

RECOMENDACIÓN UIT-R M.589-3* **

**Características técnicas de los métodos de transmisión de datos
y de protección contra la interferencia para los servicios
de radionavegación en las bandas de frecuencias
comprendidas entre 70 y 130 kHz**

(1982-1986-1992-2001)

Cometido

En la presente Recomendación se incluyen las características técnicas, los métodos de transmisión de datos y la protección frente a la interferencia para los servicios de radionavegación en las bandas de frecuencias entre 70 y 130 kHz. Se fomenta de manera específica el intercambio de información y la coordinación entre las administraciones de las características técnicas para los sistemas de radionavegación en la banda de 90-110 kHz. También se ofrecen criterios de protección y características técnicas para la transmisión de datos con Loran-C/Chayka.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que en las tres Regiones de la UIT existen, o se hallan en fase de introducción, sistemas de radionavegación;
- b) que diversos servicios, incluidos los sistemas de radionavegación, funcionan en bandas de frecuencias comprendidas entre 70 y 130 kHz;
- c) que las características de funcionamiento de estos sistemas de radionavegación son bien conocidas y están suficientemente documentadas por los correspondientes proveedores de servicio;
- d) que dado que la radionavegación es un servicio de seguridad, deben adoptarse todas las medidas prácticas, conformes con el Reglamento de Radiocomunicaciones (RR), para evitar que se cause interferencia perjudicial a cualquier sistema de radionavegación;
- e) que los usuarios de sistemas de radionavegación por impulsos en fase en la banda 90-110 kHz no gozan de protección alguna fuera de esa banda, pese a lo cual podrían aprovechar sus señales fuera de la anchura de banda ocupada;
- f) que, en la banda 90-110 kHz, pueden funcionar, en estrecha proximidad en la misma frecuencia asignada y con la misma anchura de banda ocupada, diferentes sistemas de radionavegación por impulsos en fase;

* Esta Recomendación debe señalarse a la atención de la Organización Marítima Internacional (OMI), la Organización de la Aviación Civil Internacional (OACI), la Asociación Internacional de Señalización Marítima (IALA) y a la Comisión de Estudio 7 de Radiocomunicaciones.

** La Comisión de Estudio 5 de Radiocomunicaciones efectuó modificaciones de redacción en esta Recomendación en 2008, de conformidad con la Resolución UIT-R 44.

- g) que los Sistemas Loran-C y Chayka se caracterizan por ondas de superficie que siguen los contornos de la Tierra con alcances superiores a los de los sistemas de frecuencias medias con potencia comparable, y por ondas ionosféricas que pueden recibirse a distancias considerablemente superiores;
- h) que los Sistemas Loran-C o Chayka ofrecen un sistema de radionavegación independiente que complementa al Sistema mundial de navegación por satélite (GNSS);
- j) que existen o se están introduciendo los componentes del GNSS y que la precisión puede no ser suficiente para algunas navegaciones especializadas o para el sensor de posición en los sistemas de mapa electrónico;
- k) que las aplicaciones de seguridad exigen información íntegra para las referencias de posición obtenidas a partir del GNSS;
- l) que la precisión y la integridad del GNSS pueden mejorarse considerablemente mediante la transmisión de correcciones diferenciales o de otros datos;
- m) que la modulación adecuada de las transmisiones Loran-C y Chayka permiten a estos Sistemas transmitir correcciones GNSS diferenciales, mensajes de integridad y otros datos sin interferir con la función de navegación Loran-C o Chayka;
- n) que la transmisión de correcciones GNSS diferenciales, mensajes de integridad y otros datos puede aprovechar las características de transmisión de largo alcance de los Sistemas Loran-C o Chayka;
- o) que la modulación adecuada de las transmisiones Loran-C y Chayka aumenta la eficacia de utilización de la anchura de banda disponible;
- p) que algunas administraciones dan actualmente cobertura Loran-C o Chayka de las aguas costeras y de las zonas en tierra lo que permite establecer de forma eficaz y económica una norma mundial para la transmisión de correcciones GNSS diferenciales, mensajes de integridad y otros datos;
- q) que pueden introducirse otros métodos de transmisión de datos utilizando señales Loran-C o Chayka,

recomienda

- 1** que se intercambie información entre las autoridades que explotan sistemas de radionavegación en la banda 90-110 kHz y las que explotan otros sistemas en la banda 70-130 kHz utilizando transmisiones estables;
- 2** que las administraciones que explotan sistemas de radionavegación en la banda 90-110 kHz, en estrecha proximidad, coordinen las características técnicas de sus respectivos sistemas de conformidad con el RR;
- 3** que, dentro de la banda 90-110 kHz atribuida, la relación de protección para los sistemas de radionavegación por impulsos con características similares a las de un sistema existente (por ejemplo, Loran-C y Chayka) se exprese como relación emisión deseada/emisión no deseada y de conformidad con el Anexo 1;
- 4** que los niveles de la señal Loran-C se determinen con arreglo a las directrices contenidas en el Anexo 1;
- 5** que todo método de transmisión de datos que utilice señales Loran-C y Chayka mantenga la utilidad de los actuales servicios de radionavegación;
- 6** que se diseñe un servicio de datos utilizando la modulación por posición de impulsos de triple estado de señales Loran-C o Chayka, de conformidad con las características técnicas que figuran en el Anexo 2.

ANEXO 1

Criterios de protección y directrices para la determinación del nivel de la señal de Loran-C/Chayka

1 Criterios de protección

1.1 Los criterios de protección del Loran-C/IOC (interferencia de onda continua) en función de la separación de frecuencias se incluyen en la Fig. 1.

1.2 La interferencia cuasi-síncrona en la frecuencia, f , debería satisfacer la siguiente relación:

$$\left| f - \frac{n}{2 \text{IRG}} \right| < f_b$$

siendo:

IRG : intervalo de repetición en grupo

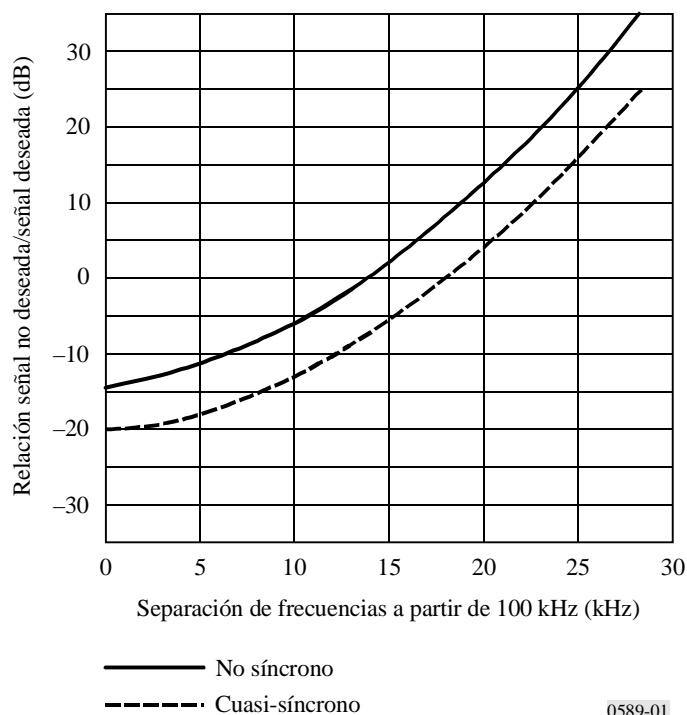
n : número entero cualquiera, y

f_b : anchura de banda de respuesta del receptor (relacionada con el tiempo de respuesta).

En el modo seguimiento, los receptores Loran-C típicos tienen una respuesta de seguimiento a -3 dB de 0,01 Hz para receptores marítimos y de 0,1 Hz para receptores aeronáuticos. Sin embargo, en el modo adquisición o búsqueda de señal, la respuesta puede ser de frecuencia considerablemente superior. Se recomienda por tanto utilizar el valor de $f_b = 1,0$ Hz.

FIGURA 1

Criterios de protección del Loran-C/IOC



0589-01

1.3 Los criterios de protección del Loran-C/interferencia del tipo MDF en función de la separación de frecuencias se incluyen en la Fig. 2.

2 Directrices para la determinación del nivel de la señal

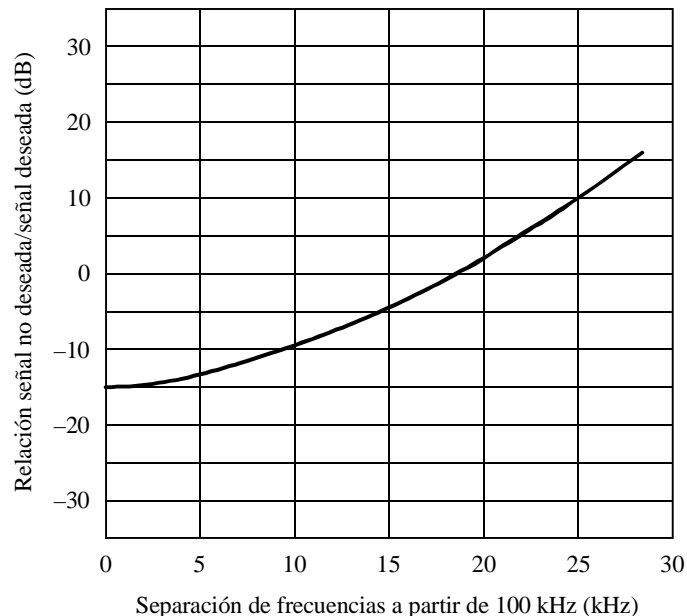
La aplicación de las Figs. 1 y 2 para determinar la intensidad de campo máxima aceptable de una señal no deseada específica en una frecuencia conocida requiere el conocimiento de la intensidad de señal Loran-C esperada. Esta intensidad de señal esperada sufre grandes variaciones dentro de la zona de cobertura de una cadena Loran-C dada. No obstante, puede determinarse un nivel mínimo en el límite de dicha cobertura.

La zona de cobertura Loran-C viene especificada por la administración que explota las estaciones de una cadena, y su determinación se basa en la intensidad de señal Loran-C con respecto a los niveles de ruido ambiental esperado. La relación S/N en el límite de la zona de cobertura suele ser de -10 dB. Por consiguiente, la relación S/N dentro de la zona de cobertura definida es superior a ese valor. Los niveles de ruido ambiental utilizados para calcular los límites de la cobertura se deducen de la Recomendación UIT-R P.372 – Ruido radioeléctrico. La intensidad de campo de la señal Loran-C medida en el límite de dicha zona de cobertura representa entonces el mínimo esperado. Por ejemplo, si el nivel de ruido esperado es de 55 dB(μ V/m), sería probable encontrar un nivel de señal Loran-C de 45 dB(μ V/m) o superior a través de la zona de cobertura. Podría entonces utilizarse 45 dB(μ V/m) como valor de la señal deseada juntamente con las Figs. 1 y 2.

Un estudio dedicado a las cadenas explotadas en Estados Unidos de América notificaba que los niveles de señal Loran-C dentro de zonas de cobertura definidas pueden descender hasta 43 dB(μ V/m). Partiendo de este valor y considerando una señal IOC cuasi síncrona comprendida entre 90 y 110 kHz, el nivel máximo de señal no deseada a deseada determinado a partir de la Fig. 1, es de -20 dB. En este caso, la intensidad de campo no deseada en el receptor Loran-C podrá tener que reducirse hasta un valor inferior a 23 dB(μ V/m) para evitar la interferencia.

FIGURA 2

Criterios de protección del Loran-C/MDF



ANEXO 2

Características técnicas de un servicio de datos con modulación de impulsos en posición de triple estado (MIP-3s) que utiliza las transmisiones Loran-C y Chayka en la banda de frecuencias 90-110 kHz

1 Estructura

Para la especificación de la señal se utiliza la estructura dada en el Cuadro 1.

CUADRO 1

Estructura para la especificación de la señal

1	Capa física	Especificación de la señal Loran-C y Chayka	Según documentan los proveedores del servicio adecuados
2	Capa de modulación/demodulación	Descripción de la MIP-3s	§ 2 de este Anexo
3	Capa de corrección de errores en recepción (FEC)	Descripción del algoritmo FEC sin canal de retorno	§ 3 de este Anexo
4	Capa de codificación de mensaje	Descripción del algoritmo de codificación de mensaje	§ 4 de este Anexo

2 Capa de modulación/demodulación

Estas definiciones establecen la modulación de la señal Loran-C o Chayka que permite efectuar las transmisiones de datos. Las definiciones incluyen el tipo de modulación de bajo nivel, la estrategia de la modulación para minimizar la devaluación del empleo de la señal Loran-C o Chayka en la determinación de la posición y la relación entre los códigos de modulación y otras representaciones de datos.

2.1 Modulación de impulsos

2.1.1 Temporización

Una MIP-3s debe aplicarse para modular los impulsos tres (3) a ocho (8) de cada grupo de impulsos. La modulación consiste en una deriva temporal de un (1) μs en la transmisión de los impulsos, respecto a un impulso no modulado. En el Cuadro 2 se indican los tres estados posibles de la modulación.

CUADRO 2

Estados de la modulación

Estado del impulso	Instante de transmisión menos instante del impulso de referencia (μs)	Indicación
Impulso avanzado	-1	-
Impulso sin deriva	0	0
Impulso retardado	+1	+

2.1.2 Equilibrio de la modulación

El número de impulsos avanzados y retardados de un canal en un grupo de impulsos debe ser el mismo. La modulación de seis (6) impulsos en un grupo de impulsos se traduce en 141 posibles códigos equilibrados, (véase el Cuadro 3) de los cuales 128 deben representar datos válidos, uno (1) debe indicar ausencia de transmisión de datos y 12 no deben utilizarse.

CUADRO 3

Combinación de códigos de modulación

Combinación de códigos de modulación			Ejemplo	Número de combinaciones
6 × cero (0)	0 × más (+)	0 × menos (-)	0 0 0 0 0 0	1
4 × cero	1 × más	1 × menos	0 0 + 0 - 0	30
2 × cero	2 × más	2 × menos	0 + - + 0 -	90
0 × cero	3 × más	3 × menos	+ + - - - +	20
Total =				141

2.1.3 Precisión de la temporización

La precisión de la temporización de la señal modulada debe ajustarse a los mismos requisitos de precisión de la temporización que los de la señal no modulada.

2.2 Códigos de modulación

2.2.1 Traducción de códigos/datos

Cada uno de los 128 códigos de modulación válidos debe representar unívocamente un bloque binario de 7 bits de datos, tal como se indica en el Cuadro 4.

2.2.2 Código no transmisión de datos

Debe utilizarse el código «000000» para indicar que no se están transmitiendo datos.

2.3 Estructura de mensaje

Un (1) mensaje MIP-31 debe constar de treinta (30) grupos de impulso consecutivos.

2.4 Blanco

Debe considerarse que se ha transmitido un grupo de impulsos en blanco con fines de modulación.

3 Capa FEC

Debe aplicarse un código sistemático de Reed-Solomon (RS) (30,10) de orden 2^7 a todos los mensajes. Todos los mensajes deben constar de 30 símbolos, representando cada símbolo un elemento de 7 bits. De estos símbolos, 10 deben ser datos y 20 deben ser los de paridad RS.

3.1 Polinomio primitivo

Los símbolos deben ser elementos del campo de Galois GF(128), construido utilizando el polinomio primitivo:

$$p(x) = x^7 + x^3 + 1$$

CUADRO 4

Traducción de códigos/datos

Decimal	Hexa-decimal	Código	Decimal	Hexa-decimal	Código	Decimal	Hexa-decimal	Código
0	0	--00++	43	2B	00-+-+	86	56	+-00-
1	1	--0+0+	44	2C	00-+--	87	57	++0--0
2	2	--0++0	45	2D	00+---	88	58	++0-0-
3	3	--+00+	46	2E	00+--+	89	59	++00--
4	4	--+0+0	47	2F	00++--	90	5A	-0000+
5	5	--++00	48	30	0+--0+	91	5B	-000+0
6	6	-0-0++	49	31	0+---0	92	5C	-00+00
7	7	-0-+0+	50	32	0+-0-+	93	5D	-0+000
8	8	-0-++0	51	33	0+-0+-	94	5E	-+0000
9	9	-00-++	52	34	0+--+0	95	5F	0-000+
10	A	-00+-+	53	35	0+--0-	96	60	0-00+0
11	B	-00+--	54	36	0+0--+	97	61	0-0+00
12	C	-0+-0+	55	37	0+0+--	98	62	0-+000
13	D	-0+--+0	56	38	0+0+--	99	63	00-00+
14	E	-0+0-+	57	39	0+--0-	100	64	00-0+0
15	F	-0+0+-	58	3A	0+--0-	101	65	00-+00
16	10	-0+--0	59	3B	0+0--	102	66	000-0+
17	11	-0+0-0	60	3C	+-00+	103	67	000-+0
18	12	--+00+	61	3D	+-0+0	104	68	0000-+
19	13	--+0+0	62	3E	+-+00	105	69	0000+-
20	14	--++00	63	3F	+0-0+	106	6A	000+-0
21	15	--+0-0+	64	40	+0-+0	107	6B	000+0-
22	16	--+0+0	65	41	+0-0+	108	6C	00+-00
23	17	--+00+	66	42	+0-0+	109	6D	00+0-0
24	18	--+00+	67	43	+0-+0	110	6E	00+00-
25	19	--+0+-0	68	44	+0-+0-	111	6F	0+-000
26	1A	--+0+0-	69	45	+-+00	112	70	0+0-00
27	1B	---+00	70	46	+-+0-0	113	71	0+00-0
28	1C	---+0-0	71	47	+-+00-	114	72	0+000-
29	1D	---+00-	72	48	+0--0+	115	73	+00000
30	1E	0--0++	73	49	+0--+0	116	74	+0-000
31	1F	0--+0+	74	4A	+0-0-+	117	75	+00-00
32	20	0--++0	75	4B	+0-0+-	118	76	+000-0
33	21	0-0-++	76	4C	+0-+-0	119	77	+000+-
34	22	0-0+--	77	4D	+0-+0-	120	78	+000+-
35	23	0-0++-	78	4E	+00--+	121	79	+000+-
36	24	0-+-0+	79	4F	+00+-	122	7A	+000+-
37	25	0-++0+	80	50	+00+--	123	7B	+000+-
38	26	0-+0-+	81	51	+0+--0	124	7C	+000+-
39	27	0-+0+-	82	52	+0+0-	125	7D	+000+-
40	28	0-++-0	83	53	+0+0--	126	7E	+000+-
41	29	0-++0-	84	54	++--00	127	7F	+0000-
42	2A	00-+++	85	55	++-0-0			

La relación entre los elementos GF(128) y los datos binarios deben ser la de considerar el valor de la potencia de α como un valor binario de 7 bits convertido a decimal. El símbolo «0» debe corresponder a un valor de 7 bits de 127.

3.2 Polinomio generador

La paridad FEC debe definirse mediante el siguiente polinomio generador:

$$g(x) = \prod_{i=1}^{20} (x - \alpha^i)$$

La relación entre una representación de símbolos y polinómica viene dada en el Cuadro 5.

CUADRO 5

Relación entre las representaciones por símbolos y polinómica

Posición	Número del símbolo	Multiplicar por
Símbolo menos significativo	S_1	x^0
	S_2	x^1

Símbolo más significativo	S_n	x^{n-1}

En el proceso de codificación del mensaje deben seguirse los pasos siguientes:

Paso 1: traducción de los datos binarios a una representación por símbolos, utilizando el polinomio primitivo;

Paso 2: traducción de la representación por símbolos sostenido en el Paso 1 a un polinomio;

Paso 3: multiplicación del polinomio obtenido en el Paso 2 por x^{20} ;

Paso 4: división del polinomio obtenido en el Paso 3 por el polinomio generador;

Paso 5: suma del polinomio obtenido en el Paso 3 con el resto de la división del Paso 4;

Paso 6: traducción del polinomio obtenido en el Paso 5 a una representación por símbolos o binaria.

3.3 Orden de la transmisión

El primer código transmitido en un mensaje codificado FEC debe corresponder al símbolo menos significativo de dicho mensaje.

3.4 Continuidad de la modulación

Los mensajes deben transmitirse consecutivamente sin intervalos. El código transmitido en el primer grupo de impulsos después del último código de un mensaje debe ser el primer código del siguiente mensaje.

4 Capa de codificación de mensaje

4.1 Estructura genérica

Todos los tipos de mensaje deben definirse con la misma estructura, compuesta de un tipo de mensaje, un cuerpo de mensaje y una verificación por redundancia cíclica (VRC). El tipo de mensaje debe identificar el tipo de los datos obtenido en el cuerpo del mensaje. La estructura genérica viene indicada en el Cuadro 6.

CUADRO 6

Estructura genérica de la sección de datos

Campo	Bits utilizados	Números de bit
Tipo de mensaje	4	I ₁ – I ₄
Cuerpo del mensaje	52	I ₅ – I ₅₆
VRC	14	I ₅₇ – I ₇₀
Total	70	

4.2 Identificación del tipo de mensaje

El tipo de mensaje debe ser conforme a la información presentada en el Cuadro 7.

CUADRO 7

Interpretación del tipo de mensaje

Indicación		Tipo de mensaje				Decimal
Tipo		I ₄	I ₃	I ₂	I ₁	
1	Correcciones DGPS	0	0	0	1	1
2	Correcciones DGLONASS	0	0	1	0	2
3	Reservado	0	0	1	1	3
4	Reservado	0	1	0	0	4
5	Mensaje de texto	0	1	0	1	5
6	Reservado	0	1	1	0	6
7	Reservado	0	1	1	1	7
8	Reservado	1	0	0	0	8
9	Reservado	1	0	0	1	9
10	Reservado	1	0	1	0	10
11	Reservado	1	0	1	1	11
12	Reservado	1	1	0	0	12
13	Reservado	1	1	0	1	13
14	Reservado	1	1	1	0	14
15	Reservado	1	1	1	1	15
16	Reservado	0	0	0	0	0

DGPS: sistema mundial de determinación de posición diferencial
(*differential global positioning system*)

DGLONASS: sistema mundial de navegación por satélite diferencial
(*differential global orbiting navigation satellite system*)

4.4 Definiciones

4.4.1 Cómputo Z modificado

El cómputo Z representa el instante de referencia para los mensajes de datos diferenciales. El cómputo Z empieza en 0, al principio de cada hora en la temporización GPS o GLONASS y alcanza un valor máximo de 3 599,4 s, con una resolución de 0,6 s. Se utiliza para calcular el tiempo GPS o el tiempo GLONASS de las correcciones, en la misma forma que se efectúan otros cálculos de tiempo en los receptores de usuario.

4.4.2 Factor de escala

Pueden utilizarse dos estados de factor de escala para las PRC que se definen en el Cuadro 9. El motivo de emplear dos niveles es el de mantener un elevado grado de precisión la mayor parte del tiempo y el de tener la capacidad de aumentar la gama de correcciones en los pocos casos en que sea necesario.

CUADRO 9
Factor de escala

Código	N.º	Indicación
0	(0)	El factor de escala para la PRC es de 0,02 m y para la RRC es de 0,002 m/s
1	(1)	El factor de escala para la PRC es 0,32 m y para la RRC es 0,032 m/s

4.4.3 Error de alcance diferencial de usuario (UDRE, *user differential range error*)

Estimación del error medio cuadrático en la PRC diferencial. Viene influida por factores tales como la relación S/N del satélite, los efectos multitrayecto y el centrado de datos. El Cuadro 10 define el formato para el campo UDRE.

CUADRO 10
UDRE

Código	N.º	Error diferencial 1 σ (m)
00	(0)	≤ 1
01	(1)	> 1 y ≤ 4
10	(2)	> 4 y ≤ 8
11	(3)	Estación de referencia no utilizable

4.4.4 Identificación de satélite

Formato normal (1-32, 32 se indica con todos ceros).

4.4.5 Corrección de pseudoalcance (PRC, *pseudorange correction*)

La PRC describe la corrección estimada del instante de la medición en el receptor de referencia. La relación entre la PRC, la RRC y el tiempo de referencia se define por la ecuación siguiente:

$$PR_{\text{corregido}}(t) = PR_{\text{medido}}(t) + PRC + RRC (t - t_{\text{referencia}})$$

La PRC viene dada en valor de complemento a 2. La resolución depende del factor de escala.

4.4.6 Corrección de tasa de alcance (RRC, *range-rate correction*)

La RRC describe la estimación de la tasa de variación de la PRC en el instante de la medición en el receptor de referencia. La utilización de la RRC se describe por la ecuación anterior. La resolución depende del factor de escala.

4.4.7 Emisión de datos (IOD, *issue of data*)

La IOD como difusión por la estación de referencia es el valor en los mensajes de navegación GPS que corresponden a los datos de efemérides GPS utilizados para calcular las correcciones. Es un elemento clave para asegurar que los cálculos del equipo de usuario y las correcciones de la estación de referencia se basan en el mismo conjunto de parámetros orbitales de radiodifusión y de reloj.

4.4.8 T_b de los datos de navegación (TOD, *T_b of navigation data*)

Tiempo en el actual periodo de 24 h según el UTC(SU), que incluye la información operacional transmitida en la trama.

4.4.9 Número de secuencia

El número de mensaje debe ser igual para todas las partes de un mensaje de texto. El número de mensaje debe aumentar en pasos unitarios para los siguientes mensajes de texto, reiniciándose en «000» después de «111».

4.4.10 Fin de mensaje (Fin)

El fin de mensaje indica la última parte de un mensaje de texto. Un valor de «0» indica que se requieren más partes para completar el mensaje de texto. Un valor «1» indica que el mensaje de texto está completo.

4.4.11 Caracteres de texto

En cada parte de un mensaje de texto hasta seis (6) caracteres de ocho (8) bits. Los códigos entre 0 y 127 deben corresponderse con códigos ASCII normales. Los caracteres cirílicos deben representarse mediante códigos superiores a 127.

4.5 Verificación por redundancia cíclica (VRC, *cyclic redundancy check*)

La VRC debe generarse utilizando el polinomio siguiente:

$$G(x) = x^{14} + x^{13} + x^7 + x^5 + x^4 + 1$$

Deben utilizarse los pasos siguientes en el cálculo de la VRC:

Paso 1: traducción de los datos, incluyendo el campo de tipo de mensaje en un polinomio siguiendo el convenio definido en el Cuadro 11. El polinomio resultante no debe contener órdenes de x más elevados que x^{55} ;

Paso 2: multiplicación del polinomio obtenido en el Paso 1 por x^{14} ;

Paso 3: división del polinomio obtenido en el Paso 2 por el polinomio generador;

Paso 4: traducción del resto de la división del Paso 3 en una representación binaria que es la VRC.

CUADRO 11

Relación entre la representación binaria y polinómica

Posición	Número de bit	Multiplicador
Símbolo menos significativo	I_1	x^0
	I_2	x^1

Símbolo más significativo	I_n	x^{n-1}
