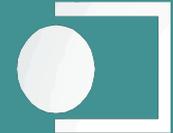


DESCRIPCIÓN Y REPRESENTACIÓN DE LAS SEÑALES GNSS

Autor Sonia Vílchez Benigno
Tutor Gonzalo Seco Granados

Trabajo Fin de Máster
Junio de 2019

 **UOC**

Universitat Oberta de Catalunya



ÍNDICE DE CONTENIDO

▶ INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS GNSS

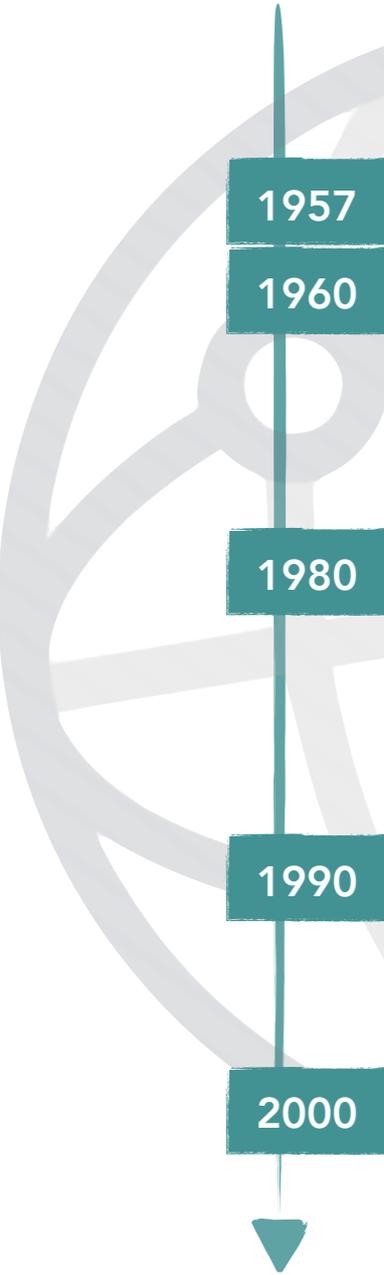
- **GPS**
- **GLONASS**
- **GALILEO**
- **BEIDOU**
- **QNZSS**
- **INRSS**

CONCLUSIONES



INTRODUCCIÓN

HISTORIA DE LOS GNSS

- 
- A vertical timeline on the left side of the slide, starting from 1957 at the top and ending with 2000 at the bottom. The years are displayed in teal boxes. A large, faint, stylized wheel or gear is visible in the background behind the timeline.
- **Segunda Guerra Mundial:** Sistemas Hiperbólicos. Transmisiones radio de baja frecuencia.
DECCA, LORAN, GEE u OMEGA
 - Puesta en órbita **Sputnik // NASA**
 - **1957**
 - **1960** ● **TRANSIT o NAVSAT:** Primer sistema de navegación por satélite operativo. Desarrollado por la Marina de los EEUU. Basado en el efecto Doppler.
 - **Departamento Defensa EEUU NAVSEG: NAVSTAR-GPS** (*Navigation System Timing and Ranging-Global Positioning System*). Capacidad operacional inicial en 1993.
 - **1980**
 - **Unión Soviética: GLONASS** (*Glogal Navigation Satellite System*). Operativo en 1996.
 - Sistemas de aumentación **SBAS y GBAS**.
 - **Union Europea y Agencia Espacial Europea: EGNOS** y posteriormente **Galileo**. Operativo en 2016.
 - **1990**
 - **China: BeiDou**, Operativo en 2001. Segunda Versión **Compass**.
 - **Japón: QZSS** (*Quasi-Zenith Satellite System*).
 - **2000**
 - **India: IRNSS** (*Indian Regional Navigation Satellite System*).

SISTEMAS GNSS

Definición y principio de funcionamiento

Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS) → Conjunto de sistemas que, mediante una constelación de **satélites artificiales**, obtienen **rangos de señales** que permiten proveer **posicionamiento** en cualquier parte del globo terrestre, ya que permiten obtener las coordenadas geográficas y altitud.

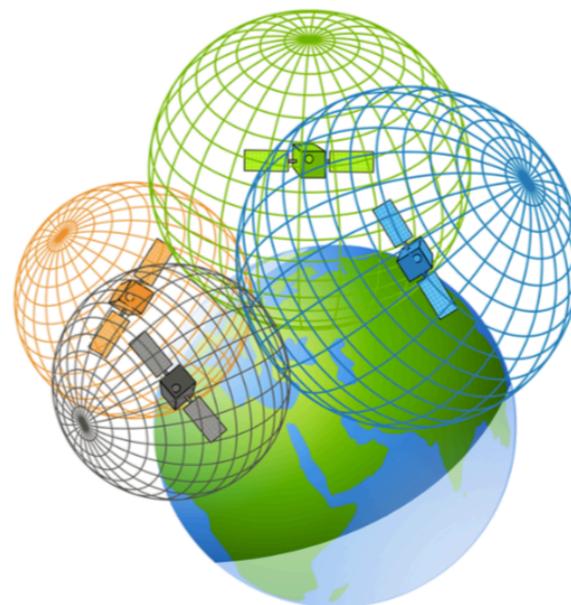
Principio de Funcionamiento

Conociendo la localización del satélite, comparar tiempo de llegada al receptor con el tiempo de transmisión, para conocer el tiempo (y por tanto la distancia) que ha recorrido la señal

Pseudorrango

$$P(t) = c[t_u(t) - t^S(t - \tau)]$$

- ▶ c la velocidad de la luz en el vacío
- ▶ t_u el tiempo de recepción de la señal por el usuario
- ▶ $t^s(t - \tau)$ el tiempo de emisión de la señal por el satélite s .



NECESIDAD DE MISMA REFERENCIA TEMPORAL EN EMISOR Y SATÉLITE

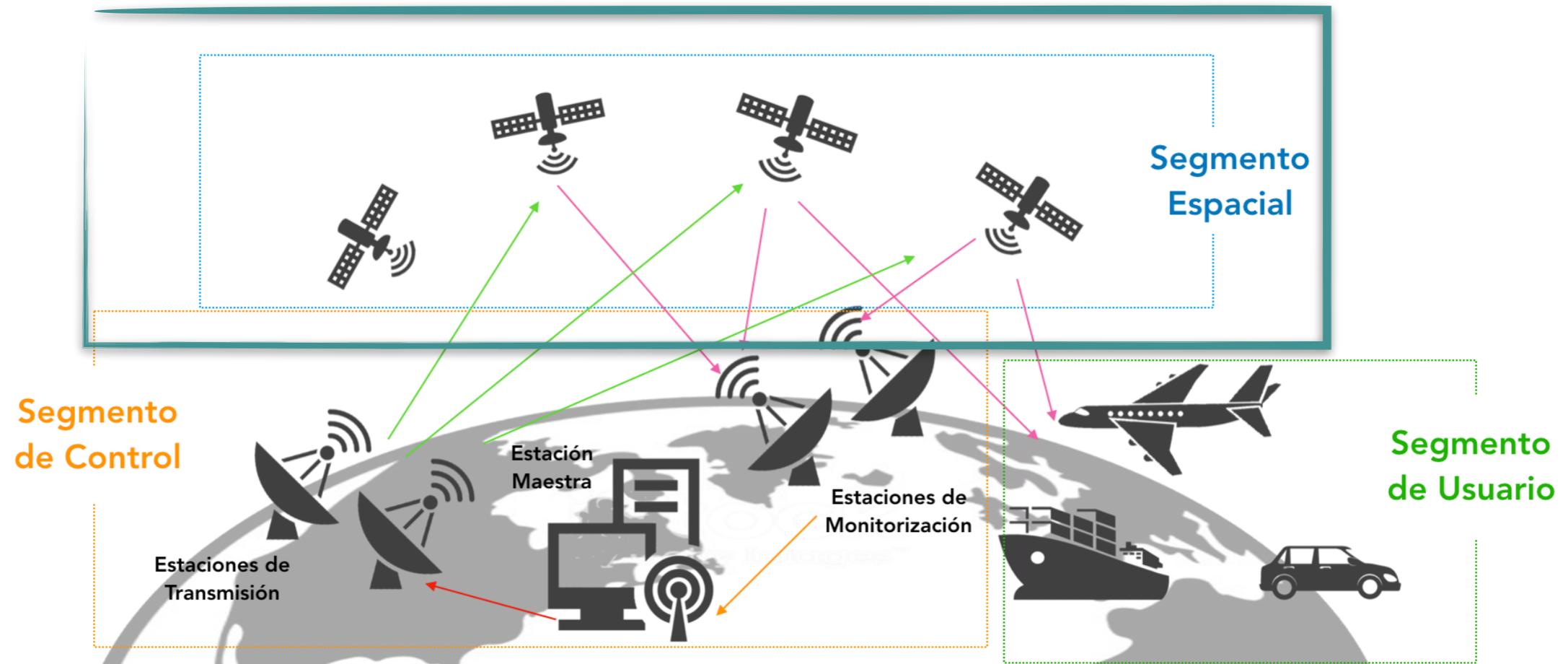
SISTEMAS GNSS

ESTRUCTURA SISTEMA

Se compone de tres partes diferenciadas sin las cuales no puede considerarse un GNSS operativo: el **segmento espacial**, el **segmento de control** y el **segmento de usuario**.

SEGMENTO ESPACIAL

Constelación de satélites distribuidos en distintos planos orbitales.
Código PRN asignado para identificar cada satélite



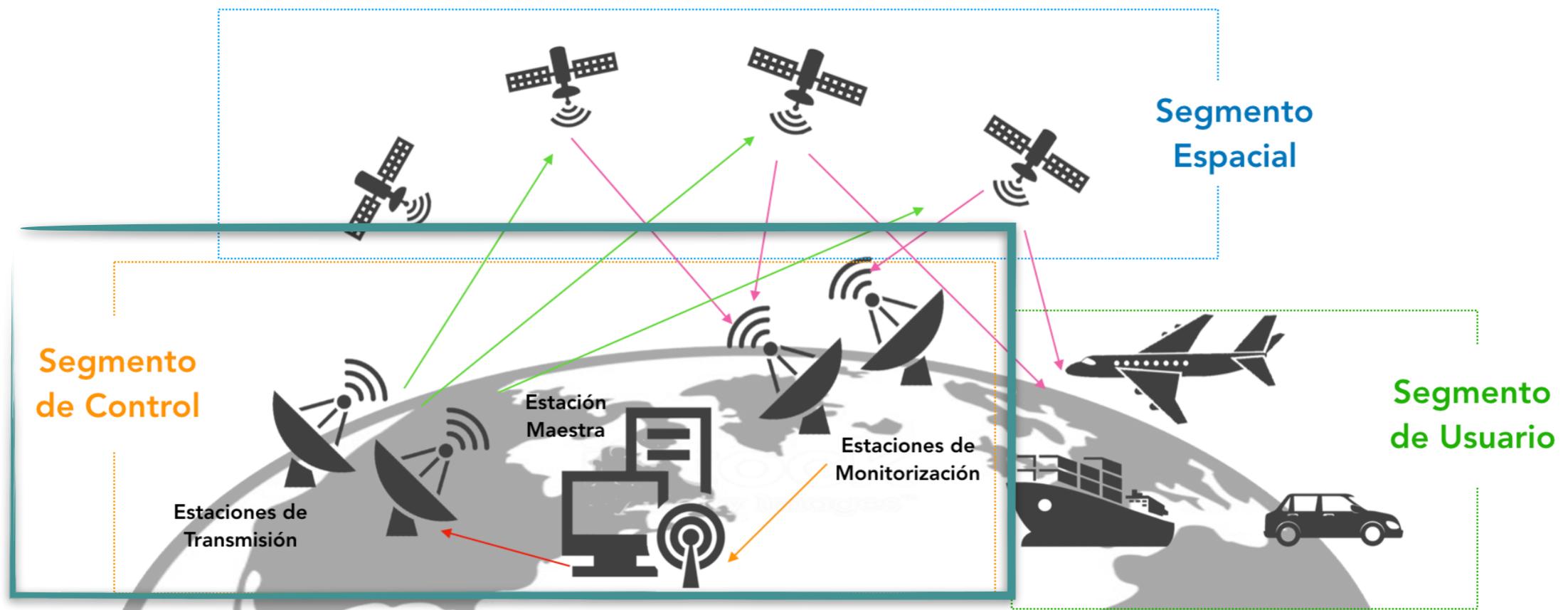
SISTEMAS GNSS

ESTRUCTURA SISTEMA

Se compone de tres partes diferenciadas sin las cuales no puede considerarse un GNSS operativo: el **segmento espacial**, el **segmento de control** y el **segmento de usuario**.

SEGMENTO DE CONTROL

Conjunto de estaciones terrestres que recogen datos de los satélites y les envían datos
Monitorizan su estado, y corrigen sus órbitas y referencias horarias
Mantienen el control de la constelación y la misión.
Suele haber una Estación Maestra que coordina todo este segmento (redundada)



SISTEMAS GNSS

ESTRUCTURA SISTEMA

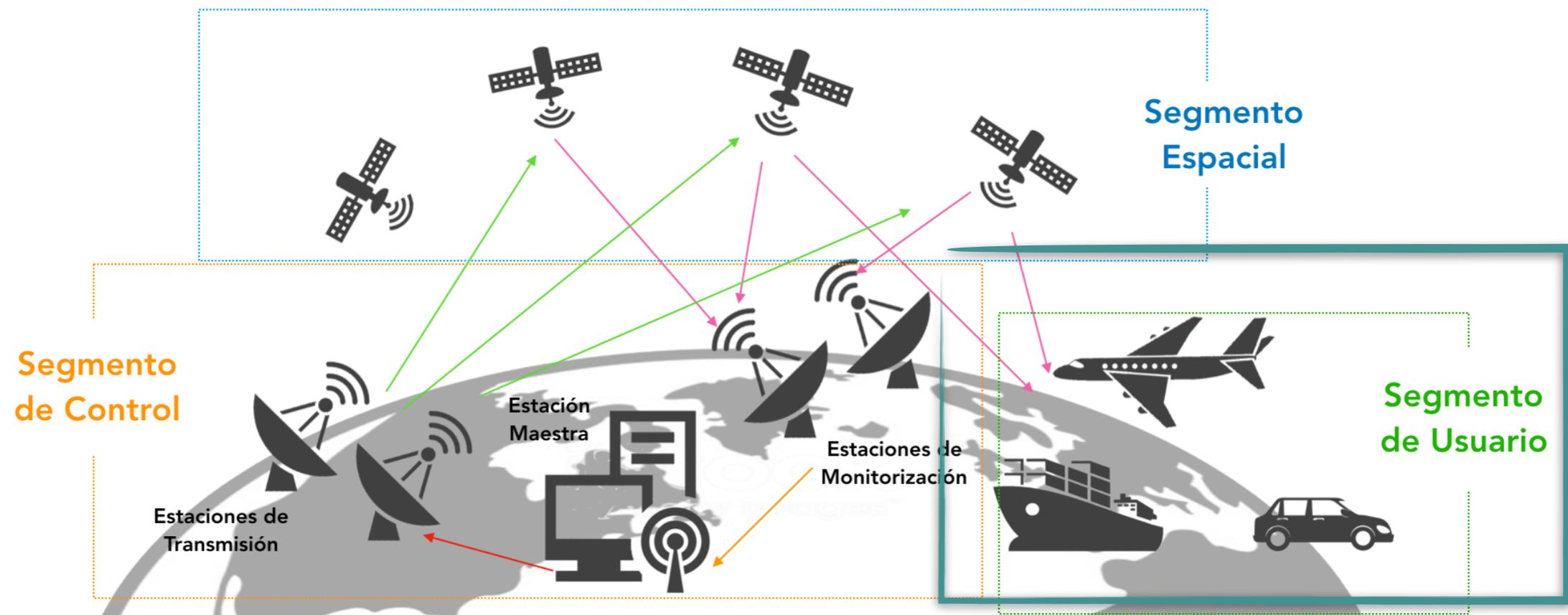
Se compone de tres partes diferenciadas sin las cuales no puede considerarse un GNSS operativo: el **segmento espacial**, el **segmento de control** y el **segmento de usuario**.

SEGMENTO DE USUARIO

Recibe las señales de al menos 4 satélites (idealmente)

Identifica el satélite transmisor y soluciona las ecuaciones de pseudorrangos

Pueden ser mono/multifrecuencia





GPS

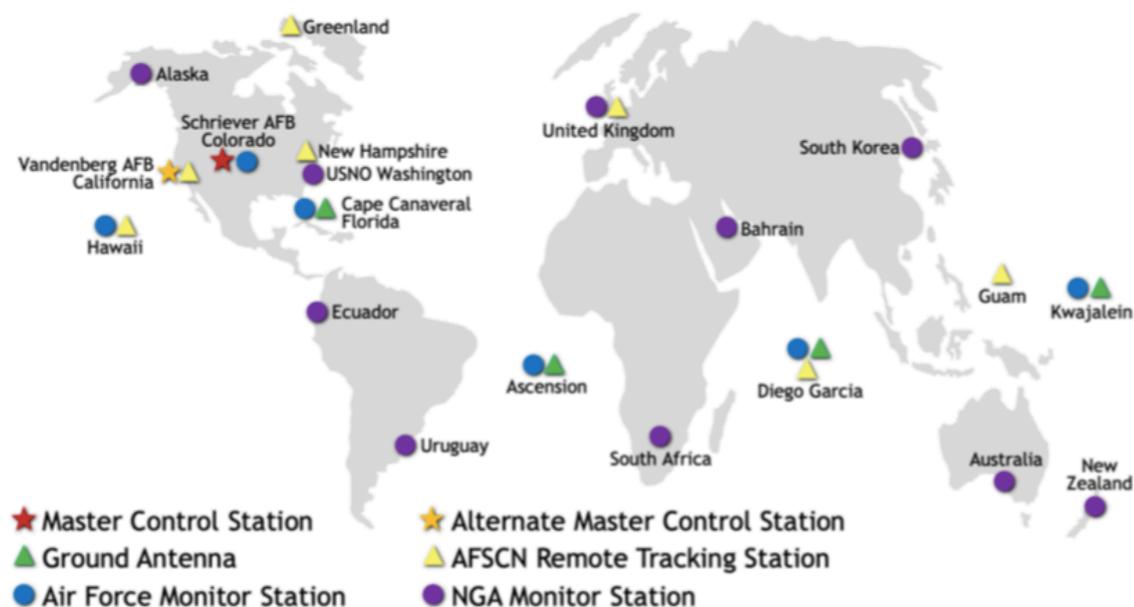
Sistema de posicionamiento por excelencia, no solo porque se trata del primero de los actuales sistemas en estar operativo a nivel global, sino que es el más extendido en todo mundo. Fue desarrollado, y es operado por el Departamento de Defensa de Estados Unidos.

Segmento Espacial

Segmento de Control

- ➔ Estación de Control Maestra
- ➔ Estaciones de Monitorización
- ➔ Estaciones de Transmisión

	Satélites Legacy		Satélites Modernizados		
	Bloque IIA	Bloque IIR	Bloque IIR - M	Bloque IIF	Bloques III/IIIF
Nº Satélites Operativos	1	11	7	12	Ninguno
Señales	L1: C/A y P(Y) L2: P(Y)	L1: C/A y P(Y) L2: P(Y)	L1: C/A y P(Y) L2: P(Y) y L2C Señal Militar M	L1: C/A y P(Y) L2: P(Y) y L2C Señal Militar M L5: L5	L1: C/A, P(Y) y L1C L2: P(Y) y L2C Señal Militar M L5: L5
Vida Útil	7,5 años	7,5 años	7,5 años	12 años	15
Fechas Lanzamiento	1990 - 1997	1997 - 2004	2005 - 2009	2010 - 2016	2018-X



Segmento de Usuario

El Informe de mercado GNSS (Agencia Europea GNSS, 2012) → Dispositivos habilitados para GPS **dos mil millones de unidades.**



GPS

Estructura de Señal	Bandas de Frecuencia Portadoras	$f_{L1} = 1.575,42MHz$ $f_{L2} = 1.227,6MHz$ $f_{L5} = 11.176,45MHz$
	Códigos de Rango PRN	<ul style="list-style-type: none">• L1 → C/A, P(Y), L1C• L2 → L2CM y L2CL, M• L5 → L5I y L5Q
	Mensajes de Navegación	<ul style="list-style-type: none">• LNAV (Legacy)• CNAV: CNAV L1C, CNAV L2CM, CNAV L5, MNAV

Señales GPS



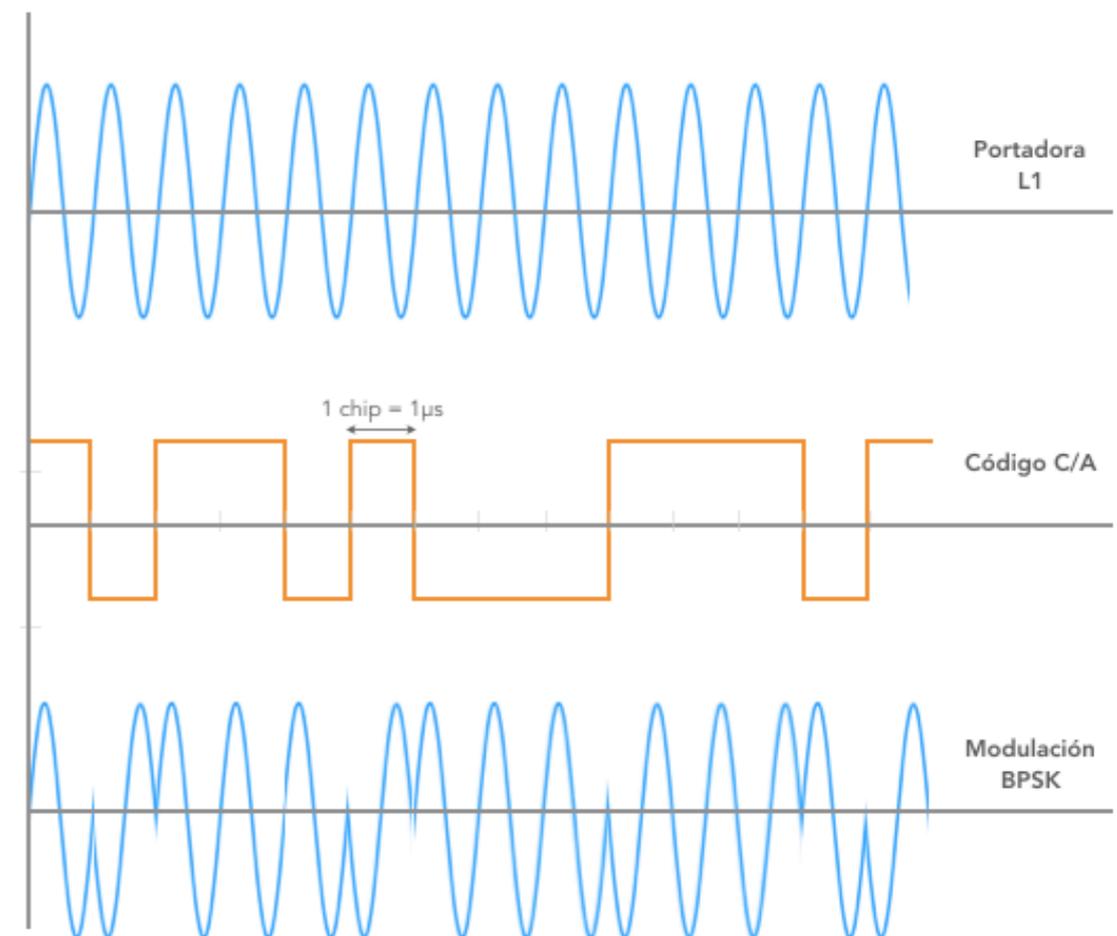
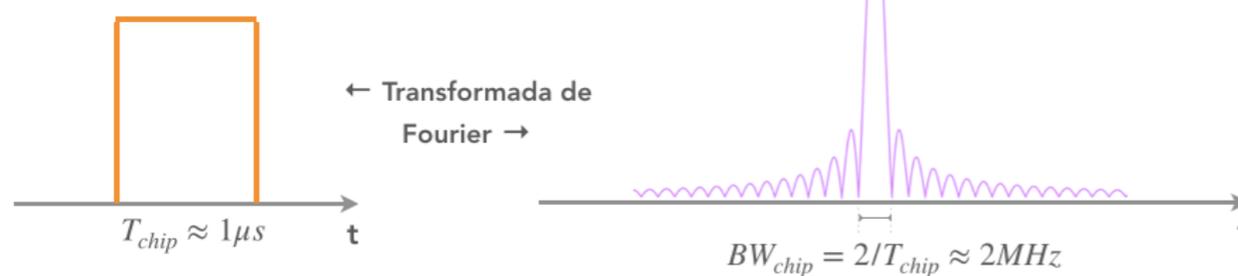
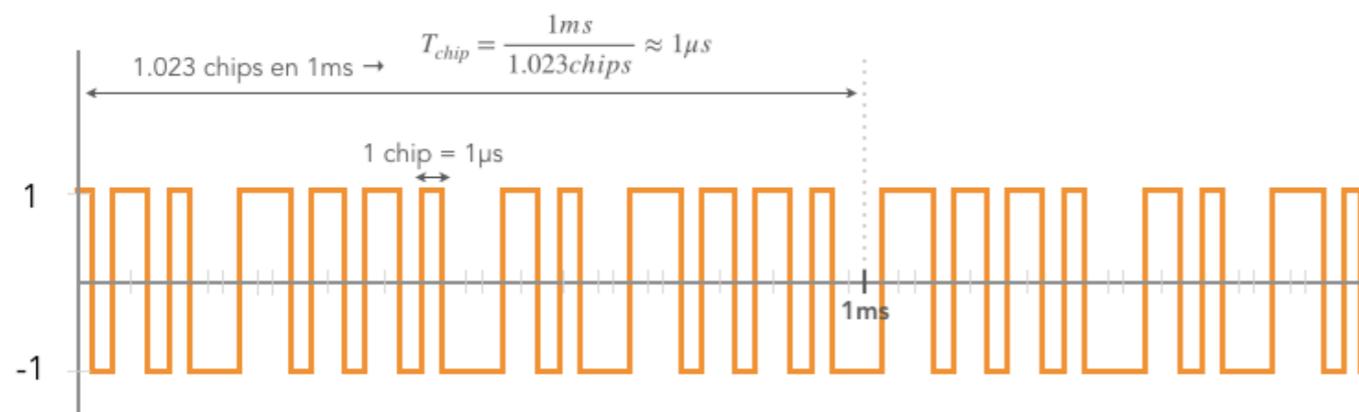


Señales en Banda L1

Código C/A

Señal Legacy. Se trata de un **Código Gold** $C_k(t)$ que modula el mensaje de navegación $D_k(t)$ y en **BPSK** la portadora L1

$$s_{C/A_i}(t) = \sqrt{2P_c} C_k(t) D_k(t) \cos(2\pi f_{L1} t)$$

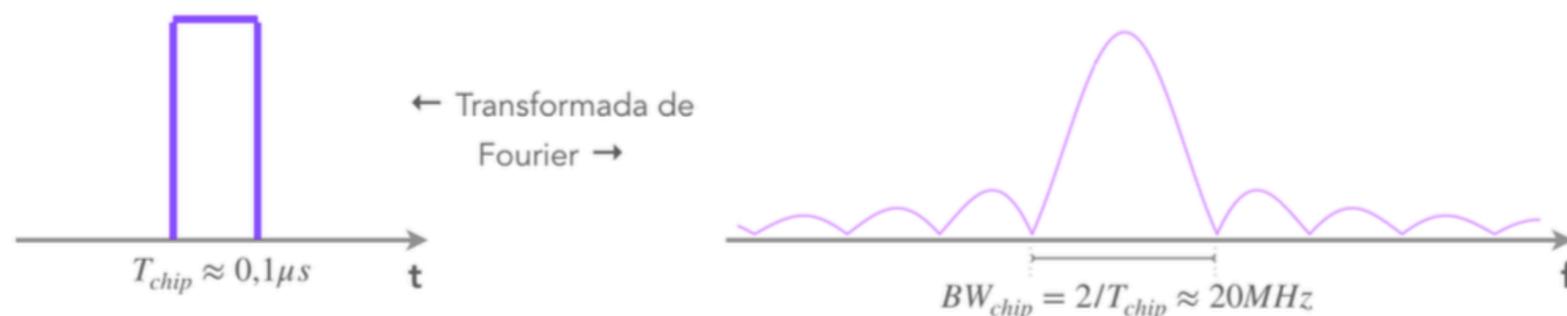
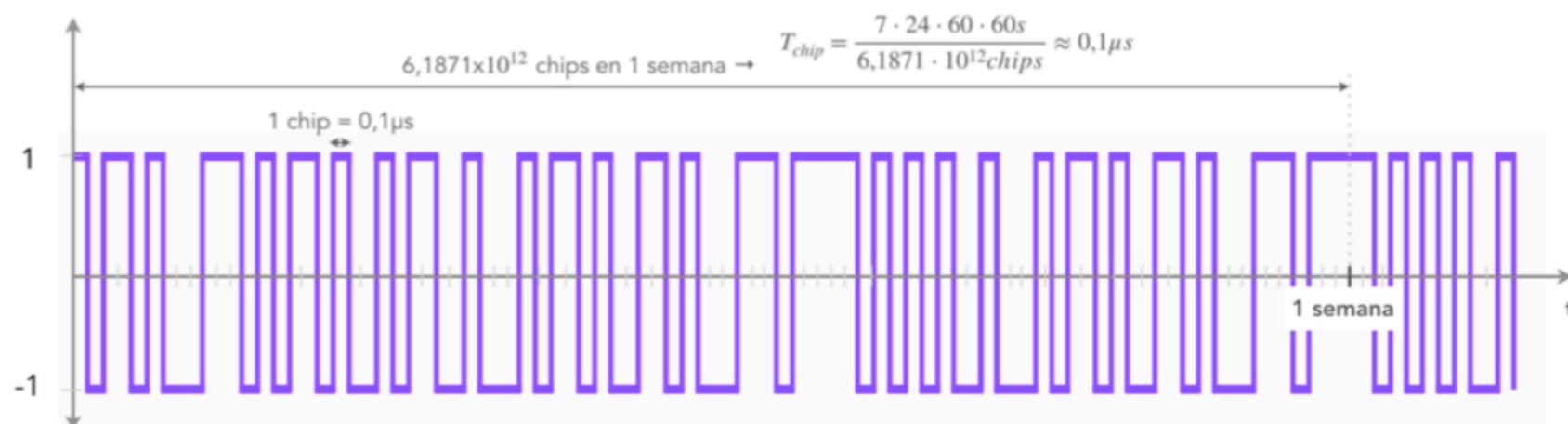




Señales en Banda L1

Código P(Y) Se construye de forma similar a C/A, pero se trata de un código con menor tiempo de bit, por lo que el **espectro se ensancha**, y el tiempo de adquisición crece.

- También se trata de un **Código Gold** $P_k(t)$ que modula el mensaje de navegación $D_k(t)$ y en **BPSK** la portadora L1.
- Se trata de un código de longitud $6,1871 \times 10^{12}$, por lo que la adquisición se hace con C/A y el código P aporta precisión.



Código Y Código P cuando se activa el modo anti-spoofing:

- Se encripta mediante un **código Weil**

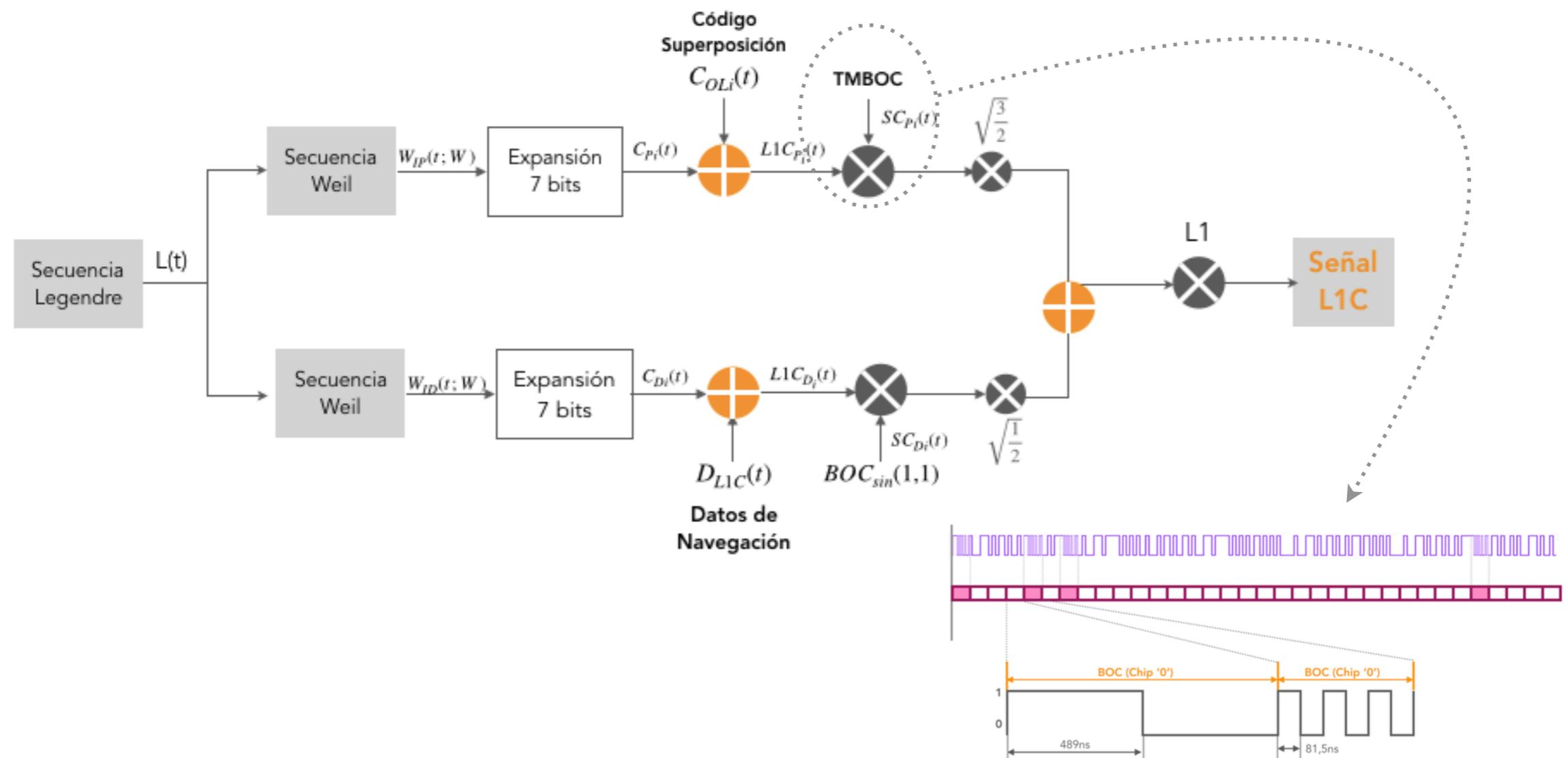
Código M Señal Militar modernizada que aparece por primera vez en el bloque IIR-M. Destinada a sustituir a la señal P(Y) por su mejora en el rendimiento y flexibilidad, no se conocen muchos datos sobre ella, dado su carácter militar.



Señales en Banda L1

Señal L1C Señal moderna de GPS, con previsión de introducción en **2020**

- ▶ Componente de datos **L1C_{Di}(t)** + Componente piloto **L1C_{Pi}(t)** transmitidas en fase
- ▶ Códigos Weil → Secuencia Legendre
- ▶ **L1C_{Di}(t)** se modula con **BOC_{sin}(1,1)** → 25% de la potencia transmitida
- ▶ **L1C_{Pi}(t)** se modula con **TMBOC (BOC_{sin}(1,1) + BOC(6,1))** → 75% de la potencia transmitida





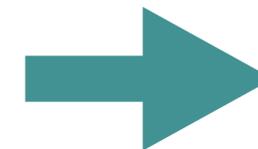
GPS

Señales en Banda L2

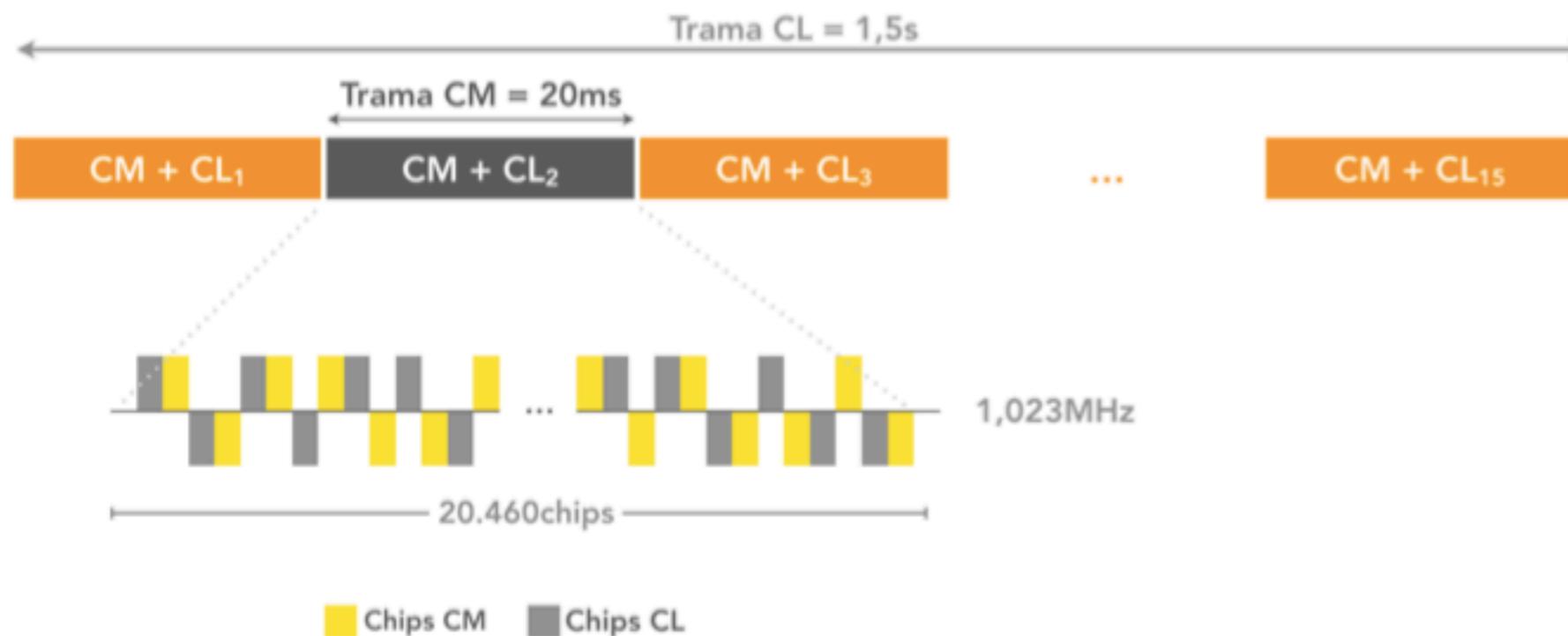
Señal L2C Señal civil incluida por primera vez el bloque IIR-M (Satélites posteriores 2005)

- ▶ Multiplicación temporal (TDM) de dos códigos: **Civil-Moderado (CM)** y **Civil-Largo (CL)**
- ▶ **El código resultante** modula el mensaje de navegación modernizado **CNAV (L2C)** y la portadora en **BPSK**

- Longitud Código CM = 10.230 chips que se repite cada 20ms (Tasa = 511,5kbps)
- Longitud código CL = 767.250 chips que se repiten cada 1,5s (Tasa = 511,5kbps)



Tasa de datos
1.23Mbps

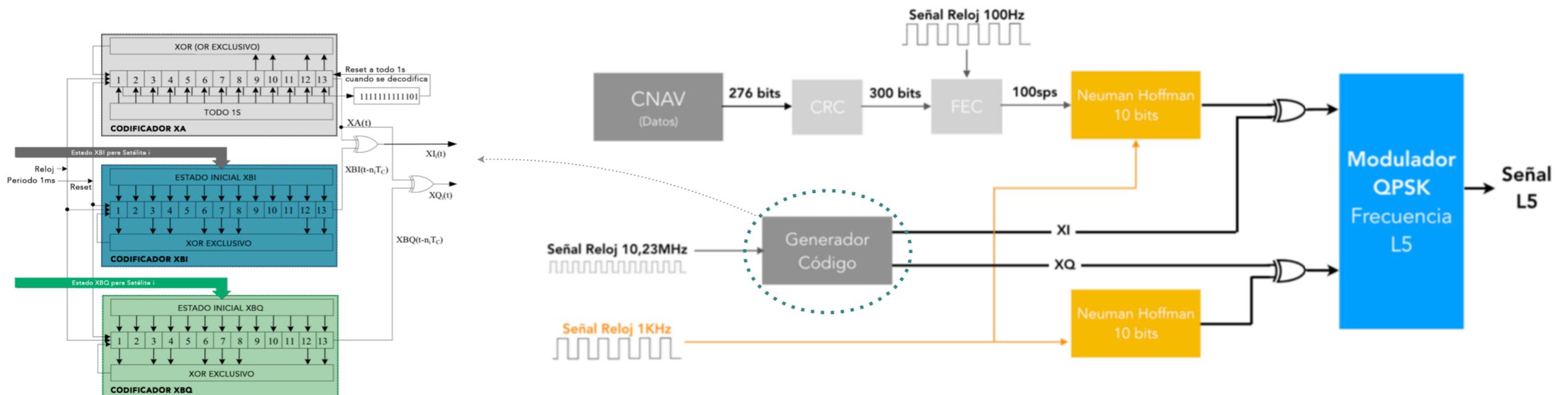




Señales en Banda L5

Señal L5 Señal civil incluida por primera vez el bloque IIR-F, en 2010, para el servicio Safety of Life

- ▶ Compuesta por dos componentes, en fase **I5(t)** y cuadratura **Q5(t)**
- ▶ La componente **I5(t)** se modula con los datos, mientras que **Q5(t)** es únicamente una componente piloto.



- ▶ Ambas se modulan con un código de Neuman Hoffman de 10 bits.
- ▶ Los códigos PRN de ambas se generan con registros de desplazamiento de 11 bits, mediante **secuencias XA y XBi**.
- ▶ La modulación de cada componente se hace en BPSK, por lo que en conjunto se trata de una señal **QPSK**

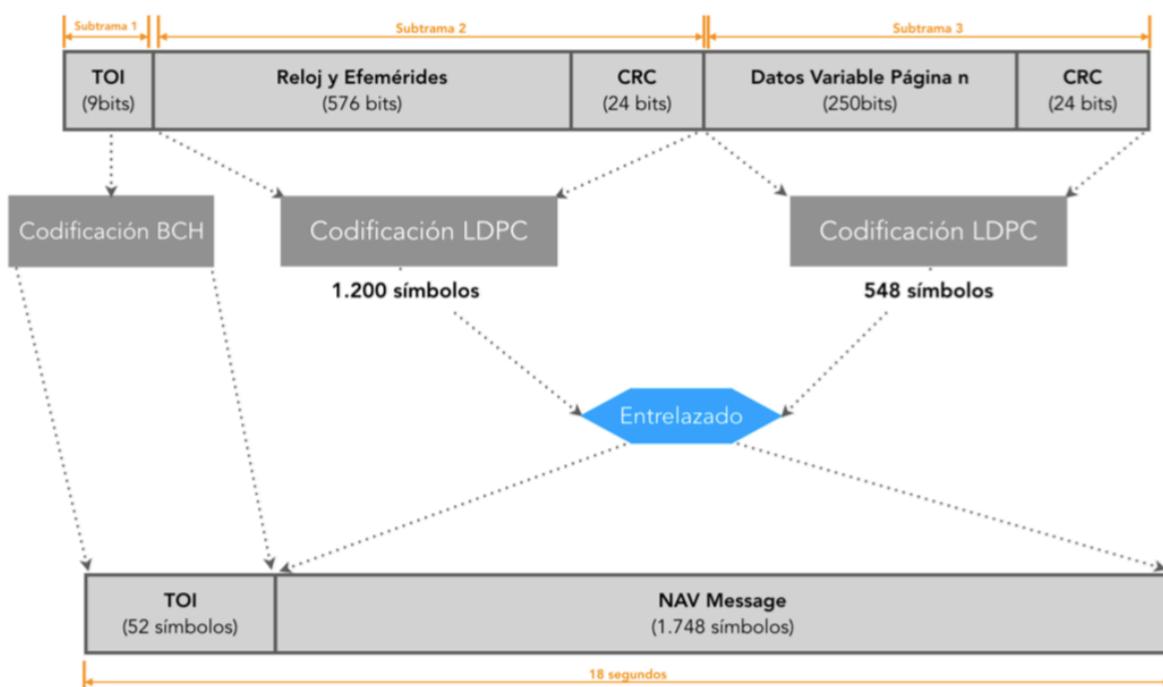
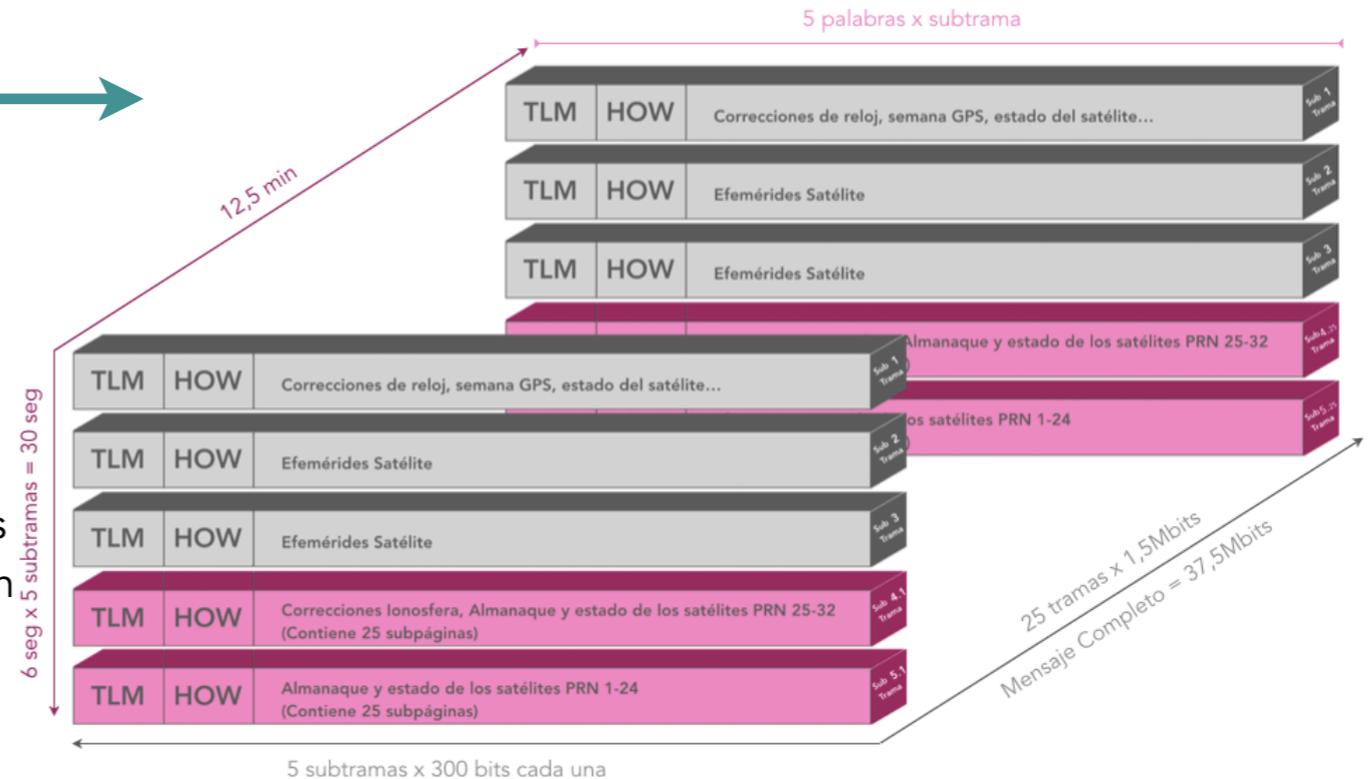


GPS

Mensajes de Navegación

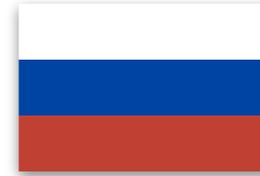
LNAV (Legacy)

- Organizado en **tramas**, **subtramas** y **palabras**
- 5 palabras por subtrama
- 5 subtramas por trama:
 - Subt1: info del número de semana y correcciones de reloj
 - Subt2 y 3: Efemérides del satélite y parámetros orbitales
 - Subt 4 y 5: Almanaque de la constelación. Se distribuyen en el mensaje completo
- 25 tramas para mensaje completo → 12,5min



CNAV (Modernizado)

- Más flexible: 300 bits enviados en 6 segundos.
- Los mensajes no tienen un tipo fijo, sino que contienen información dependiendo del tipo definido.
- Incluye FEC y codificación LDPC 1/2 para entrelazado.
- Tiene diferentes versiones con distintos patrones de codificación convolucional en función de las señales:
 - L2C: 50 bps y 1/2 → 25bps
 - L5: 100bps y 1/2 → 50bps
 - M: No info



GLONASS

Se trata de un GNSS desarrollado por la **Unión Soviética**, siendo hoy administrado por la Federación Rusa, y que constituye el homólogo del GPS estadounidense y del Galileo europeo. Se declaró operativo en 1993.

Segmento Espacial

Segmento de Control

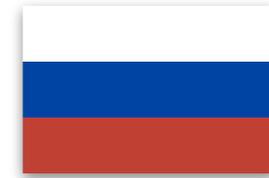
- ➔ 1 Centro de Control del Sistema (SCC)
- ➔ 5 Centros de Telemetría, Seguim.y Control (TT&C)
- ➔ 2 Centrales de Control de Reloj (CC-M)
- ➔ 3 Centrales de Transmisión de datos (ULS)
- ➔ 4 Estaciones de Monitorización y Medidas (MS)



	Satélites Legacy		Satélites Modernizados			
	GLONASS	GLONASS-M	GLONASS-K1	GLONASS-K2	GLONASS-V	GLONASS-KM
Estado	Fuera Servicio	En Servicio	En servicio	En servicio	Fase de Diseño	Fase de Investigación
Señales	- L1OF, L1SF - L2SF	- L1OF, L1SF - L2OF, L2SF - L3OC (2014)	- L1OF, L1SF - L2SF, L2SF - L3OC	- L1OF, L1SF, L1OC, L1SC - L2SF, L2SF - L3OC	- L1OC, L1SC - L2OC, L2SC - L3OC	- L1OF, L1SF, L1OC, L1SC, L1OCM - L2SF, L2SF - L3OC, L3OCM - L5OCM
Vida Útil	3	7	10	10	-	-
Fechas Lanz.	1982 – 2005	2003 - ¿?	2011 - ¿?	2019 - ¿?	2023/25 - ¿?	2030 - ¿?

Segmento de Usuario

- El Gobierno Ruso desde 2011 ha forzado su uso en diversos sectores como el de la aviación o en el del transporte.
- Uso conjunto con GPS para mejorar precisión.
- Mejor desempeño en latitudes al norte → Preferido en algunos países Europeos



GLONASS

Estructura de Señal

Bandas de Frecuencia Portadoras

Códigos de Rango PRN

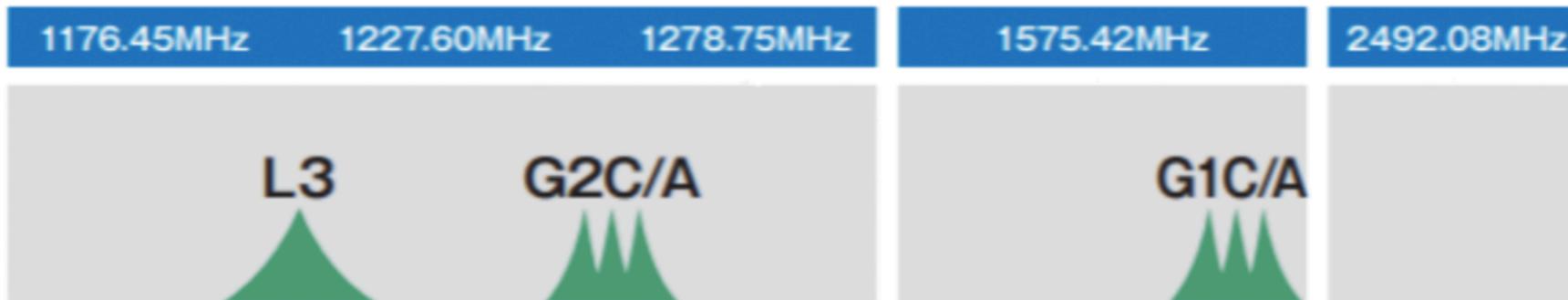
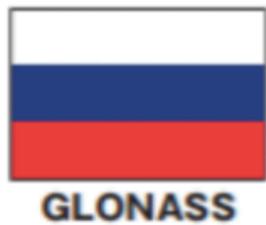
Mensajes de Navegación

- Alta/Baja Precisión (Legacy)
- Modernizado: L3OC y L1OC

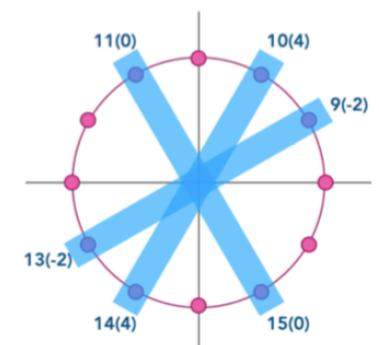
$$f_{kL1} = f_{0L1} + k \Delta f_{L1}$$

$$f_{kL2} = f_{0L2} + k \Delta f_{L2}$$

$$f_{kL3} = f_{0L3} + k \Delta f_{L3}$$



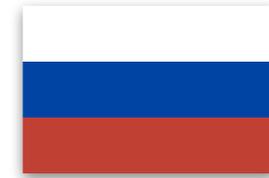
Distribución Antipodal de Frecuencias



i(k) = Satélite i con frecuencia k

Tradicionalmente utilizaba FDMA en sus señales

- $f_{0L1} = 1.602MHz$ - $f_{0L2} = 1.246MHz$ - $f_{0L3} = 1.201MHz$
- $\Delta f_{L1} = 562,5KHz$ - $\Delta f_{L2} = 437,5KHz$ - $\Delta f_{L3} = 437,5KHz$



GLONASS

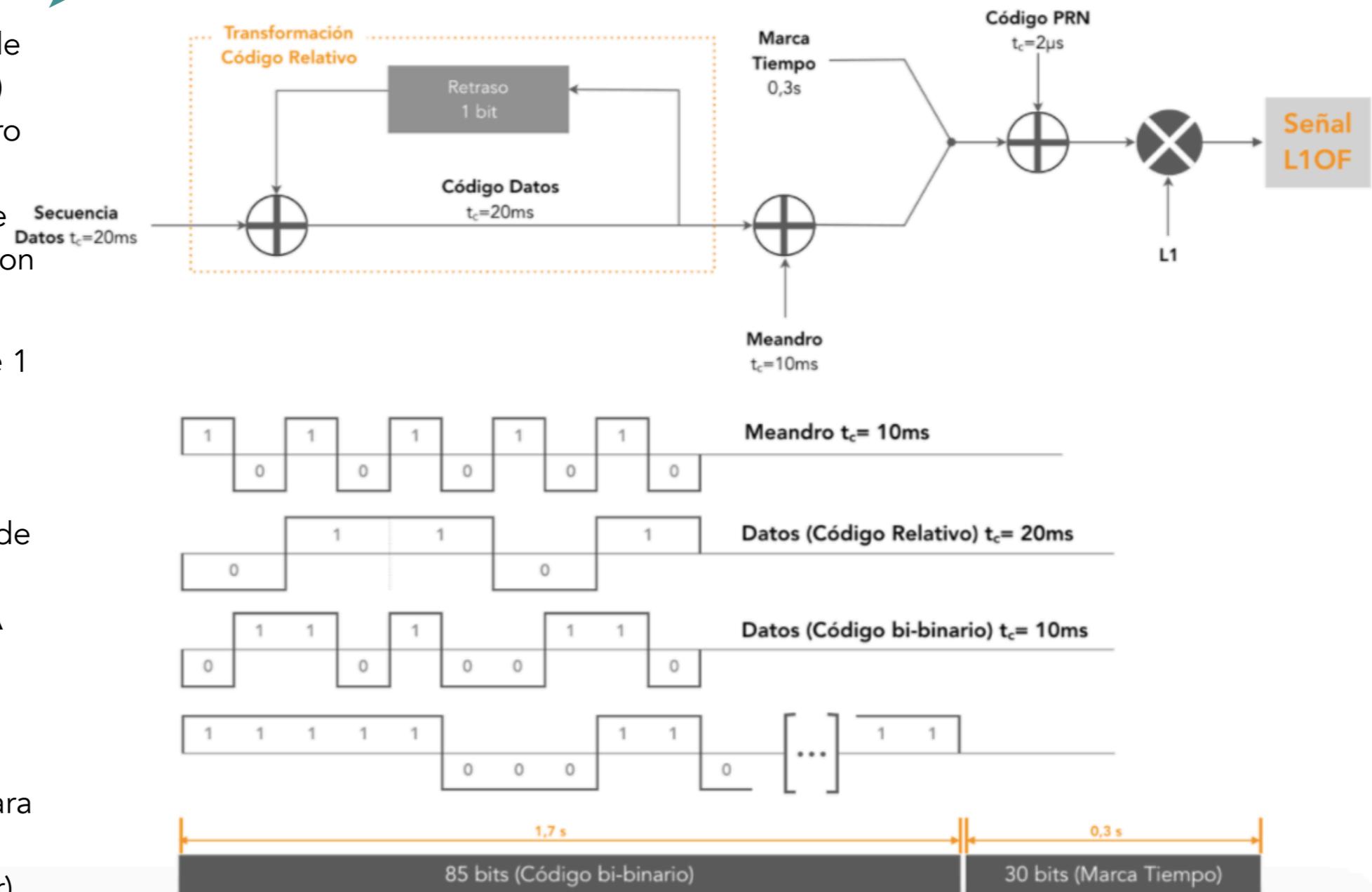
Señales en Banda L1

L1OF - L1SF - L1OC - L1SC - L1OCM

Inicialmente GLONASS únicamente contaba con señales FDMA en banda L1 y L2.

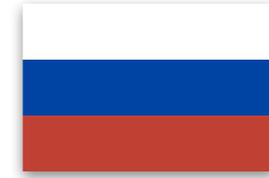
L1OF →

- Secuencia de datos de 50bps (Open Service)
- Uso de Señal Meandro auxiliar (100bps)
- Código PRN único de 500kbps, generado con $p(x)=1+x^5+x^9$
- Código de retraso de 1 bit que convierte código binario en bi-binario.
- Se añade una marca de tiempo (0,3s cada 2s)
- Multiplicación **CDMA**
- Modulación **BPSK**



L1SF

- Código más largo, para fines militares de alta precisión (sin publicar)



GLONASS

Señales en Banda L1

L1OF - L1SF - **L1OC** - **L1SC** - L1OCM

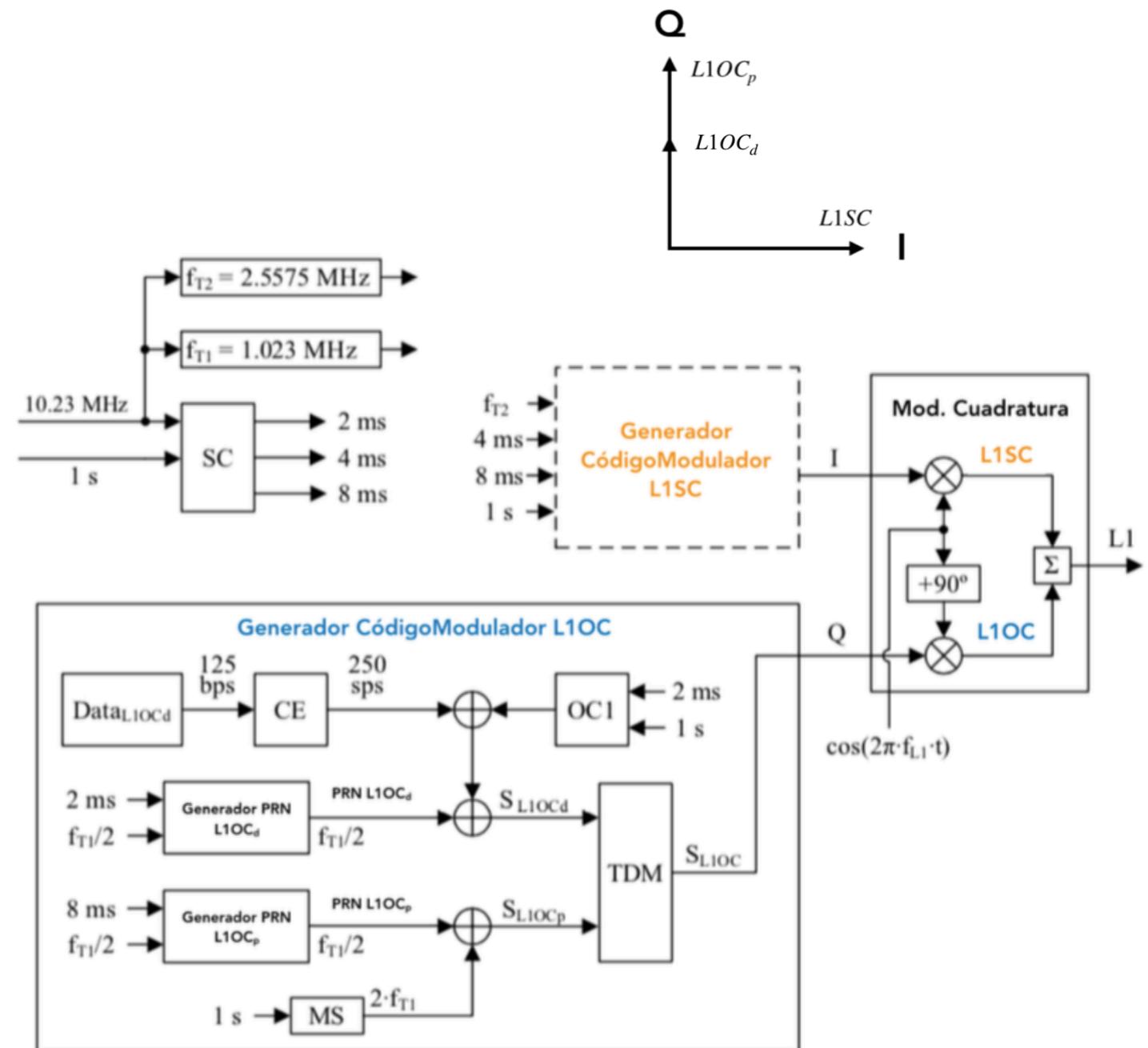
A partir del bloque de satélite GLONASS-K2, además de las señales FDMA originales se incluyen versiones CDMA.

L1OC →

- Cuenta con una **componente de datos (L1OC_d)** y otra de **piloto (L1OC_p)**.
- Ambas componentes se transmiten en **contrafase**, es decir, a 90°.
- El código PRN de **L1OC_d** es un código Gold.
- Al mensaje de navegación se aplica una codificación convolucional y de superposición. Se suma en XOR con el PRN.
- El código PRN de **L1OC_p** de es una secuencia Kasami troncada y sumada en XOR con el meandro auxiliar.
- Ambas componentes se multiplican en TDM.
- Modulación **QPSK**

L1SC

- Se trata de una señal de uso restringido, por lo que se desconoce cómo se genera este código.
- Se transmite en la componente en fase, a 90° de L1OC.





GLONASS

Señales en Banda L1

L1OF - L1SF - L1OC - L1SC - L1OCM

Se plantea como una señal modernizada, del bloque GLONASS-KM con fecha de previsión 2030. Muy similar a L1C (GPS) y E1 (Galileo/BeiDou)

- Utilizará CDMA y modulación BOC con un piloto y una componente de datos.

Señales en Banda L2

L2OF - L2SF - L2OC - L2SC

Homólogas a las señales de L1 pero con una frecuencia de portadora diferente:

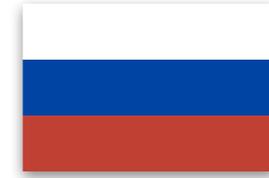
$$f_{2i} = 1.246\text{MHz} \pm k \cdot 437,5\text{KHz.}$$

Señales en Banda L3

L3OC - L3OCM

Homólogas a L1OCM pero en banda 3 con una frecuencia de portadora diferente:

$$f_{3i} = 1.201\text{MHz} \pm k \cdot 437,5\text{KHz.}$$



GLONASS

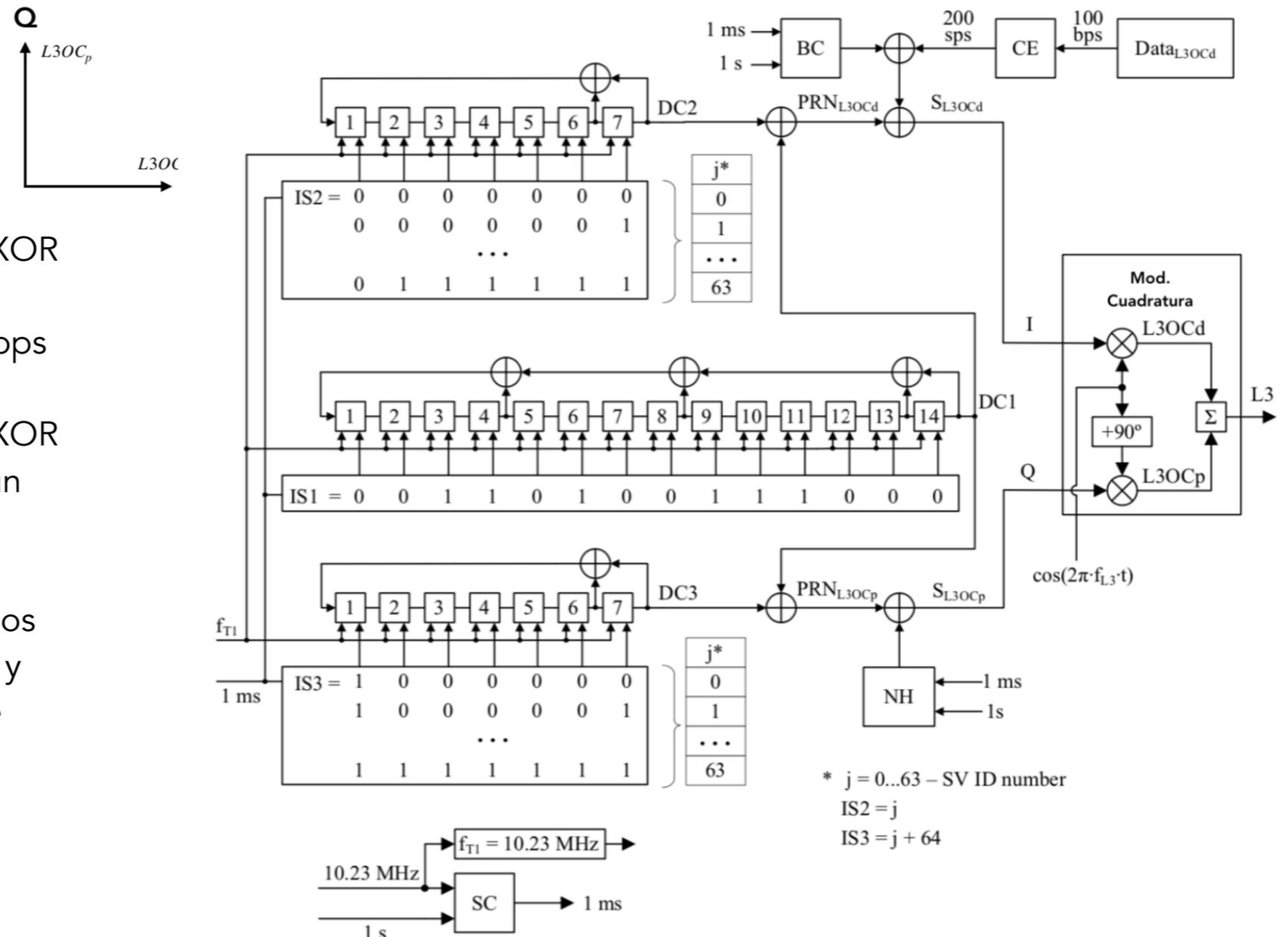
Señales en Banda L3

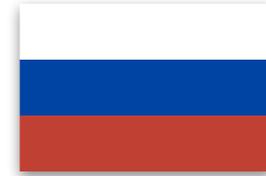
L3OC - L3OCM

A partir de 2014 se incluyó la posibilidad de emitir en banda L3 en los satélites GLONASS-M, como en los nuevos satélites del momento GLONASS-K1, para transmitir las primeras señales con naturaleza CDMA

L3OC

- Cuenta con una **componente de datos (L1OC_d)** y otra de **piloto (L1OC_p)**.
- Las componentes se transmiten en cuadratura. Es decir, desfasadas 90° entre sí.
- La secuencia de datos S_{L3OCp} es la suma XOR del flujo PRN piloto de 10,23Mbps y un código Newman-Huffman (NH) de 1.000bps (0000110101)
- La secuencia de datos S_{L3OCd} es la suma XOR del flujo PRN de datos de 10,23Mbps y un código Baker de 1kbps y un código convolucional de 200sps.
- Para generar ambos códigos se utilizan dos registros de desplazamiento inicializados y combinados (DC1+ DC2 y DC1+DC3) de manera que se generen 64 códigos diferentes.
- Se modulan con L3 en **QPSK**





GLONASS

Mensajes de Navegación

Mensaje Legacy (Precisión Estándar)

- Utilizado con las señales FDMA
- Organizado en **supertramas, tramas, y cadenas**
- 15 cadenas por trama
- 5 tramas por supertrama
- El mensaje completo tiene una duración de 2,5 minutos

Mensaje Legacy (Precisión Alta)

- Mensaje más largo, y contiene información más precisa.
- Consiste en una supertrama dividida en 72 tramas, cada una con 5 cadenas de 100 bits. Necesita 12 minutos para transmitirse completo.

Mensaje Modernizado L3OC

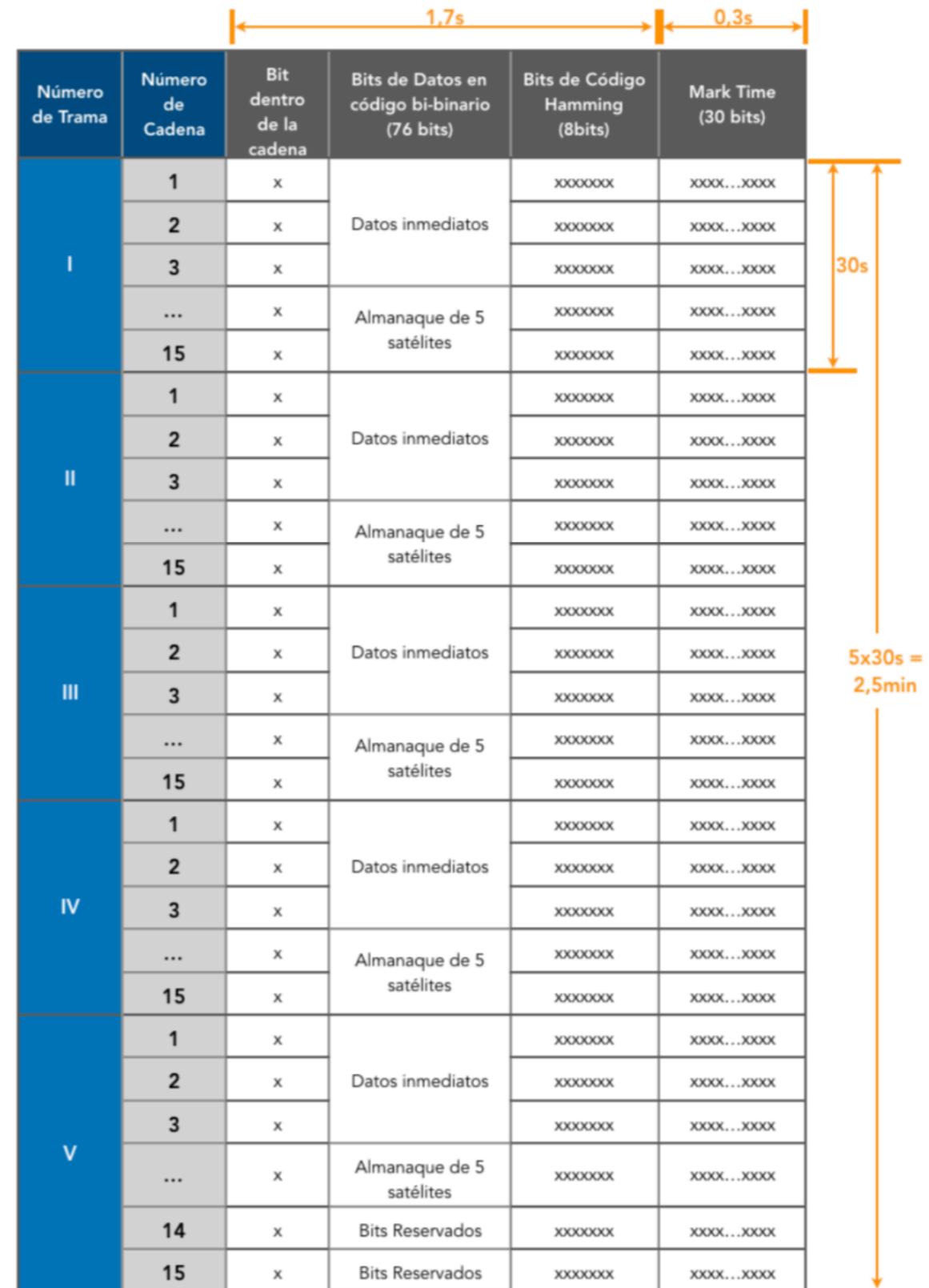
- Compuesto por cadenas de longitud específica, pero unidas de manera no predeterminada.
- Se transmite a 100bps, y consta de cadenas de 300 bits, y otras anómalas de 200 y 400 bits

Preámbulo 20 bits	Tipo 6 bits	TS 15 bits	j 6 bits	H _i 1 bit	l _i 1 bit	P1 4 bits	P2 1 bit	KP 2bits	A 1 bit	Datos Navegación 219 bits	CRC 24 bits
----------------------	----------------	---------------	-------------	-------------------------	-------------------------	--------------	-------------	-------------	------------	------------------------------	----------------

Mensaje Modernizado L1OC

- Se transmite a 125bps y consta de cadenas de 250bits (2s) y otras anómalas de 125 y 275 bits (1 y 3 s)

Preámbulo 12 bits	Tipo 6 bits	j 6 bits	H _i 1 bit	l _i 1 bit	P1 4 bits	P2 1 bit	KP 2bits	A 1 bit	TS 16 bits	Datos Navegación 184 bits	CRC 16 bits
----------------------	----------------	-------------	-------------------------	-------------------------	--------------	-------------	-------------	------------	---------------	------------------------------	----------------



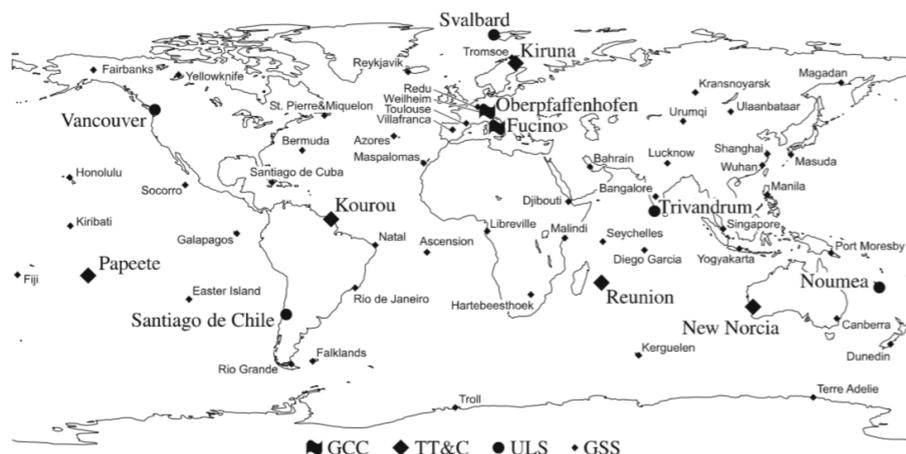


Galileo es el GNSS desarrollado por la Unión Europea en colaboración con la Agencia Espacial Europea. Se trata de un sistema de uso **civil**. En primer lugar se inicia el desarrollo de EGNOS, posteriormente se inicia una segunda etapa: Galileo, el desarrollo de un sistema propio de geolocalización de índole civil (Operativo en 2016). Probado y validado en un desarrollo de **lógica incremental**.

Segmento Espacial

Galileo tiene **26** satélites en órbita. Constelación activa consta de 27 satélites. El periodo orbital es de 14 horas y 22 minutos, dando a lugar 10 órbitas completas en 17 días.

- Satélites experimentales **GIOVE** (Galileo In-Orbit Validation Element)
- 4 satélites **IOV** (In Orbit Validation)
- Satélites **FOC** (Final Operation Capability).



Segmento de Control

- ➔ Ground Control Segment (GCS)
- ➔ Ground mission segment (GMS)

Segmento de Usuario

- ➔ Open Service (OS)
- ➔ Commercial Service (CS)
- ➔ Safety of Life (SOL)
- ➔ Public Regulated Service (PRS)
- ➔ Search and Rescue (SAR)



GALILEO

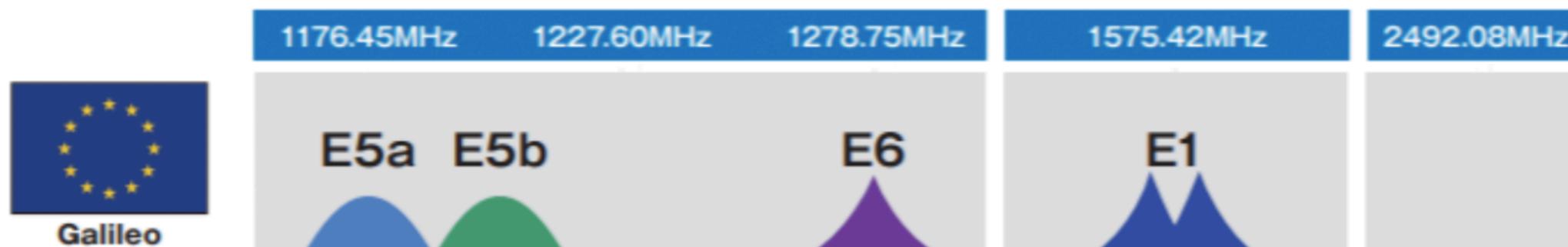
Servicios Galileo

- Open Service (OS)
- Commercial Service (CS)
- Safety of Life (SOL)
- Public Regulated Service (PRS)
- Search and Rescue (SAR)



Banda	OS	CS	SO	PR	SA
E1	X	X	X	X	
E5	X	X		X	
E6		X		X	
L6					X

Tipo	Servicios	Componente
F/NAV	OS	E5a1
I/NAV	OS/CS	E5b1 y E1B
C/NAV	OS	E6B





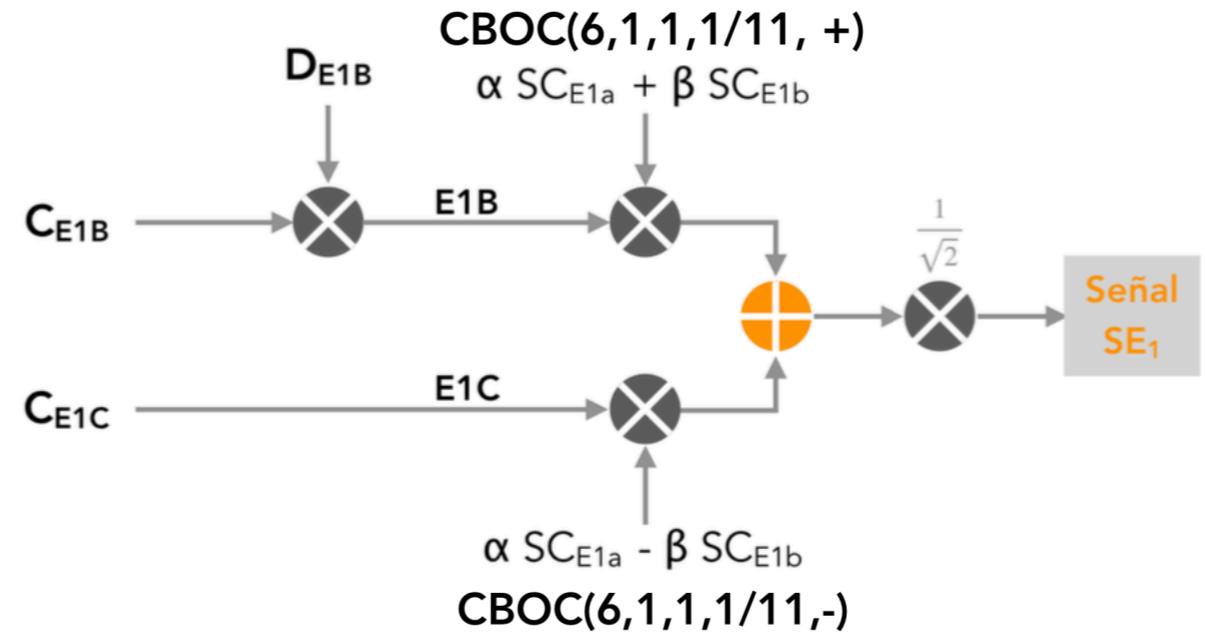
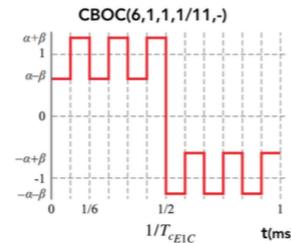
Señales en Banda E1

E1B - E1C - E1A

E1 transmite los servicios **OS**, **CS**, **SOL** y **PRS**. E1B y E1C son las componentes del servicio abierto OS.

E1B

- Componente de datos, modula el mensaje de nav.
- Únicamente tiene un código primario de 4.092chips.
- Uso de **CBOC(6,1,1,1/11,-)**
 - ▶ $f_{sc}=6 \times 1,023\text{MHz}$
- Ventajas sobre BPSK:
 - Mayor BW →
 - ▶ + Robustez -Sensibilidad
 - ▶ Mayor Flexibilidad

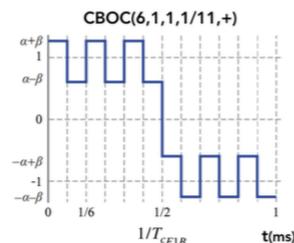


E1C

- Utiliza un código primario y otro secundario
→ Tiered Code (25x4.092=102.300chips)



- Utiliza **CBOC(6,1,1,1/11, +)**



$$SE_1(t) = \frac{1}{\sqrt{2}} [e_{E1B}(t)(\alpha SC_{E1a}(t) + \beta SC_{E1b}(t)) - e_{E1C}(t)(\alpha SC_{E1a}(t) - \beta SC_{E1b}(t))]$$

$$e_{E1B}(t) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} C_{E1B} |i|_{L_{E1B}} D_{E1B}[i]_{DC_{E1B}} \prod (R_{c_{E1B}} t - i)$$

$$e_{E1C}(t) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} C_{E1C} |i|_{L_{E1C}} \prod (R_{c_{E1C}} t - i)$$

Componente	Tipo Subportadora	Longitud Código L_{E1x}	Tasa de Chip (Mchip/s) $R_{CF_{xx}}$	Tasa Símbolos $R_{SF_{xx}}$ (símb/s)	Frecuencia Subportadora SC_{E1xx}
E1B	CBOC (Fase)	4.092 chips	1,023 Mchips/s	250 símbolos/s	1,023 Mchips/s
E1C	CBOC (Cuadratura)	102.300 chips		Sin datos (piloto)	1,023 Mchips/s



Señales en Banda E1

E1B - E1C - E1A

E1 transmite los servicios **OS**, **CS**, **SOL** y **PRS**. E1A transmite la componente cifrada, solo para usuarios autorizados.

La componente de **E1A** Se transmite en cuadratura con el resto de señales de E1:

$$SE_1(t) = \frac{1}{\sqrt{2}} [e_{E1B}(t)(\alpha SC_{E1a}(t) + \beta SC_{E1b}(t)) - e_{E1C}(t)(\alpha SC_{E1a}(t) - \beta SC_{E1b}(t))] + \underline{j\gamma e_{E1A}(t) SC_{E1c}(t)}$$

- ▶ No se tienen detalles de $e_{E1A}(t)$, al tratarse de una componente no abierta.
- ▶ $SC_{E1c}(t)$ es una señal $BOC_{\cos}(15, 2'5)$
- ▶ $SE_1(t)$ No se trata de una señal de envolvente constante, por lo que es necesario introducir un producto de intermodulación $S_{IM}(t)$, que aunque consuma potencia (un 7% del total de la potencia transmitida), permita mantener la amplitud de la señal constante:

$$s_{IM}(t) = -\frac{1}{2\gamma} e_{E1B}(t) e_{E1C}(t) e_{E1A}(t) s_{c_{E1c}}(t) (\alpha^2 - \beta^2)$$

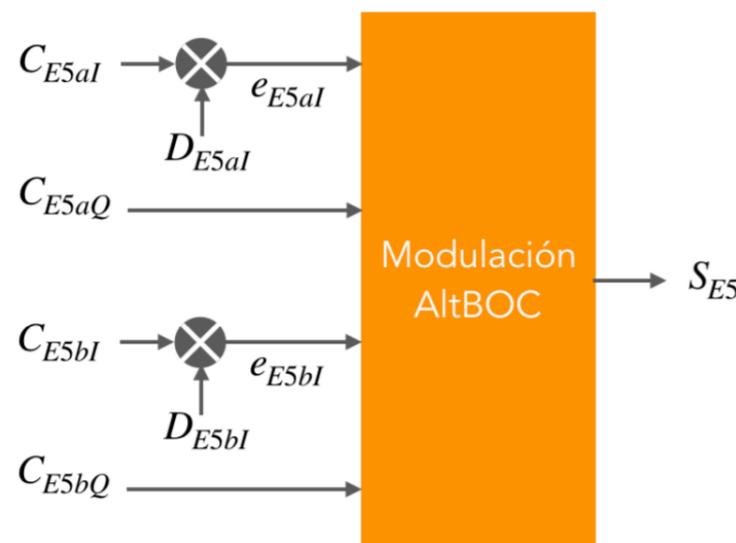
A este tipo de soluciones se llaman **CASM** o **Interplex**



Señales en Banda E5 E5a - E5b

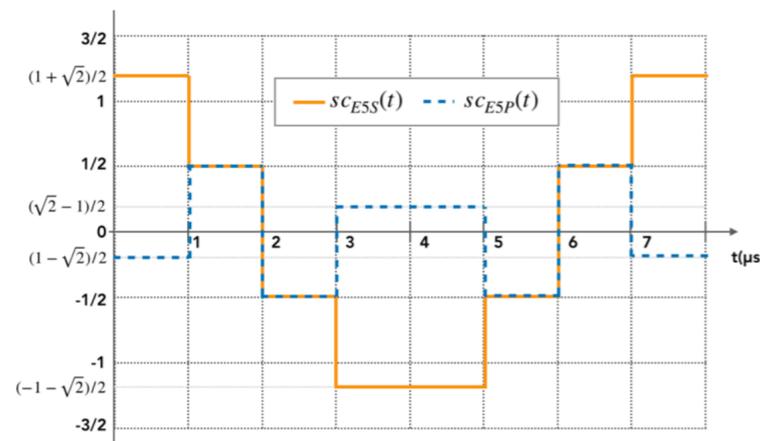
E5 es una banda muy ancha, por lo que a menudo se explota en dos subbandas más pequeñas, E5a y E5b de 20,46MHz cada una y con frecuencias centrales de 1.176,45 MHz y 1.207,14 MHz respectivamente.

Se transmiten 2 señales con 4 componentes (2 en fase y 2 en cuadratura), de manera podamos seleccionarlas todas si queremos atender toda la banda, o solo 2, en el caso de receptores más económicos y/o de menos potencia. Se modulan con **AltBOC**:



$$\begin{aligned}
 s_{E5}(t) = & \frac{1}{2\sqrt{2}} \underbrace{(e_{E5aI}(t) + je_{E5aQ(t)})}_{\text{Componente Señal}} \underbrace{[sc_{E5S}(t) - jsc_{E5S}(t - T_{SE5}/4)]}_{\text{Modulación a } SC_{E5X}} + \\
 & + \frac{1}{2\sqrt{2}} \underbrace{(e_{E5bI}(t) + je_{E5bQ(t)})}_{\text{Componente Señal}} \underbrace{[sc_{E5S}(t) + jsc_{E5S}(t - T_{SE5}/4)]}_{\text{Modulación a } SC_{E5X}} + \\
 & + \frac{1}{2\sqrt{2}} \underbrace{(\bar{e}_{E5aI}(t) + j\bar{e}_{E5aQ(t)})}_{\text{Componente Señal}} \underbrace{[sc_{E5P}(t) - jsc_{E5P}(t - T_{SE5}/4)]}_{\text{Modulación a } SC_{E5X}} + \\
 & + \frac{1}{2\sqrt{2}} \underbrace{(\bar{e}_{E5bI}(t) + j\bar{e}_{E5bQ(t)})}_{\text{Componente Señal}} \underbrace{[sc_{E5P}(t) + jsc_{E5P}(t - T_{SE5}/4)]}_{\text{Modulación a } SC_{E5X}}
 \end{aligned}$$

Los términos de modulación SC_{E5X} solo toman valores $\pm 1 \pm j$, por lo que podemos tomar esta modulación como una QPSK, desplazada en frecuencia a $\pm 15,345\text{MHz}$



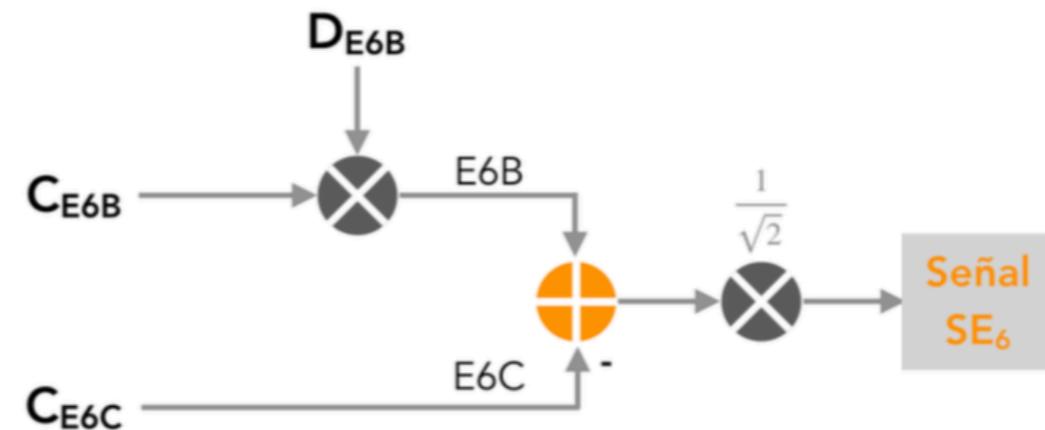
Componente Señal	Periodo Tiered Code (ms)	Logitud del Código (chips)	
		Primario	Secundario
E5aI	20	10.230	20
E5aQ	100		100
E5bI	4		4
E5bQ	100		100
E1B	4	4.092	-
E1C	100		25



Señales en Banda E6 E6

La señal E6 de Galileo transmite los servicios CS y PRS. Se transmiten en la banda que va desde 1.260 MHz a 1.300 MHz con una frecuencia central de 1.278,75MHz.

- ▶ Transmite dos componentes en fase:
 - **Componente E6B**, que datos, que un mensaje de navegación
 - **Componente E6C piloto**, que solo transmite un código PRN tiered (primario + secundario)
 - Señal similar a E1, pero en lugar de utilizar portadoras binarias y modular en BOC, utiliza **BPSK**
 - Al no tratarse de una señal abierta, no se ha publicado más información sobre esta señal.



$$e_{E6}(t) = \frac{1}{\sqrt{2}} [e_{E6B}(t) - e_{E6C}(t)]$$

$$e_{E6B}(t) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} C_{E6B} |i|_{L_{E6B}} D_{E1B}[i]_{DC_{E6B}} \prod (R_{CE6B} t - i)$$

$$e_{E6C}(t) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} C_{E6C} |i|_{L_{E6C}} \prod (R_{CE6C} t - i)$$

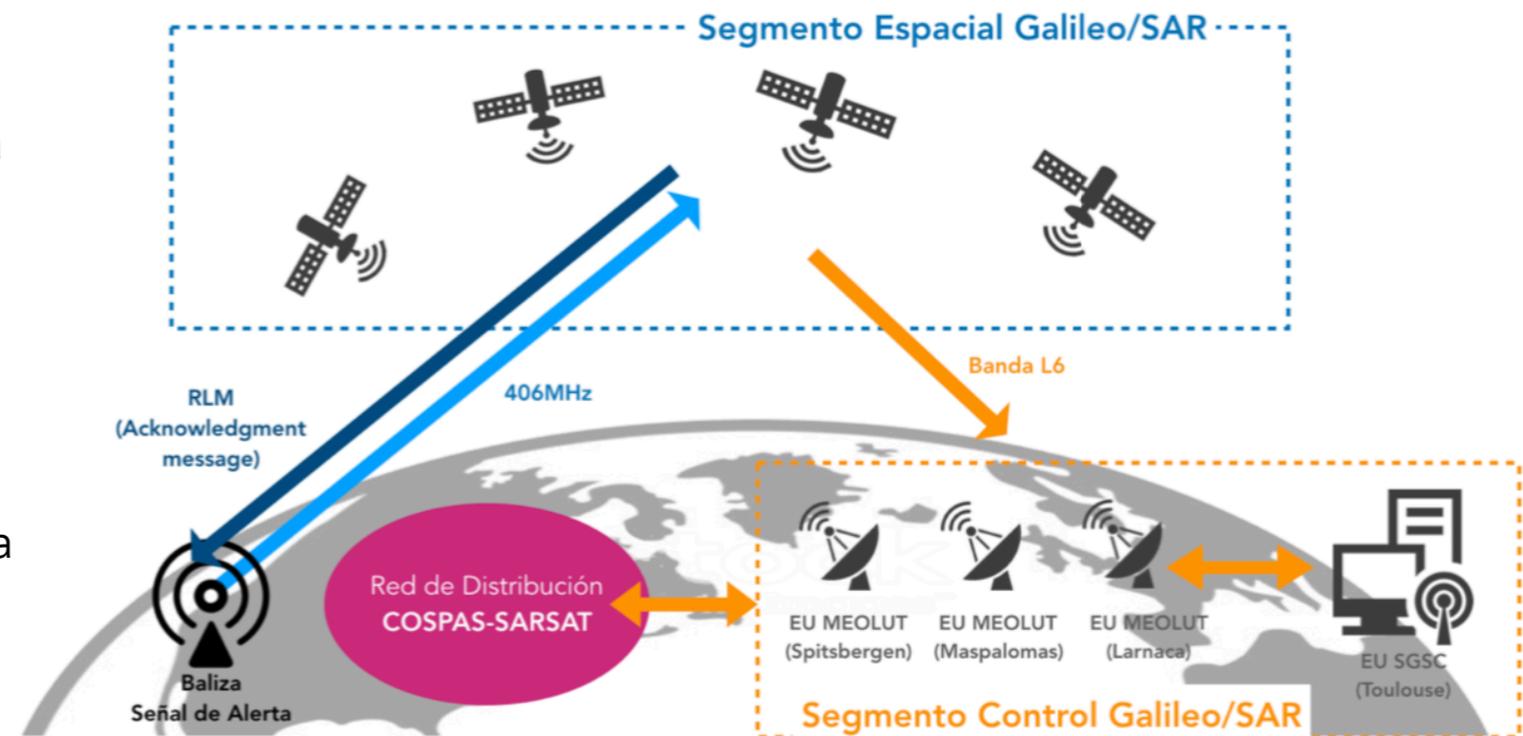
Componente	Tasa de Chip R_{CE6X} (MChip/s)	Tasa de símbolo R_{SE6X} (símb/s)
B	5,115	1.000
C	5,115	Sin datos (Piloto)



Señales en Banda L6 Servicio SAR

Servicio de búsqueda y rescate, enmarcado dentro de la iniciativa COSPAS-SARSAT

1. Transpondedor SAR detecta alerta de socorro de baliza COSPAS-SARSAT (banda 406-406,1MHz)
2. Satélite transmite a Centro de Control de Misión (MCC) en banda L6.
3. El MCC localiza la baliza.
4. Los satélites envían una RLM (Acknowledgment Message) a la baliza, para informar de que se ha recibido su alarma.



Tipos de gestión de RLM

1. **RLM (Return Link Message):** el sistema Galileo es el único responsable de la respuesta de retorno una vez la señal de alerta es detectada y localizada.
2. **RCC RLM:** el sistema Galileo envía el RLM a la baliza emisora una vez que tiene la autorización del Centro de Coordinación de Rescate (RCC).

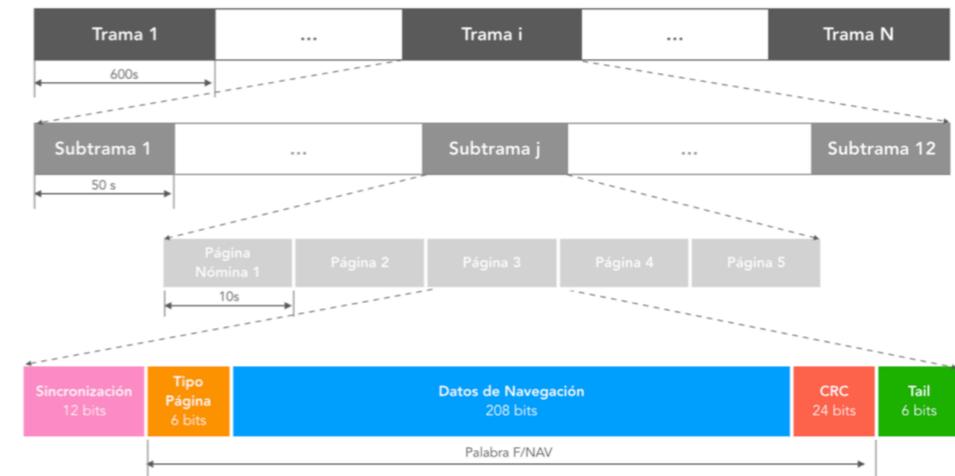
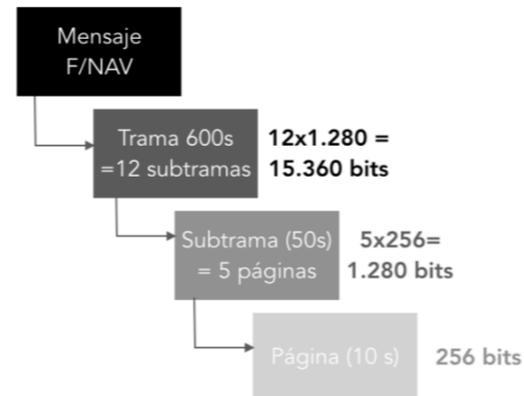
SAR/Galileo	
Capacidad	Cada satélite puede gestionar señales de 150 balizas activas simultáneamente.
Latencia (desde que se activa baliza hasta la determinación de su ubicación)	La comunicación de las balizas a las estaciones terrestres del SAR permitirá la detección y ubicación de una transmisión de socorro en menos de 10 minutos.
Calidad de Servicio	Bit Error Rate <math>< 10^{-5}</math> (Comunicación Baliza a Central Terrestre)
Tasa de datos de asentimiento (ACK)	6 mensajes de 100 bits por minuto
Disponibilidad	> 99.8%



GALILEO

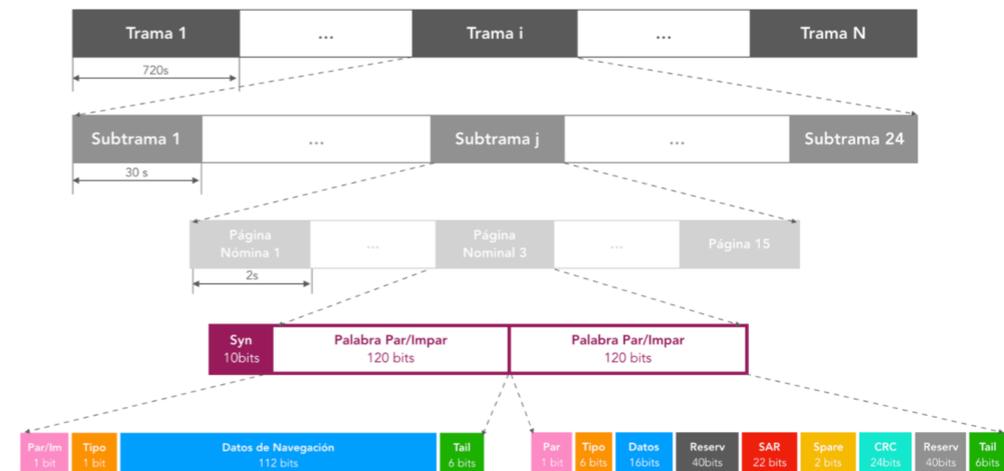
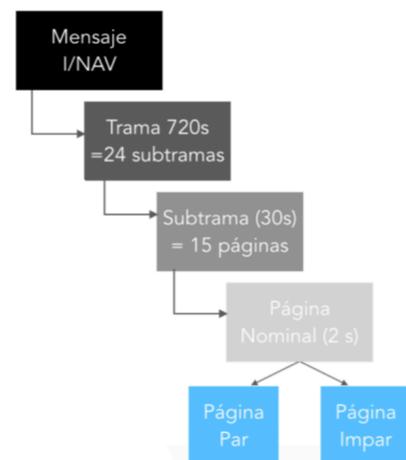
Mensajes de Navegación

F/NAV



I/NAV

Integridad



C/NAV Comercial (sin info)

G/NAV Gubernamental (sin info)

Tipo Mensaje	F/NAV	I/NAV	C/NAV	G/NAV
Servicio Galileo	OS	OS/CS/SoL	CS	PRS
Señales	E5a1	E1B/E5b1	E6B	E1A/E6A
Tasa Datos (bps)	25	125	500	50



BEIDOU

BeiDou es el sistema GNSS que la República Popular de China ha desarrollado durante las últimas décadas y que se encuentra en su fase final de lanzamiento, previsto para **2020**. EL despliegue se ha dividido en tres fases:

- BeiDou-1 (2001).
- BeiDou-2 o Compass (2011)
- BeiDou-3 o BDS-3 (previsto 2020).

Segmento Espacial

- ➔ **BeiDou-1:** Posicionamiento ámbito regional, con sus satélites en órbita geoestacionaria.
 - 2001 BD 1A y BD 1B
 - 2003 BD 1C
 - 2004 Al público civil chino
 - 2007 BD 1D (Fallido)
- ➔ **BeiDou-2 o Compass:** Territorio Asia-Pacífico. Combina satélites de órbita geoestacionaria (GEO) con satélites tanto de órbita media (MEO) como satélites de órbita inclinada geosincronizada (IGSO).
- ➔ **BeiDou-3 o BDS-3:** 2020 BeiDou alcanzará la cobertura global. Actualmente consta de GEO, 3 IGSO y 24 MEO.

Segmento de Control

- ➔ Monitor Stations (MS)
- ➔ Time Synchronization/Upload Stations (TS/US)
- ➔ Master Control Station (MCS)

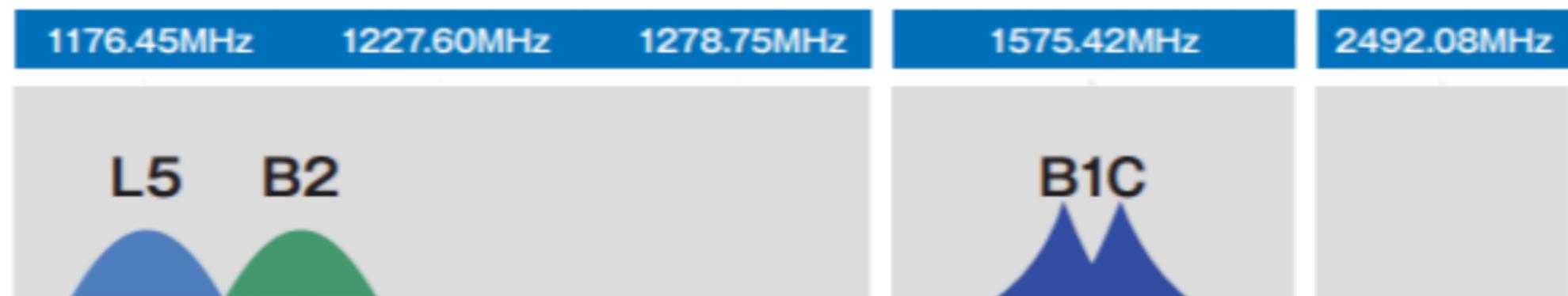
Segmento de Usuario

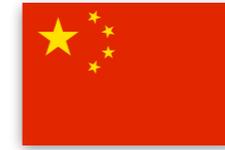
- ▶ Diferencia resto GNSS: capacidad del terminal de responder al segmento de control a través de los satélites (mensajería corta)
- ▶ Primeros terminales costosos (requerían emitir hacia los satélites)
- ▶ Altamente implantado en China





BEIDOU





Señales en Banda B1

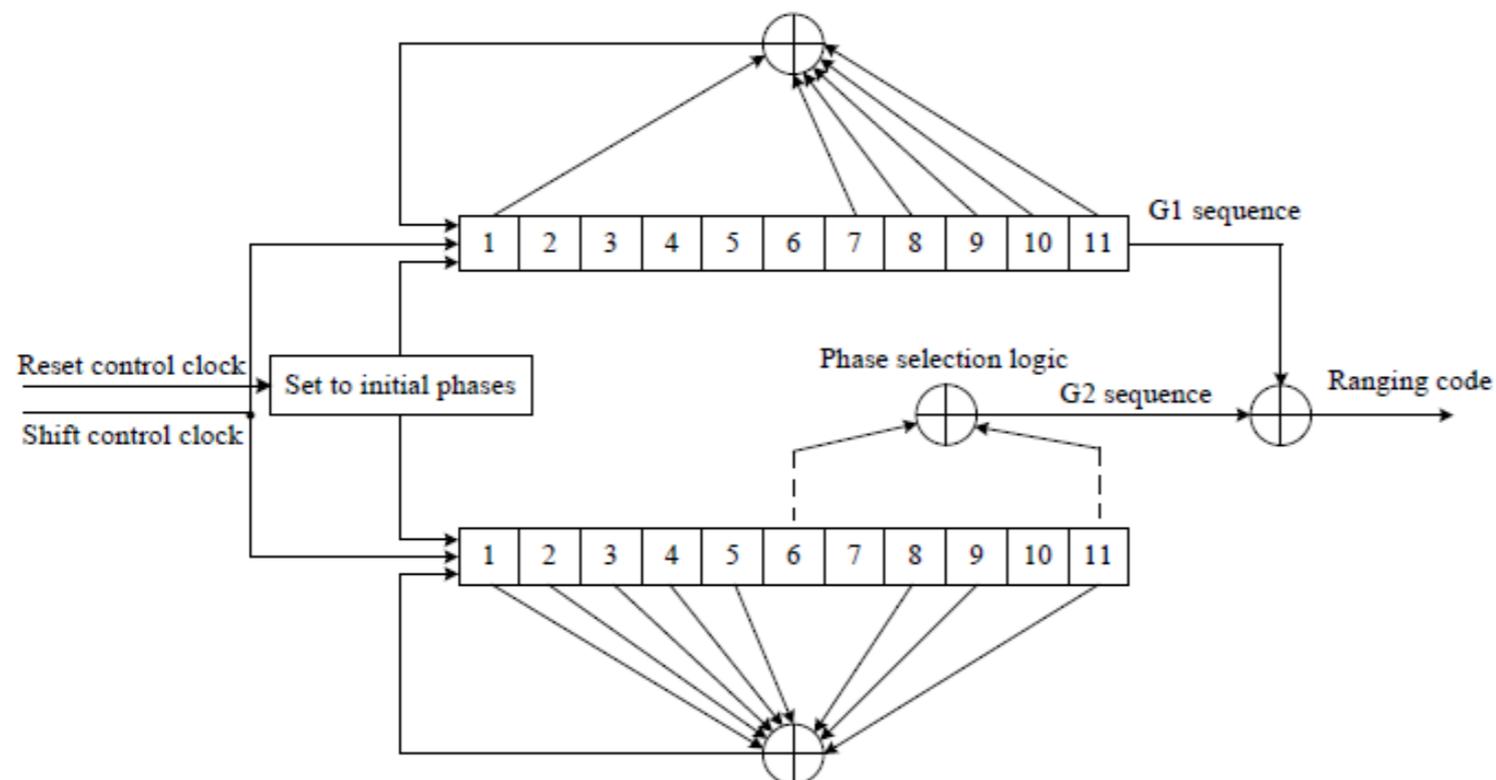
Señal B1I

Equivalente a las señales legacy de GPS (C/A y P(Y))

Código PRN $C_{B1I}(t)$ que modula el mensaje de navegación $D_{B1I}(t)$ y en **BPSK** la portadora B1

$$s_{B1I}^j(t) = A_{B1I} C_{B1I}^j(t) D_{B1I}^j(t) \cos(2\pi f_1 t + \phi_{B1I}^j)$$

PRN: código Gold generado mediante dos LFSR de 11 bits



BW = 4,092 MHz
PRN = 2,046 Mcps



Señales en Banda B1

Señal B1C

Tiene dos componentes en fase:

- Componente de datos $S_{B1C_{data}}(t)$
- Componente piloto $S_{B1C_{pilot}}(t) \rightarrow$ Modulación **QMBOC**, combinando dos señales BOC ($S_{B1C_{pilot-a}}(t)$ y $S_{B1C_{pilot-b}}(t)$)
- Mejora la correlación y robustez

Modulación BOC

$$\begin{aligned}
 S_{B1C}(t) = & \frac{1}{2} \underbrace{D_{B1C_{data}}(t) C_{B1C_{data}}(t) \cdot \text{signo}(\sin(2\pi f_{scB1C_a} t))}_{S_{B1C_{data}}(t)} + \\
 & + \underbrace{\sqrt{\frac{1}{11}} C_{B1C_{pilot}}(t) \cdot \text{signo}(\sin(2\pi f_{scB1C_b} t))}_{S_{B1C_{pilot_b}}(t)} + \\
 & + j \underbrace{\sqrt{\frac{29}{44}} C_{B1C_{pilot}}(t) \cdot \text{signo}(\sin(2\pi f_{scB1C_a} t))}_{S_{B1C_{pilot_a}}(t)}
 \end{aligned}$$

PRN_{data}: código primario Weil

PRN_{piloto}: tiered code, primario Weil + secundario Weil

Componente	Modulación		Fase	Ratio Potencia
$S_{B1C_{data}}(t)$	BOC (1,1)		I	1/4
$S_{B1C_{pilot_a}}(t)$	QMBOC (6,1,4/33)	BOC (1,1)	Q	29/44
$S_{B1C_{pilot_b}}(t)$		BOC(6,1)	I	1/11



Señales en Banda B2

Señal B2a

Tiene dos componentes, transmitidas en cuadratura.

- Componente de datos $S_{B2a_{data}}(t)$ → Modula el mensaje de navegación
- Componente piloto $S_{B2a_{pilot}}(t)$ → Mejora la correlación y robustez y reduce el tiempo de adquisición
- Utiliza modulación BPSK para cada componente, por lo que en suma es una señal **QPSK**.

$$S_{B2a}(t) = S_{B2a_{data}}(t) + jS_{B2a_{pilot}}(t)$$

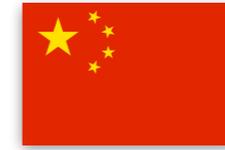
$$S_{B2a_{data}}(t) = \frac{1}{\sqrt{2}} D_{B2a_{data}}(t) C_{B2a_{data}}(t)$$

$$S_{B2a_{pilot}}(t) = \frac{1}{\sqrt{2}} C_{B2a_{pilot}}(t)$$

PRN_{data}: *tiered code*, primario Gold + secundario fijo

PRN_{piloto}: *tiered code*, primario Gold + secundario Weil

Señal	Componente	Frecuencia Portadora (MHz)	Modulación	Tasa Símb (simb/s)
B2a	$S_{B2a_{data}}(t)$	1.176,45	BPSK (10)	1/4
	$S_{B2a_{pilot}}(t)$		BPSK (10)	-



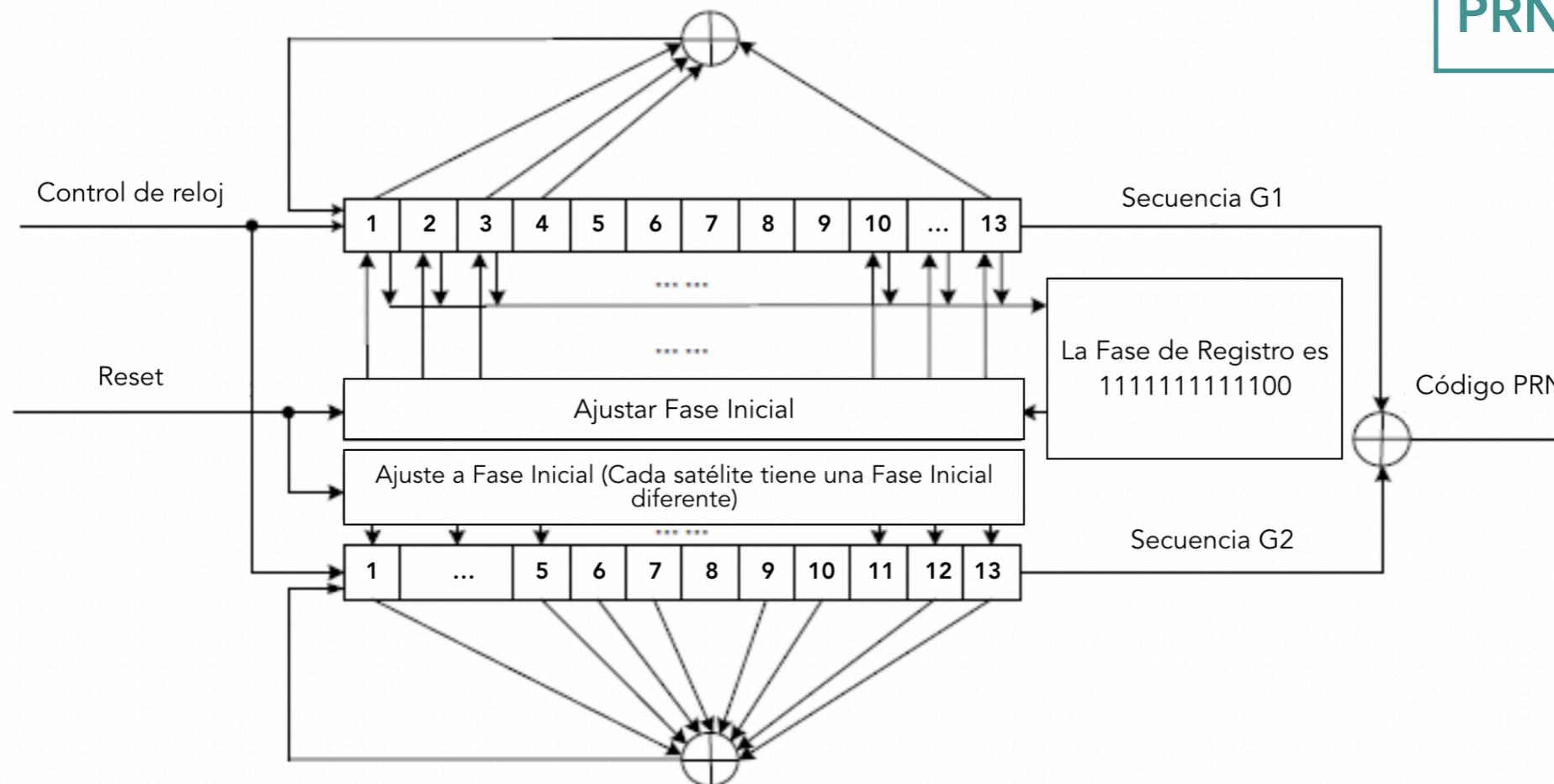
Señales en Banda B3

Señal B3I Código PRN $C_{B3I}(t)$ que modula el mensaje de navegación $D_{B3I}(t)$ y en **BPSK** la portadora B3

$$s_{B3I}^j(t) = A_{B3I} C_{B3I}^j(t) D_{B3I}^j(t) \cos(2\pi f_3 t + \phi_{B3I}^j)$$

PRN: código Gold generado mediante dos LFSR de 13 bits

BW = 20,46 MHz
PRN = 10,23 Mcps



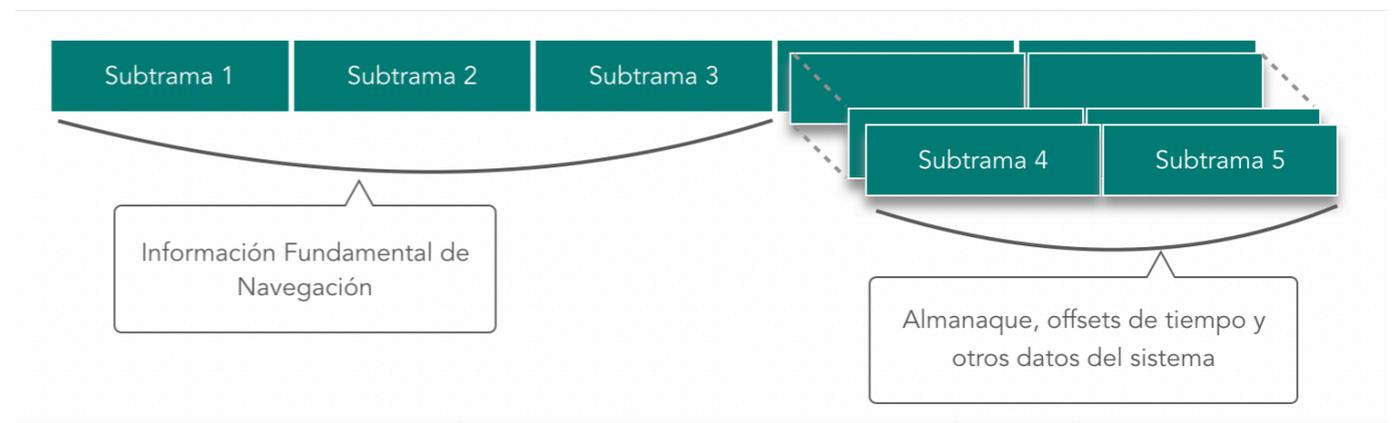


BEIDOU

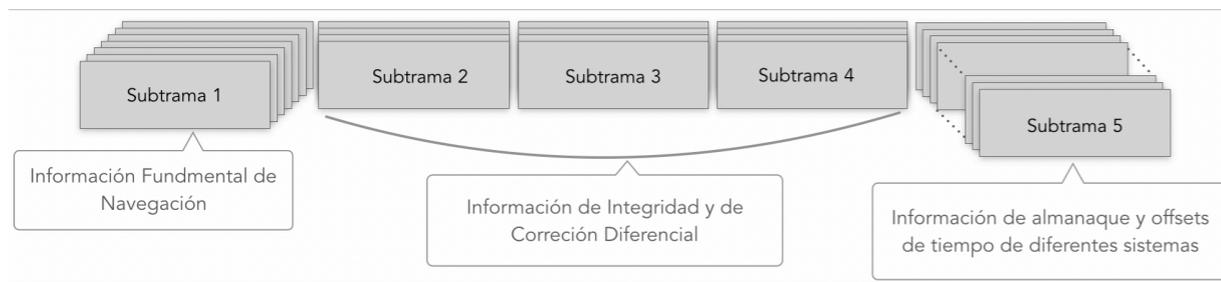
Mensajes de Navegación

D1 (B1I, B3I)

- Organizado en **supertramas**, **tramas**, **subtramas** y **palabras**
- 10 palabras por subtrama
- 5 subtramas por trama:
 - Subt1-3: info fundamental de sat.
 - Subt 4 y 5: almanaque y offsets. Se distribuyen en la supertrama completa
- 24 tramas por supertrama → 36.000 bits → 12min



D2 (B1I, B3I)



- Organizado en **supertramas**, **tramas**, **subtramas** y **palabras**
- 10 palabras por subtrama
- 5 subtramas por trama, se distribuyen en la supertrama completa:
 - Subt1: info fundamental de sat.
 - Subt2-4: corrección e integridad
 - Subt 4 y 5: almanaque y offsets.
- 120 tramas por supertrama → 180.000 bits → 6 seg.

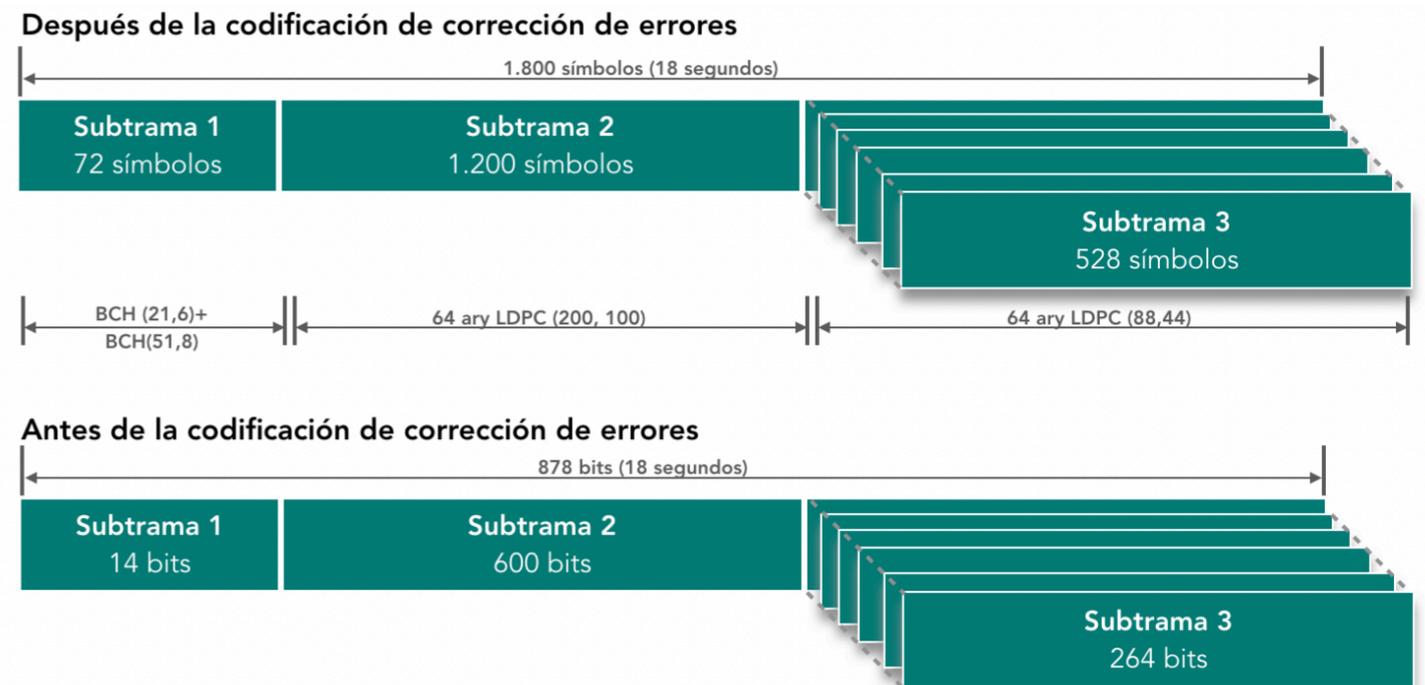


BEIDOU

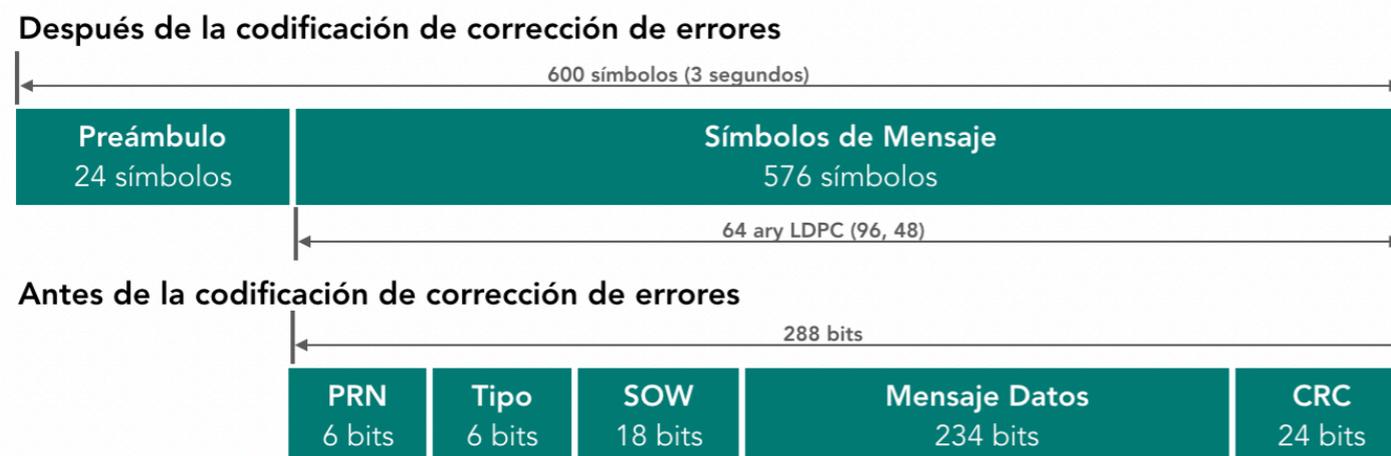
Mensajes de Navegación

B-CNAV1 (B1C)

- Organizado únicamente en **trama y subtramas**
- 3 subtramas por trama:
 - Subt1: PRN + SOH * BCH
 - Subt 2: efemérides, clock, corrección para sat. * LPDC
 - Subt. 3: almanaque, modelo ionosférico, reloj relativo * LPDC. Distribuido entre páginas
- 63 tipos de páginas, 4 en uso



B-CNAV2 (B2a)

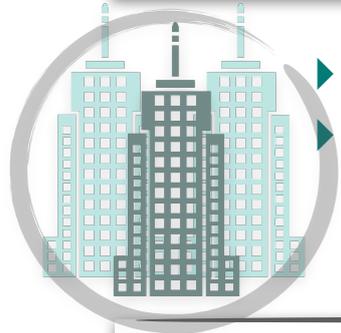


- Una única **trama**
- 600 bits : PRE + mensaje *LPDC:
 - PRN
 - MesType
 - SOW
 - Datos
- 63 tipos de mensaje de datos, 8 en uso

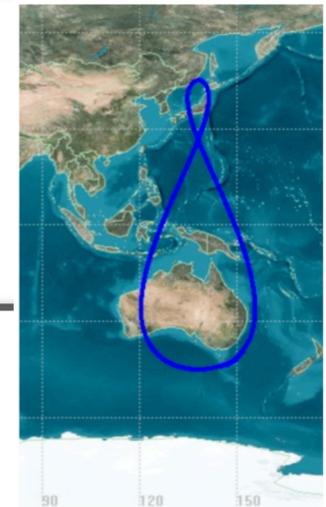


QNZSS

El **QZSS (Quasi-Zenith Satellite System)** o Sistema Satelital cuasi-zenital es el sistema de navegación regional japonés, que nace en 2002.



- ▶ Responde a la naturaleza de Japón y la verticalidad de la arquitectura.
- ▶ Una de sus ventajas es la gran similitud con el GPS, que permite combinar ambos sistemas y ofrecer una alta precisión. Las señales son similares a las de GPS y Galileo, y se encuentra en las bandas **L1, L2, L5 y L6**.



ZONA DE COBERTURA QZSS

SEGMENTO ESPACIAL

- ▶ Área de servicio este de Asia y Oceanía.
- ▶ **3 Satelites HEO** (Highly Elliptical Orbit) + **4° Satellite** en órbita geoestacionaria.
- ▶ Diseñado para que al menos uno de los satélites se encuentre cerca del zenit de Japón. Permaneciendo más de 12h/día con una elevación superior a los 70°.

SEGMENTO CONTROL

- ▶ Compuesto por una estación maestra de control (MCS), estaciones de control y seguimiento (TT&C), estaciones de medición láser y estaciones de monitorización.

SEGMENTO USUARIO

- ▶ Solo ofrece servicio en Japón.
- ▶ Los servicios que ofrece: Servicio de Posicionamiento, Navegación y Sincronización, Servicio de Aumentación al Metro, Servicio de Aumentación al Centímetro, Servicio de Avisos de Desastres y Crisis y Verificación de posicionamiento.



QNZSS

Estructura de Señal

Bandas de Frecuencia Portadoras

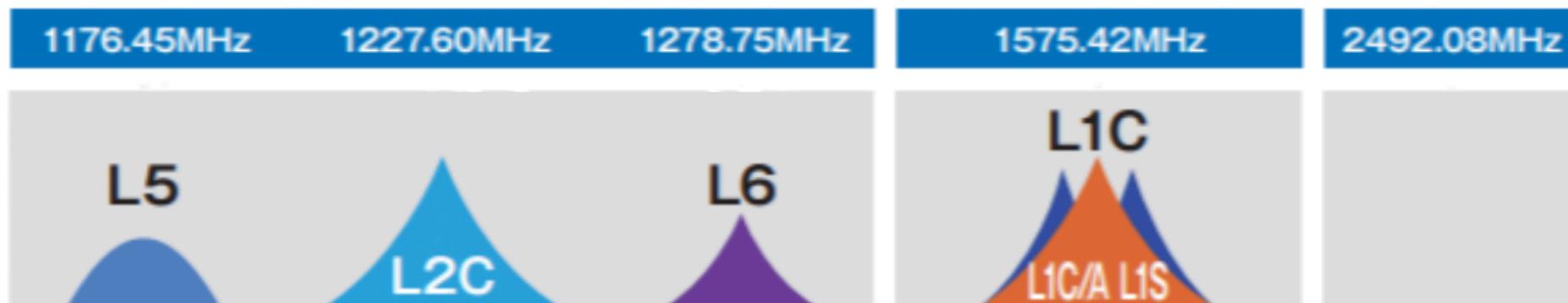
$$f_{L1} = 1.575,42MHz$$
$$f_{L2} = 1.227,6MHz$$
$$f_{L5} = 11.176,45MHz$$

Códigos de Rango PRN

- **L1** → C/A, L1C
- **L2** → L2CM y L2CL
- **L5** → L5I y L5Q

Mensajes de Navegación

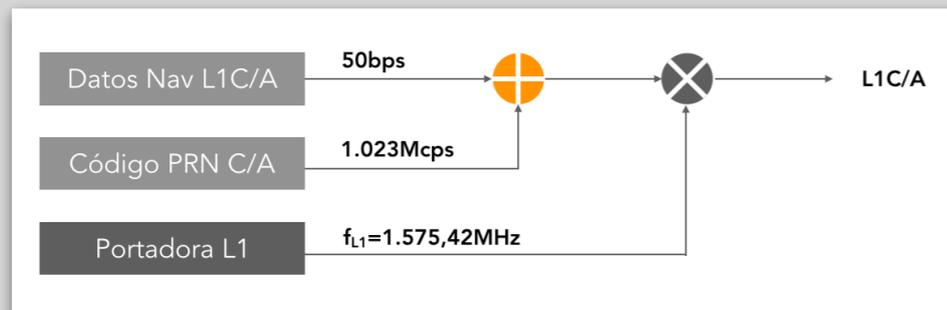
- **LNAV** (Legacy)
- **CNAV** y **CANV2**





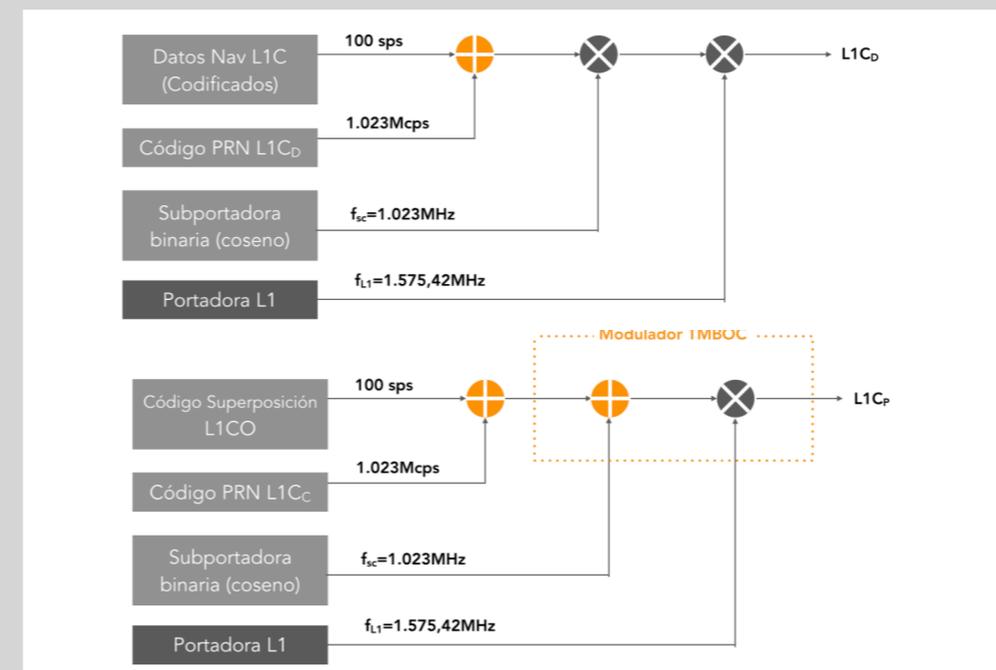
Señales en Banda L1

Equivalentes a las utilizadas en **GPS**, con la excepción, de qué, además de las señales en bandas **L1**, **L2** y **L5**, cuenta con dos señales en banda **E6**.



- Modulada en **BPSK**.
- Los datos de navegación se generan a 50bps y se modulan con un XOR (suma en módulo 2) con el código PRN identificador de cada satélite.
- El código es de tipo Gold.

Señal L1C/A



- Esta señal consta de dos componentes: **la señal de datos** y **la señal piloto**.
- La señal de datos contiene mensajes de navegación y está modulada utilizando BOC(1,1) con una portadora binaria.
- La señal piloto en lugar de los datos incluye una suma XOR por un código de superposición L1CO.

Señal L1C

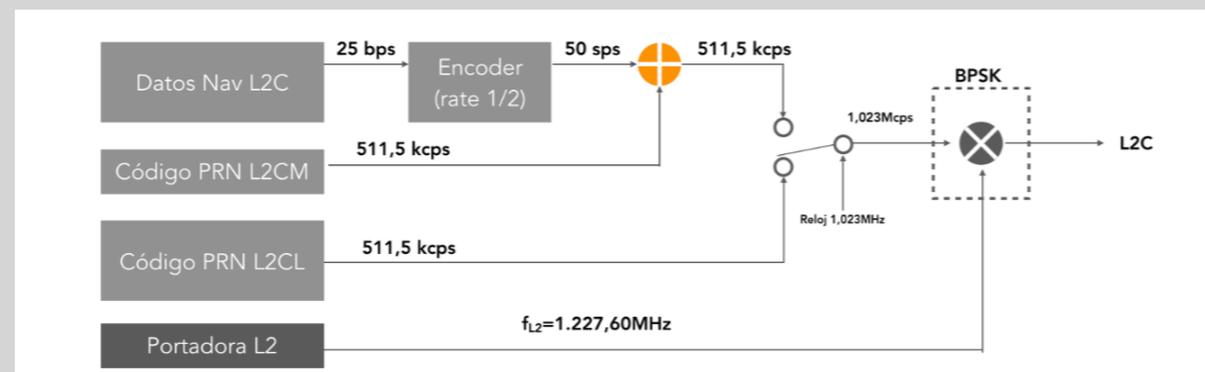




QNZSS

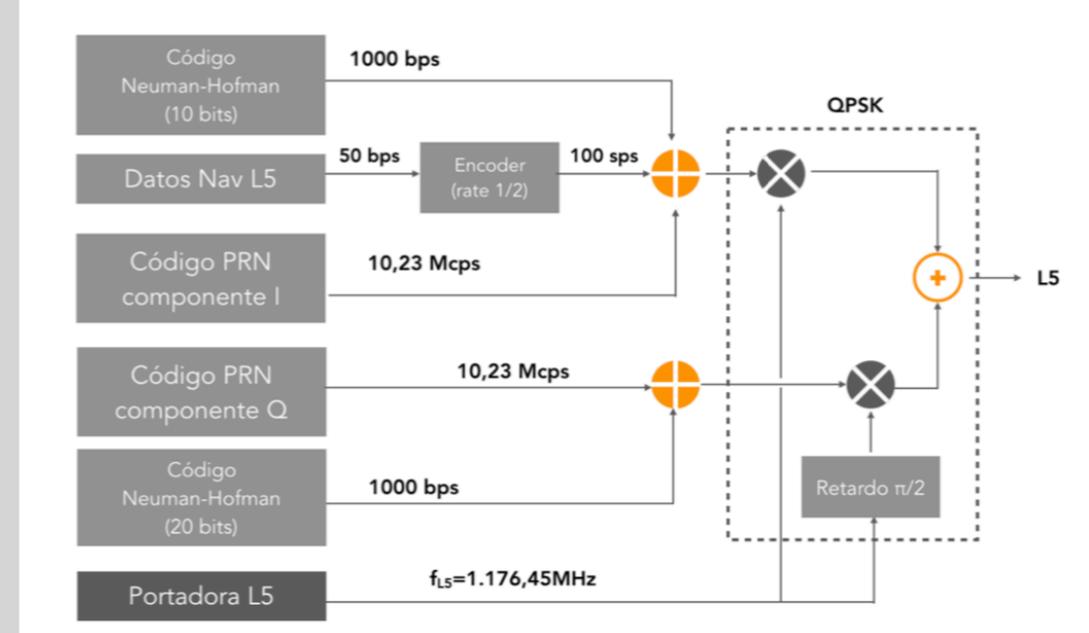
Señales en Banda L2 y L5

Equivalentes a las utilizadas en **GPS**, con la excepción, de qué, además de las señales en bandas **L1, L2 y L5**, cuenta con dos señales en banda **E6**.



- Idéntica a la señal L2C de GPS.
- Multiplexación en el tiempo (TDM) de los códigos largos y cortos de la señal L2.
- Multiplexan los datos
- La portadora modula en BPSK.

Señal L2CM + L2CL



- Idéntica a la señal L5 de GPS.
- Esta señal consta de dos componentes: **L5I y L5Q, ambas en fase y cuadratura (90°)**
- Cada componente se modula en BPSK, por lo que la suma es una señal QPSK.

Señal L5





IRNSS

El Sistema Regional de Navegación por Satélite de la India - **NavIC** (*Navigation Indian Constellation*) es un sistema independiente y autónomo desarrollado y operado por la Organización de Investigación Espacial de la India (ISRO), que cubre el ámbito regional.

- Área de servicio rectangular que además de cubrir el territorio indio, cubre 1.500 kilómetros alrededor del país.
- 2 niveles de servicios: **Posicionamiento a tiempo real estándar (SPS)**, abierto y de uso civil; y otro restrictivo y encriptado restringido a los usuarios autorizados, y también de uso militar.

Segmento de Control

- ➔ Centro de control de Naves Espaciales (SCC).
- ➔ Centro de navegación (INC)
- ➔ Estaciones de TT&C y de enlace ascendente (IRTTC).
- ➔ Estaciones de monitorización de rango e integridad (IRIMS)
- ➔ Centro de control de reloj (IRNWT)
- ➔ Estaciones de rango de CDMA (IRCDR)
- ➔ Estación de rango de láser (ILRS)
- ➔ Red de comunicación de datos (IRDCN)

Segmento Espacial

7 satélites en servicio actualmente

Bloque Satélites	IRNSS-1A	IRNSS-1B	IRNSS-1C	IRNSS-1D	IRNSS-1E	IRNSS-1F	IRNSS-1G	IRNSS-1H	IRNSS-1I
Estado	Fuera Servicio	En Servicio	En Servicio	En Servicio	En Servicio	En Servicio	En Servicio	Lanzamiento Fallido. La cofia no se separó y el satélite no llegó a la órbita deseada	En Servicio
Tipo Órbita	Geosíncrona	Geosíncrona	Geoestacionaria	Geosíncrona	Geosíncrona	Geoestacionaria	Geoestacionaria		Geosíncrona
Vida Útil	11 años	11 años	9,5 años	11 años	11 años	9,5 años	9,5 años		11 años
Fecha de Lanz	Jul 01, 2013	Abr 04, 2014	Oct 16, 2014	Mar 28, 2015	Ene 20, 2016	Mar 10, 2016	Abr 28, 2016	Ago 31, 2017	Abr 12, 2018

Segmento de Usuario

Diseñados para recibir las señales de este sistema, de frecuencia dual o de frecuencia única.

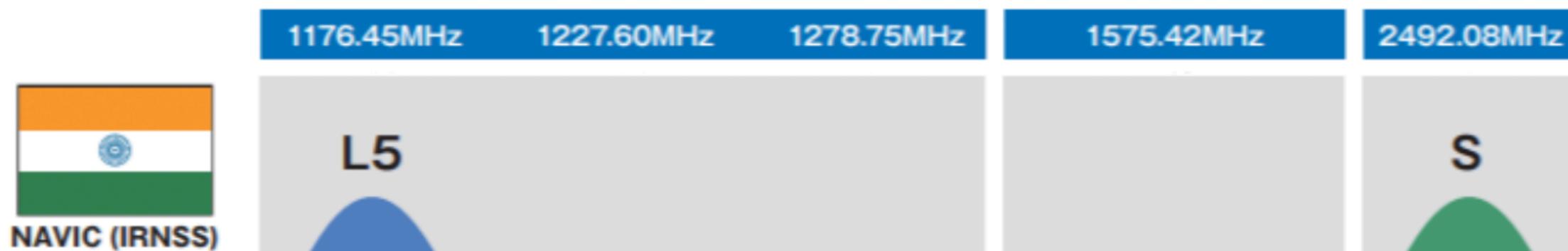
Los siete satélites del sistema IRNSS son rastreados continuamente por los receptores otorgando el servicio de navegación ininterrumpidamente. Además, están diseñados para recibir señales multi-constelación incluyendo GPS, GLONASS y Galileo.



IRNSS



Ofrece dos servicios: **PS** (*Standard Positioning Service*) y **RS** (*Restricted Service*)





Señales en Banda L5 y S

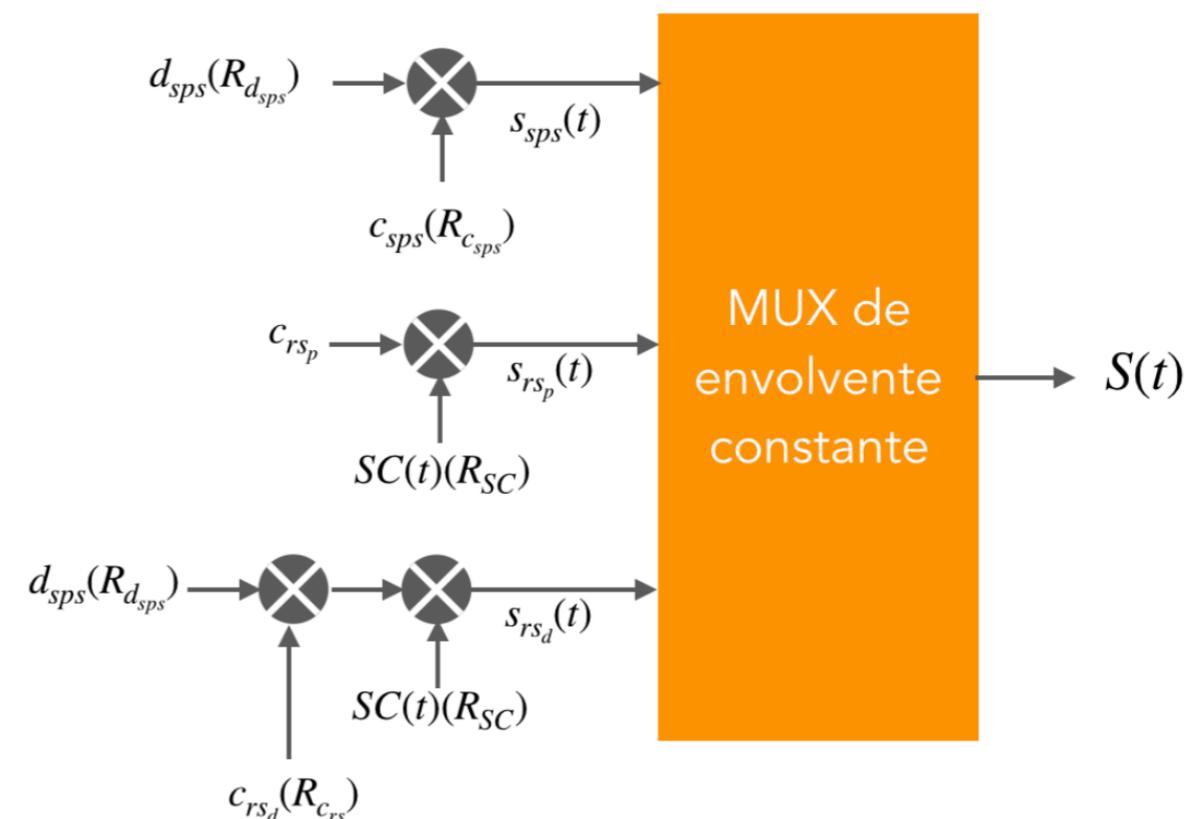
IRNSS transmite la misma señal tanto por la banda L5 como por la banda S, y dicha señal unifica tanto el servicio **SPS** como el **RS** separados mediante tres componentes distintas:

Componente de Datos SPS $\rightarrow s_{sps}(t)$

- Modulada en BPSK.
- Datos de navegación $\rightarrow 50\text{bps}$
- Código PRN 1.023chips

Componentes del Servicio Restringido (RS)

1. Una señal de datos $\rightarrow s_{srd}(t)$
 2. Una señal piloto $\rightarrow s_{srp}(t)$
 - Ambas moduladas con BOC(5,2)
- + Necesario añadir la señal $I(t)$ como producto de intermodulación, para mantener envolvente constante



Código PRN \rightarrow Códigos Gold generados con LFSR 11 bit

- **G1:** $X^{10} + X^3 + 1$
- **G2:** $X^{10} + X^9 + X^8 + X^6 + X^3 + X^2 + 1$

$$s(t) = \frac{1}{3}[\sqrt{2}(s_{sps}(t) + s_{rsp}(t)) + j(2s_{srd}(t) - I(t))]$$

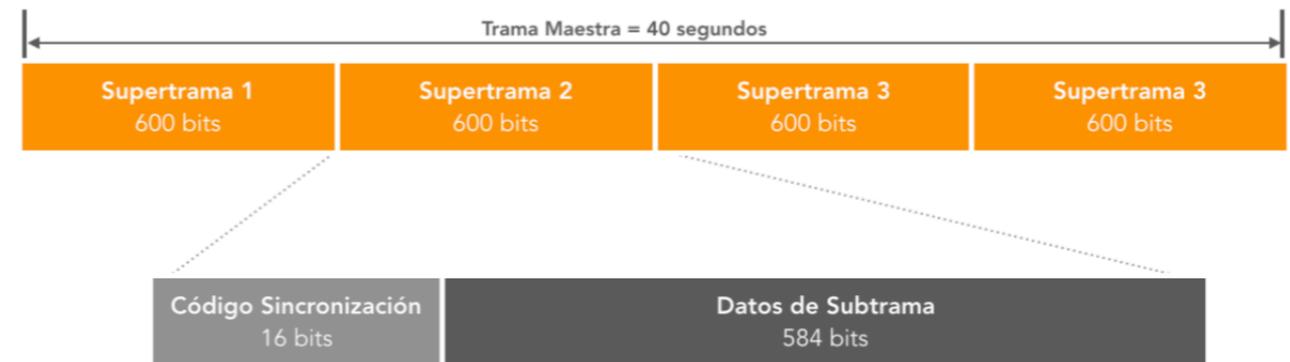


IRNSS

Mensaje de Navegación

Servicio SPS →

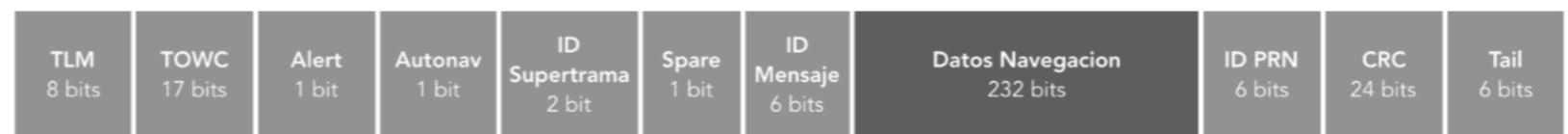
- ▶ Una trama maestra formada a su vez por **cuatro subtramas de 600 bits** cada una y transmitidas a una velocidad de 60 símbolos por segundo.



Tramas 1 y 2 →



Tramas 3 y 4 →



Servicio RS →

- ▶ Sin info publicada

Parámetros	ID Mensaje	Parámetros	ID Mensaje
Parámetros Ionosféricos	5	Mensaje de Texto	18
Almanaque	7	Parámetros de tiempo (GNSS)	26
Parámetros de tiempo (GPS)	9	Mensaje Nulo	0
Coefficientes EOP e Ionosféricos	11	Reservados para el futuro	1-4, 6, 8, 10, 12, 13, 15-17, 19-25, 27-63
Correcciones Diferenciales	14		

Conclusiones



1. Importancia de todos los países a GNSS



Entorno colaborativo: Sistemas multifrecuencia, multiconstelación y multiseñal mejoran las prestaciones

2. CDMA se impone sobre FDMA

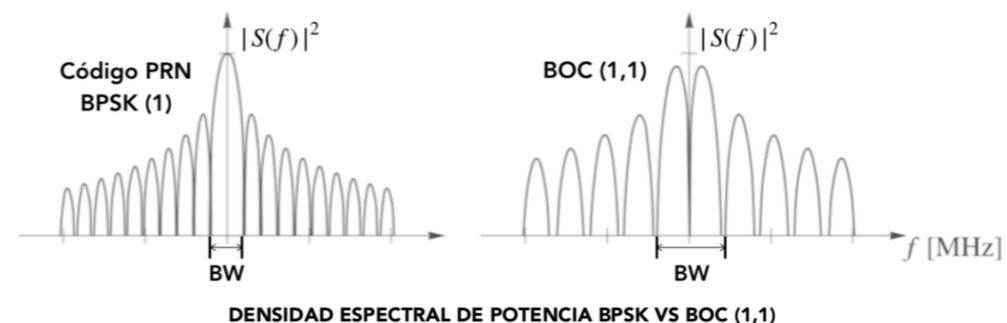
2.1. Ahorro espectro

2.2. Receptores más sencillos, computación más complicada

4. BOC se impone sobre BPSK

4.1. Robustex

4.2. Flexibilidad



5. Estudio de nuevas bandas, como L3, L5 o E6



¡Gracias!