25 September-1st October 1977
- [2] P.Bartholomé: "The European Communications Satellite System. A review of current and planned activities"-AIAA Conference Paper 76-243-Montreal-April 1976
- [3] R.Agustí Comes: "Contribución al análisis del comportamiento de las señalizaciones "Off-set Q.P.S.K. y M.S.K. a través de satélites de Telecomunicacion modelados como canales no lineales"-Tesis Doctoral- Junio 1978 Universidad Politécnica de Barcelona.





MODELO PARA TEST MEDIANTE SIMULACION

Fig. 2.

DIAGRAMAS DE BLOQUES DE LOS MODULADORES DIGITALES

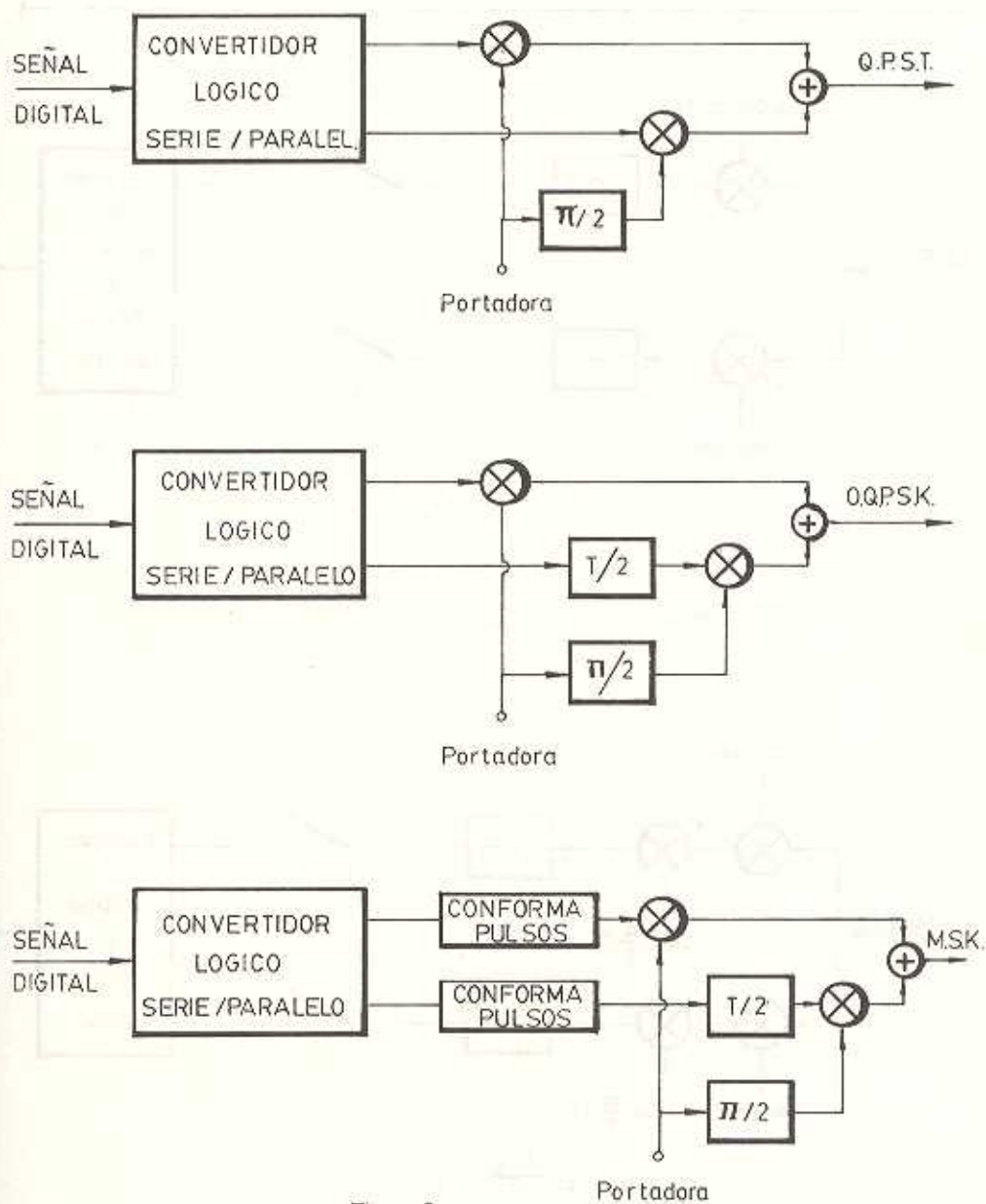


Fig - 3

DIAGRAMAS DE BLOQUES DE LOS DEMODULADORES COHERENTES

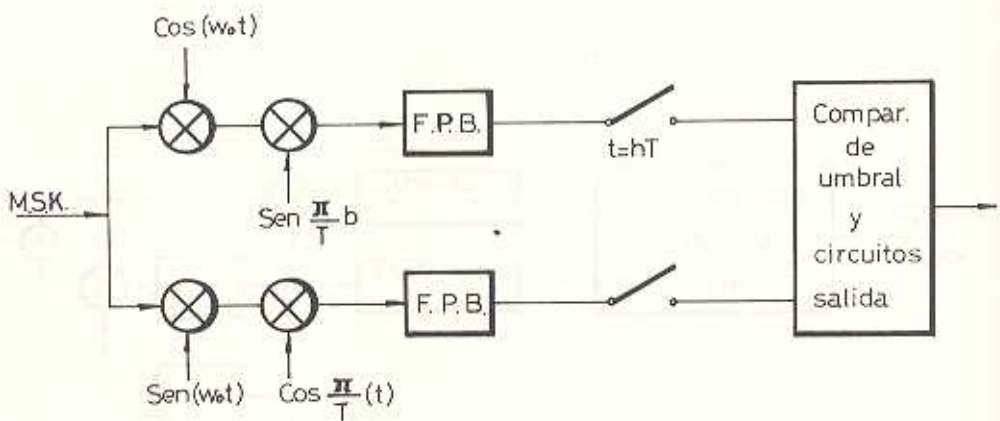
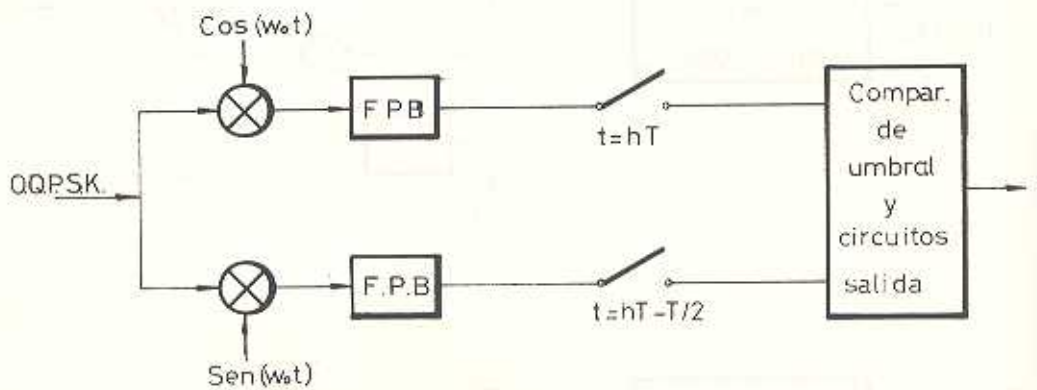


Fig-4

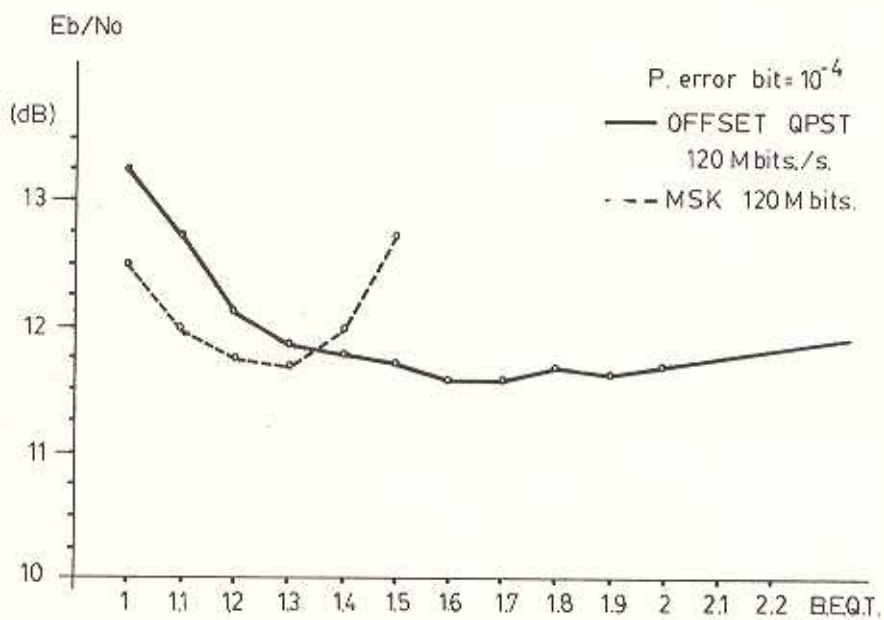


Fig-5