

## **2.- La señal GPS.**

### **2.1.- La señal en el satélite**

### **2.2.- Componentes de la señal.**

#### **2.2.1.- El mensaje de navegación**

**2.2.1.1.-Palabra TLM (Telemetry Word)**

**2.2.1.2.-Palabra HOW (Handover Word)**

**2.2.1.3.-Subconjunto 1 Bloque I**

*(Datos del reloj del satélite y otros)*

**2.2.1.4.-Subconjunto 2 Bloque II**

*(Efemérides del satélite)*

**2.2.1.5.- Subconjunto 3 Bloque II**

*(Efemérides del satélite)*

**2.2.1.6.- Subconjunto 4 Bloque III**

*(En páginas 1, 6, 11, 16 y 21) Páginas reservadas*

**2.2.1.7.- Subconjunto 4 Bloque III**

*(En páginas 12, 19, 20, 22, 23 y 24) Páginas reservadas*

**2.2.1.8.- Subconjunto 4 Bloque III**

*(En página 13) NMCT*

**2.2.1.9.- Subconjunto 4 Bloque III**

*(En páginas 14 y 15) Páginas reservadas*

**2.2.1.10.-Subconjunto 4 Bloque III**

*(En página 17) Mensajes especiales*

**2.2.1.11.-Subconjunto 4 Bloque III**

*(En página 18) Datos ionosféricos y UTC*

**2.2.1.12.-Subconjunto 4 Bloque III**

*(En página 25) Configuración y estado de los satélites.*

**2.2.1.13.- Subconjunto 5 Bloque III**

*(En páginas 1 a 24) Almanaque para los satélites 1 a 24*

**2.2.1.14.-Subconjunto 5 Bloque III**

*(En página 25)*

#### **2.2.2.- Códigos C/A y P**

**2.2.2.1.- Funciones de los códigos C/A y P.**

**2.2.2.2.- Generación de los códigos**

## 2.- La señal GPS.

El satélite transmite dos portadoras: L1 y L2. L1 se denomina frecuencia primaria y L2 frecuencia secundaria. Estas portadoras se modulan con códigos de espectro extendido (C/A y P ó P(Y)) y el mensaje de navegación.

### 2.1.- La señal en el satélite

#### *Frecuencia de referencia.*

Las portadoras se obtienen a partir de una frecuencia de referencia  $f_0$  que proporciona el oscilador del satélite.

Frecuencia de referencia para un observador en la Tierra:

$$f_0 = 10.23 \text{ MHz.}$$

Frecuencia de referencia en el satélite sin disponibilidad selectiva

$$f_0 = 10.22999999453 \text{ MHz}$$

Al oscilador del satélite se le resta la cantidad de  $4.57 \times 10^{-3} \text{ Hz}$  para compensar los efectos relativísticos y conseguir el valor 10.23 MHz en la Tierra. En el caso de que la disponibilidad selectiva esté activada el valor  $f_0$  se modifica en una cantidad que determina el control de tierra. De los osciladores en el satélite uno de ellos proporciona la frecuencia de referencia.

#### *Portadora L1.*

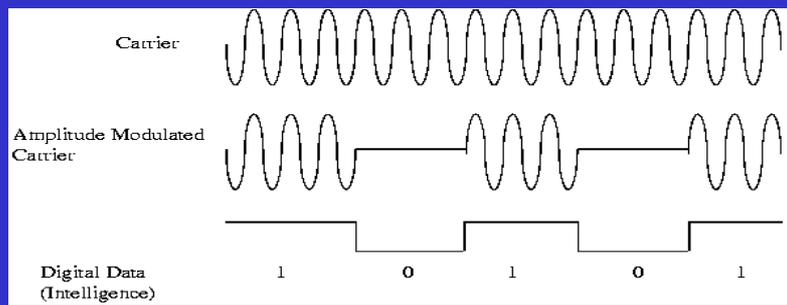
La frecuencia primaria es  $L1 = 154f_0 = 1575.42 \text{ MHz}$   
Longitud de onda = 19.05 cm.

#### *Portadora L2.*

La frecuencia secundaria es  $L2 = 120f_0 = 1227.60 \text{ MHz}$   
Longitud de onda = 24.45 cm.

#### *Modulación.*

## Modulación en amplitud AM



### Ventajas:

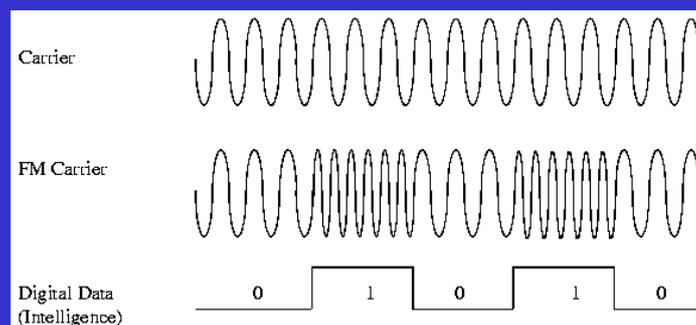
Diseño simple

### Desventajas:

La ausencia de señal se interpreta como 0

El ruido interfiere a la portadora.

## Modulación en frecuencia FM



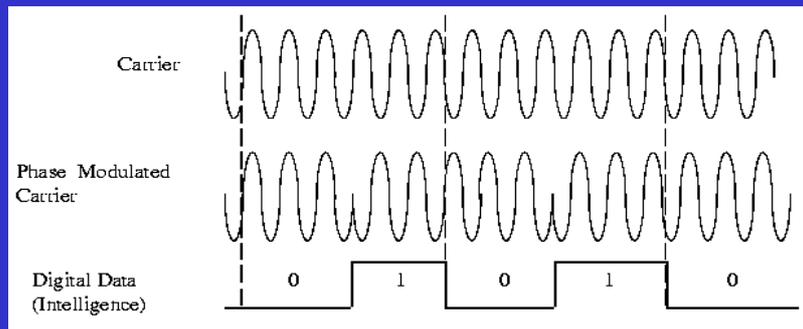
### Ventajas:

Inmune al ruido. Las pérdidas de señal se identifican con facilidad.

### Desventajas:

Requiere dos frecuencias. Los circuitos detectores necesitan identificar las dos frecuencias después de una pérdida de señal.

### Modulación en fase PM



#### Ventajas:

Una sola frecuencia. Fácil de detectar las pérdidas

#### Desventajas:

Circuitos complejos para generar y detectar los cambios de fase.

En la modulación intervienen, además de los datos del mensaje de navegación, dos códigos: el código C/A y el código P, ambos son códigos de ruido pseudoaleatorio. Cuando está activada la protección contra señuelos el código P se encripta, el resultado se representa por P(Y).

Los códigos son sucesiones de bits que en el receptor se presentan con velocidades de  $1.023 \times 10^6$  chips/seg ( $f_0/10 = 1.023$  Mhz) el código C/A y de  $10.23 \times 10^6$  chirps/seg ( $f_0 = 10.23$  MHz). Se utiliza chip en lugar de bit para indicar que el código de ruido pseudoaleatorio no lleva información. El mensaje de navegación llega con una velocidad de 50 bits/seg (50 Hz.). Como el código C/A tiene una longitud de 1023 chirps, cada segundo llegan al receptor 1000 códigos completos, o lo que es lo mismo la duración de una secuencia completa del código C/A es de un milisegundo.

El código P(Y) que emite cada satélite tiene una periodicidad semanal.

Si representamos por D(t), G(t) y P(t) las sucesiones de bits del mensaje y los códigos C/A y P o P(Y), la modulación binaria se representa por  $[G(t) \oplus D(t)]$  y  $[P(t) \oplus D(t)]$ .

A continuación se representa una sucesión de chips del código P (un carácter igual a la duración de un chip) y la sucesión (equivalente en tiempo) del mensaje de navegación, la resultante es  $[P(t) \oplus D(t)]$  suma módulo 2 de las dos sucesiones

P(t)	1001000011 1010101010 1111000011 1111100000 1011000101
D(t)	0000000000 1111111111 1111111111 1111111111 1111111111

$P(t) \oplus D(t)$	1001000011 0101010101 0000111100 0000011111 0100111010
--------------------	--

En el caso del código C/A la relación 1 a 10 nos permite escribir usando la misma escala de tiempo, un carácter igual a la duración de un chip de P:

G(t)            1111111111 0000000000 1111111111 1111111111 0000000000  
D(t)            0000000000 1111111111 1111111111 1111111111 1111111111

$G(t) \oplus D(t)$     1111111111 1111111111 0000000000 0000000000 1111111111

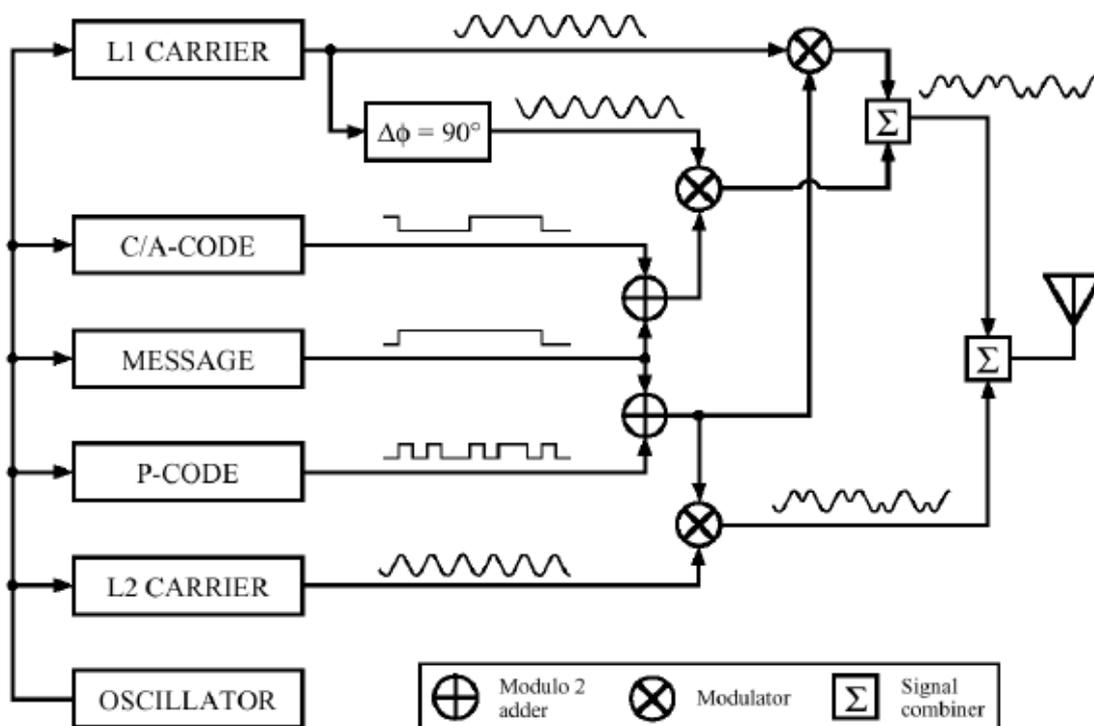
El comienzo de un bit del mensaje coincide siempre con el inicio de un código C/A completo.

La modulación de código C/A + Datos se aplica a la portadora desfasada  $90^\circ$  y la modulación P + Datos a la portadora. Sumandolas resulta la señal L1 modulada:

$$L_1(\omega_1, t) = A_I[P(t) \oplus D(t)]\text{sen}(\omega_1 t) + A_Q[G(t) \oplus D(t)]\text{cos}(\omega_1 t)$$

La señal L2 lleva la modulación  $[P(t) \oplus D(t)]$  y resulta

$$L_2(\omega_2, t) = A_I[P(t) \oplus D(t)]\text{sen}(\omega_1 t)$$



La densidad espectral de la señal transmitida se muestran en la figura.

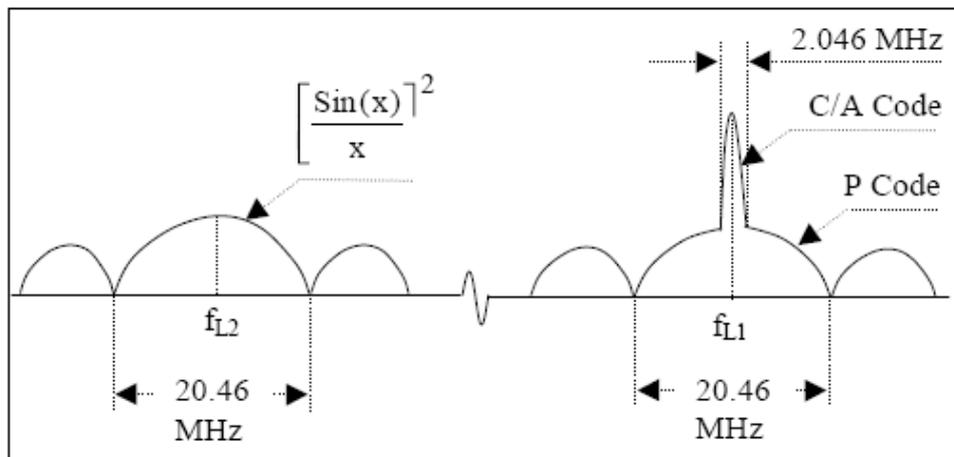


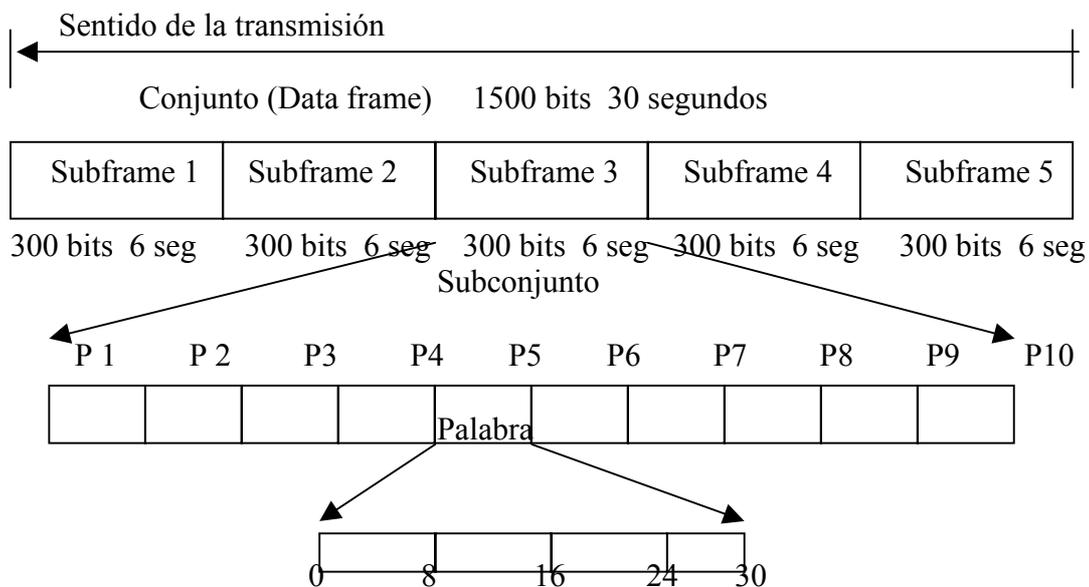
Figure 2.3: GPS signal power spectral density (Spilker, 1996)

## 2.2.- Componentes de la señal

### 2.2.1.- El mensaje de navegación

El mensaje de navegación contiene información sobre el estado de funcionamiento del satélite (satellite health status), el sistema de tiempo en el satélite (lleva cuatro relojes atómicos), la órbita del satélite, el almanaque de la constelación y otros datos que permiten calcular determinadas correcciones a los observables.

Los datos de navegación se agrupan en conjuntos de 1500 bits y se transmiten a una velocidad de 50 bps (bit por segundo), necesitando el receptor 30 s para recibir un conjunto completo (Data frame). Cada conjunto está dividido, a su vez, en cinco subconjuntos (Subframes) de 300 bits de longitud con una duración de 6 segundos y cada subconjunto está dividido en 10 palabras de 30 bits (los 6 últimos se utilizan para controlar la paridad). La información se transmite empezando por el bit más significativo.



El subconjunto (Subframe) 1 se repite en todos los conjuntos que constituyen el mensaje de navegación, contiene la información del reloj del satélite y se denomina Bloque I.

Los subconjuntos 2 y 3 se repiten también cada 30 segundos, contienen los datos de efemérides y se denomina Bloque II.

Los subconjuntos 4 y 5 no se repiten cada 30 segundos, la información que aparece en ellos va cambiando de un conjunto al siguiente, se denomina Bloque III, y también página, en este bloque se incluye el almanaque y otras informaciones. La información completa del mensaje de navegación necesita 25 conjuntos para transmitirse, es decir, 25 páginas del Bloque III, lo que supone un tiempo de

transmisión/ recepción de 12.5 minutos. Hay que tener en cuenta que cada satélite transmite el almanaque completo de la constelación.

Todos los subconjuntos (subframes) comienzan por las palabras TLM y HOW

### 2.2.1.1.-Palabra TLM (Telemetry Word)

Es la primera palabra de cada subconjunto

Bits	Contenido	
1-8	10001011	Comienzo de subframe Preamble
9 - 23	Mensaje TLM	Mensaje de telemetría 1
23-24	Reservados	
25-30	Bits de paridad	Control de Paridad

- 1 El mensaje de telemetría contiene información para los usuarios autorizados y para el segmento de control.

### 2.2.1.2.-Palabra HOW (Handover Word)

Es la segunda palabra de cada subconjunto.

Bits	Contenido	
1-17	TOW (Parcial)	Primeros 17 bits de TOW (19 bits)
18	Momentum flag (1)	Configuración 000 del satélite
18	Alert flag (2)	Configuración 001 del satélite
19	Synchronization flag (3)	Configuración 000 del satélite
19	Anti-Spoof flag (4)	Configuración 001 del satélite
20-22	Número de Subconjunto (5)	
23-24	Bits aux de paridad	Cuando hay ceros en 29 y 30
25-28	Paridad	
29-30	00	

TOW número de cuentas Z (1.5 segundos) desde el comienzo de la semana GPS. Estos 17 bits se corresponden con los bits 11 a 27 de la cuenta Z (29 bits) y, además, con la época X1 del pseudocódigo correspondiente al comienzo del siguiente subconjunto.

- 1 Roll momentum dump flag con 1 indica non-conservative momentum dump ha ocurrido desde la última carga de datos.
- 2 Cuando es 1 indica que la URA del satélite puede ser errónea y que el uso del satélite entraña riesgos.
- 3 Cuando es 0 indica que el satélite está sincronizado, el comienzo de la palabra TLM es coincidente con la época X1 de generación del pseudocódigo. En otro caso no deben usarse los datos del satélite.
- 4 Cuando es 1 indica que el dispositivo antiseñuelos está activado.
- 5 Indica el subconjunto al que pertenece la palabra HOW según la siguiente clave

Subconjunto	Código
1	001
2	010
3	011
4	100
5	101

### 2.2.1.3.-Subconjunto 1 Bloque I (Datos del reloj del satélite y otros)

Palabra 1 TLM  
 Palabra 2 HOW  
 Palabra 3

Bits		
1 – 10	WM	Contienen los bits más significativos de la cuenta Z. Representa el número de la semana GPS (1)
11 – 12	Código en L2	00 Reservado 01 Código P 10 Código C/A
13- 16	Indice del URA	User Range Accuracy (2)
17	Calidad de los datos de navegación	0 OK 1 Algunos o todos malos
18 - 22	Estado del Satélite	(3)
23 – 24	IODC (Parcial)	Los dos bits más significativos del IODC (número de serie de los datos del reloj)
25 – 30	Paridad	

1 Semana GPS al comienzo de la transmisión del conjunto de datos. Como los satélites del bloque II y siguientes pueden utilizar la información que se le carga desde el segmento de control durante un intervalo mayor que una semana este valor puede no coincidir con la semana GPS actual. Este es un valor interpolado y el proceso de interpolación no contempla el cambio de semana.

2 Este índice indica los valores de URA (Tiempo y Posición) según la siguiente Tabla.

INDICE	URA metros
0	0 < URA <= 2.40
1	2.40 < URA <= 3.40
2	3.40 < URA <= 4.85
3	4.85 < URA <= 6.85
4	6.85 < URA <= 9.65
5	9.65 < URA <= 13.65
6	13.65 < URA <= 24.00

7	24.00 < URA <= 48.00
8	48.00 < URA <= 96.00
9	96.00 < URA <= 192.00
10	192.00 < URA <= 384.00
11	384.00 < URA <= 768.00
12	768.00 < URA <= 1536.00
13	1536.00 < URA <= 3072.00
14	3072.00 < URA <= 6144.00
15	Uso arriesgado, sin predicción

### 3 Estado de las señales (Health)

Valor	Significado
00000	Todas las señales OK
00001	Todas las señales débiles
00010	Todas las señales desactivadas
00011	Todas las señales carecen de datos modulados
00100	La señal P en L1 es débil
00101	La señal P en L1 desactivada
00110	La señal P en L1 sin modulación de datos
00111	La señal P en L2 es débil
01000	La señal P en L2 desactivada
01001	La señal P en L2 sin modulación de datos
01010	La señal C en L1 es débil
01011	La señal C en L1 desactivada
01100	La señal C en L1 sin modulación de datos
01101	La señal C en L2 es débil
01110	La señal C en L2 desactivada
01111	La señal C en L2 sin modulación de datos
10000	La señal P en L1 y L2 es débil
10001	La señal P en L1 y L2 desactivada
10010	La señal P en L1 y L2 sin modulación de datos
10011	La señal C en L1 y L2 es débil
10100	La señal C en L1 y L2 desactivada
10101	La señal C en L1 y L2 sin modulación de datos
10110	La señal L1 débil
10111	La señal L1 desactivada
11000	La señal L1 sin modulación de datos
11001	La señal L2 débil
11010	La señal L2 desactivada
11011	La señal L2 sin modulación de datos
11100	El satélite está temporalmente fuera de uso (No usarlo en el paso actual)
11101	El satélite será dejado temporalmente fuera de uso (Usarlo con precaución)
11110	Sin utilizar
11111	Más de una combinación para describir la anomalía

BITS	
1	0 Código P en L2 1 Sin código P en L2
2 - 24	Reservados
25 - 30	Paridad

Palabra 5 Reservada

Palabra 6 Reservada

Palabra 7

BITS	
1 -16	Reservados
17 - 24	TGD (8bits) Corrección L1-L2 para los usuarios de una sola frecuencia
25 - 30	Paridad

Palabra 8

BITS	
1 - 8	Los 8 bits restantes del IODC
9 - 24	TOC (16 bits)
25 - 30	Paridad

Palabra 9

BITS	
1 - 8	Af2 polinomio del reloj
9 - 24	Af1 polinomio del reloj
25 - 30	Paridad

Palabra 10

BITS	
1 - 22	Af0 Polinomio del reloj
23 - 24	Usados para el cálculo de paridad
25 - 30	Paridad

#### 2.2.1.4.-Subconjunto 2 Bloque II (Efemérides del satélite)

Palabra 1 TLM

Palabra 2 HOW

## Palabra 3

BITS	
1 - 8	IODE
9 - 24	$C_{rs}$
25- 30	Paridad

## Palabra 4

BITS	
1 - 16	$\square_n$
17 - 24	8 bits MSB de $M_0$
25 - 30	Paridad

## Palabra 5

BITS	
1 - 24	24 bits LSB de $M_0$
25 - 30	Paridad

## Palabra 6

BITS	
1 - 16	$C_{uc}$
17 - 24	8 bits MSB de e
25 - 30	Paridad

## Palabra 7

BITS	
1 - 24	24 bits LSB de e
25 - 30	Paridad

## Palabra 8

BITS	
1 - 16	$C_{us}$
17 - 24	8 bits MSB de $\sqrt{\square}$
25 - 30	Paridad

## Palabra 9

BITS	
1 - 24	24 bits LSB de $\sqrt{\square}$
25 - 30	Paridad

## Palabra 10

BITS	
1 – 16	$t_{oe}$
17	Fit interval flag (1)
18 - 22	AODO Age of Data Offset (2)
23 - 24	Usados para el cálculo de paridad
25 - 30	Paridad

1 Indica si las efemérides corresponden a un intervalo de interpolación de cuatro horas o a uno mayor.

2 Permite validar el término NMCT que aparece en el subconjunto 4. Son 5 bits con un factor de escala de 900, rango entre 0 y 31, expresado en segundos.

**2.2.1.5.-Subconjunto 3 Bloque II (Efemérides del satélite)**

Palabra 1 TLM  
 Palabra 2 HOW  
 Palabra 3

BITS	
1 – 16	$C_{IC}$
17 - 24	8 bits MSB de $\Omega_0$
25 - 30	Paridad

## Palabra 4

BITS	
1 – 24	24 bits LSB de $\Omega_0$
25 - 30	Paridad

## Palabra 5

BITS	
1 – 16	$C_{IS}$
17 - 24	8 bits MSB de $i_0$
25 - 30	Paridad

## Palabra 6

BITS	
1 – 24	24 bits LSB de $i_0$
25 - 30	Paridad

## Palabra 7

BITS	
1 – 16	C <sub>RC</sub>
17 - 24	8 bits MSB de $\omega$
25 - 30	Paridad

## Palabra 8

BITS	
1 – 24	24 bits LSB de $\omega$
25 - 30	Paridad

## Palabra 9

BITS	
1 - 24	$d\Omega/dt$ (Omegadot)
25 - 30	Paridad

## Palabra 10

BITS	
1 – 8	IODE
9 - 22	IDOT (di/dt)
23 - 24	Usados para el cálculo de paridad
25 - 30	Paridad

## Parámetros de efemérides en el bloque II

Parámetro	Nº de bits	Factor de escala (LSB)	Rango	Unidad
IODE	8			
C <sub>rs</sub>	16 *	2 <sup>-5</sup>		metros
$\Delta n$	16 *	2 <sup>-43</sup>		semicir/seg
M <sub>0</sub>	32 *	2 <sup>-31</sup>		semicirculos
C <sub>uc</sub>	16 *	2 <sup>-29</sup>		radianes
e	32	2 <sup>-33</sup>		
C <sub>us</sub>	16 *	2 <sup>-29</sup>		radianes
$\sqrt{\square}$	32	2 <sup>-19</sup>		metros <sup>1/2</sup>
toe	16	2 <sup>4</sup>	604784	segundos
C <sub>ic</sub>	16 *	2 <sup>-29</sup>		radianes
$\Omega_0$	32 *	2 <sup>-31</sup>		semicirculos
C <sub>is</sub>	16 *	2 <sup>-29</sup>		radianes

$i_0$	32 *	$2^{-31}$		semicirculos
$C_{rc}$	16 *	$2^{-5}$		metros
$\omega$	32 *	$2^{-31}$		semicirculos
Omegadot	24 *	$2^{-43}$		semicir/seg
Idot	24 *	$2^{-43}$		semicir/seg

### 2.2.1.6.-Subconjunto 4 Bloque III (En páginas 1, 6, 11, 16 y 21)

#### Páginas reservadas

Palabra 1 TLM  
Palabra 2 HOW

Palabra 3

BITS	
1 – 2	Data ID
3 - 8	ID del satélite de la página
9 - 24	Reservados
25 - 30	Paridad

Palabra 4 Reservada

Palabra 5 Reservada

Palabra 6 Reservada

Palabra 7 Reservada

Palabra 8 Reservada

Palabra 9 Reservada

Palabra 10 Reservada

### 2.2.1.7.-Subconjunto 4 Bloque III (En páginas 12, 19, 20, 22, 23 y 24)

#### Páginas reservadas

Palabra 1 TLM  
Palabra 2 HOW

Palabra 3

BITS	
1 – 2	Data ID

3 - 8	ID del satélite de la página
9 - 24	Reservados
25 - 30	Paridad

Palabra 4 Reservada

Palabra 5 Reservada

Palabra 6 Reservada

Palabra 7 Reservada

Palabra 8 Reservada

Palabra 9 Reservada

Palabra 10 Reservada

#### 2.2.1.8.-Subconjunto 4 Bloque III (En página 13)

##### NMCT

Palabra 1 TLM  
Palabra 2 HOW

Palabra 3

BITS	
1 - 2	Data ID
3 - 8	ID del satélite de la página
9 - 10	Indicador de disponibilidad
11 - 16	ERD Satélite 1 (6 bits)
17 - 22	ERD Satélite 2 (6 bits)
23 - 24	ERD Satélite 3 (2 bits MSB)
25 - 30	Paridad

Palabra 4

BITS	
1 - 4	ERD Satélite 3 (4 bits LSB)
5 - 10	ERD Satélite 4 (6 bits)
11 - 16	ERD Satélite 5 (6 bits)
17 - 22	ERD Satélite 6 (6 bits)
23 - 24	ERD Satélite 7 (2 bits MSB)
25 - 30	Paridad

Palabra 5

BITS	
------	--

1 - 4	ERD Satélite 7 (4 bits LSB)
5 - 10	ERD Satélite 8 (6 bits)
11 - 16	ERD Satélite 9 (6 bits)
17 - 22	ERD Satélite 10 (6 bits)
23 - 24	ERD Satélite 11 (2 bits MSB)
25 - 30	Paridad

## Palabra 6

BITS	
1 - 4	ERD Satélite 11 (4 bits LSB)
5 - 10	ERD Satélite 12 (6 bits)
11 - 16	ERD Satélite 13 (6 bits)
17 - 22	ERD Satélite 14 (6 bits)
23 - 24	ERD Satélite 15 (2 bits MSB)
25 - 30	Paridad

## Palabra 7

BITS	
1 - 4	ERD Satélite 15 (4 bits LSB)
5 - 10	ERD Satélite 16 (6 bits)
11 - 16	ERD Satélite 17 (6 bits)
17 - 22	ERD Satélite 18 (6 bits)
23 - 24	ERD Satélite 19 (2 bits MSB)
25 - 30	Paridad

## Palabra 8

BITS	
1 - 4	ERD Satélite 19 (4 bits LSB)
5 - 10	ERD Satélite 20 (6 bits)
11 - 16	ERD Satélite 21 (6 bits)
17 - 22	ERD Satélite 22 (6 bits)
23 - 24	ERD Satélite 23 (2 bits MSB)
25 - 30	Paridad

## Palabra 9

BITS	
1 - 4	ERD Satélite 23 (4 bits LSB)
5 - 10	ERD Satélite 24 (6 bits)
11 - 16	ERD Satélite 25 (6 bits)
17 - 22	ERD Satélite 26 (6 bits)
23 - 24	ERD Satélite 27 (2 bits MSB)
25 - 30	Paridad

## Palabra 10

BITS	
1 - 4	ERD Satélite 27 (4 bits LSB)
5 - 10	ERD Satélite 28 (6 bits)
11 - 16	ERD Satélite 29 (6 bits)
17 - 22	ERD Satélite 30 (6 bits)
23 - 24	Usados para el cálculo de paridad
25 - 30	Paridad

### 2.2.1.9.-Subconjunto 4 Bloque III (En páginas 14 y 15)

#### Reservadas para usos del Sistema

Palabra 1 TLM  
Palabra 2 HOW

Palabra 3

BITS	
1 - 2	Data ID
3 - 8	ID del satélite de la página
9 - 24	Reservados para uso del sistema
25 - 30	Paridad

Palabra 4 Reservada para uso del sistema

Palabra 5 Reservada para uso del sistema

Palabra 6 Reservada para uso del sistema

Palabra 7 Reservada para uso del sistema

Palabra 8 Reservada para uso del sistema

Palabra 9 Reservada para uso del sistema

Palabra 10 Reservada para uso del sistema

### 2.2.1.10.-Subconjunto 4 Bloque III (En página 17)

#### Mensajes especiales

Palabra 1 TLM  
Palabra 2 HOW

Palabra 3

BITS	
1 - 2	Data ID
3 - 8	ID del satélite de la página
9 - 24	Reservados para uso del sistema
25 - 30	Paridad

Palabra 4 Reservada para mensajes especiales

Palabra 5 Reservada para mensajes especiales

Palabra 6 Reservada para mensajes especiales

Palabra 7 Reservada para mensajes especiales

Palabra 8 Reservada para mensajes especiales

Palabra 9 Reservada para mensajes especiales

Palabra 10 Reservada para mensajes especiales

#### 2.2.1.11.-Subconjunto 4 Bloque III (En página 18)

##### Datos ionosféricos y UTC.

Palabra 1 TLM

Palabra 2 HOW

Palabra 3

BITS	
1 - 2	Data ID
3 - 8	ID del satélite de la página
9 - 16	$\alpha_0$
17 - 24	$\alpha_1$
25 - 30	Paridad

Palabra 4

BITS	
1 - 8	$\alpha_2$
9 - 16	$\alpha_3$
16 - 24	$\beta_0$
25 - 30	Paridad

## Palabra 5

BITS	
1 - 8	$\beta_1$
9 - 16	$\beta_2$
16 - 24	$\beta_3$
25 - 30	Paridad

## Palabra 6

BITS	
1 - 24	$A_1$
25 - 30	Paridad

## Palabra 7

BITS	
1 - 24	24 bits (MSB) de $A_0$
25 - 30	Paridad

## Palabra 8

BITS	
1 - 8	8 bits (LSB) de $A_0$
9 - 16	$t_{ot}$
17 - 24	$WN_t$
25 - 30	Paridad

## Palabra 9

BITS	
1 - 8	$\Delta t_{LS}$
9 - 16	$WN_{LSF}$
17 - 24	DN
25 - 30	Paridad

## Palabra 10

BITS	
1 - 8	$\Delta t_{LSF}$
9 - 22	Reservados

23 - 24	Usados para el cálculo de paridad
25 - 30	Paridad

### 2.2.1.12.-Subconjunto 4 Bloque III (En página 25)

Indicadores de antiseñuelos y configuración para 32 satélites y estado (health) para los satélites 25 a 32

Palabra 1 TLM  
 Palabra 2 HOW  
 Palabra 3

BITS	
1 - 2	Data ID
3 - 8	ID del satélite de la página
9 - 12	A-SPOOF & SV CONFIG Sat. 1
13 - 16	A-SPOOF & SV CONFIG Sat. 2
17 - 20	A-SPOOF & SV CONFIG Sat. 3
21 - 24	A-SPOOF & SV CONFIG Sat. 4
25 - 30	Paridad

Palabra 4

BITS	
1 - 4	A-SPOOF & SV CONFIG Sat. 5
5 - 8	A-SPOOF & SV CONFIG Sat. 6
9 - 12	A-SPOOF & SV CONFIG Sat. 7
13 - 16	A-SPOOF & SV CONFIG Sat. 8
17 - 20	A-SPOOF & SV CONFIG Sat. 9
21 - 24	A-SPOOF & SV CONFIG Sat. 10
25 - 30	Paridad

Palabra 5

BITS	
1 - 4	A-SPOOF & SV CONFIG Sat. 11
5 - 8	A-SPOOF & SV CONFIG Sat. 12
9 - 12	A-SPOOF & SV CONFIG Sat. 13
13 - 16	A-SPOOF & SV CONFIG Sat. 14
17 - 20	A-SPOOF & SV CONFIG Sat. 15
21 - 24	A-SPOOF & SV CONFIG Sat. 16
25 - 30	Paridad

Palabra 6

BITS	
1 - 4	A-SPOOF & SV CONFIG Sat. 17
5 - 8	A-SPOOF & SV CONFIG Sat. 18

9 - 12	A-SPOOF & SV CONFIG Sat. 19
13 - 16	A-SPOOF & SV CONFIG Sat. 20
17 - 20	A-SPOOF & SV CONFIG Sat. 21
21 - 24	A-SPOOF & SV CONFIG Sat. 22
25 - 30	Paridad

## Palabra 7

BITS	
1 - 4	A-SPOOF & SV CONFIG Sat. 23
5 - 8	A-SPOOF & SV CONFIG Sat. 24
9 - 12	A-SPOOF & SV CONFIG Sat. 25
13 - 16	A-SPOOF & SV CONFIG Sat. 26
17 - 20	A-SPOOF & SV CONFIG Sat. 27
21 - 24	A-SPOOF & SV CONFIG Sat. 28
25 - 30	Paridad

## Palabra 8

BITS	
1 - 4	A-SPOOF & SV CONFIG Sat. 29
5 - 8	A-SPOOF & SV CONFIG Sat. 30
9 - 12	A-SPOOF & SV CONFIG Sat. 31
13 - 16	A-SPOOF & SV CONFIG Sat. 32
17 - 18	2 bits Reservados
21 - 24	SV HEALTH (6 bits) Sat 25
25 - 30	Paridad

## Palabra 9

BITS	
1 - 6	SV HEALTH (6 bits) Sat 26
7 - 12	SV HEALTH (6 bits) Sat 27
13 - 18	SV HEALTH (6 bits) Sat 28
19 - 24	SV HEALTH (6 bits) Sat 29
25 - 30	Paridad

## Palabra 10

BITS	
1 - 6	SV HEALTH (6 bits) Sat 30
7 - 12	SV HEALTH (6 bits) Sat 31
13 - 18	SV HEALTH (6 bits) Sat 32
19 - 22	4 bits Reservados
23 - 24	Usados para el cálculo de paridad
25 - 30	Paridad

**2.2.1.13.- Subconjunto 5 Bloque III (En páginas 1 a 24)****Almanaque para los satélites 1 a 24**

Palabra 1 TLM

Palabra 2 HOW

Palabra 3

BITS	
1 - 2	Data ID
3 - 8	ID del satélite de la página
9 - 24	e
25 - 30	Paridad

Palabra 4

BITS	
1 - 8	toa
9 - 24	$\delta_i$
25 - 30	Paridad

Palabra 5

BITS	
1 - 16	OMEGADOT
17 - 24	SV HEALTH
25 - 30	Paridad

Palabra 6

BITS	
1 - 24	$\sqrt{A}$
15 - 30	Paridad

Palabra 7

BITS	
1 - 24	$\Omega_0$
15 - 30	Paridad

Palabra 8

BITS	
1 - 24	$\omega$
15 - 30	Paridad

Palabra 9

BITS	
1 - 24	M <sub>0</sub>
15 - 30	Paridad

Palabra 10

BITS	
1 - 8	Af0 (8 bits MSB)
9 - 19	Af1 (11 bits)
20 - 22	Af0 (3 bits LSB)
23 - 24	Usados para el cálculo de paridad
25 - 30	Paridad

### 2.2.1.14.-Subconjunto 5 Bloque III (En página 25)

Estado de los satélites 1 a 24, tiempo de referencia y semana del almanaque

Palabra 1 TLM  
Palabra 2 HOW

Palabra 3

BITS	
1 - 2	Data ID
3 - 8	ID del satélite de la página
9 - 16	Toa (8 bits)
17 - 24	WNa
25 - 30	Paridad

Palabra 4

BITS	
1 - 6	SV HEALTH (6 bits) Sat 1
7 - 12	SV HEALTH (6 bits) Sat 2
13 - 18	SV HEALTH (6 bits) Sat 3
19 - 24	SV HEALTH (6 bits) Sat 4
25 - 30	Paridad

Palabra 5

BITS	
1 - 6	SV HEALTH (6 bits) Sat 5
7 - 12	SV HEALTH (6 bits) Sat 6
13 - 18	SV HEALTH (6 bits) Sat 7
19 - 24	SV HEALTH (6 bits) Sat 8
25 - 30	Paridad

Palabra 6

BITS	
1 - 6	SV HEALTH (6 bits) Sat 9
7 - 12	SV HEALTH (6 bits) Sat 10
13 - 18	SV HEALTH (6 bits) Sat 11
19 - 24	SV HEALTH (6 bits) Sat 12
25 - 30	Paridad

## Palabra 7

BITS	
1 - 6	SV HEALTH (6 bits) Sat 13
7 - 12	SV HEALTH (6 bits) Sat 14
13 - 18	SV HEALTH (6 bits) Sat 15
19 - 24	SV HEALTH (6 bits) Sat 16
25 - 30	Paridad

## Palabra 8

BITS	
1 - 6	SV HEALTH (6 bits) Sat 17
7 - 12	SV HEALTH (6 bits) Sat 18
13 - 18	SV HEALTH (6 bits) Sat 19
19 - 24	SV HEALTH (6 bits) Sat 20
25 - 30	Paridad

## Palabra 9

BITS	
1 - 6	SV HEALTH (6 bits) Sat 21
7 - 12	SV HEALTH (6 bits) Sat 22
13 - 18	SV HEALTH (6 bits) Sat 23
19 - 24	SV HEALTH (6 bits) Sat 24
25 - 30	Paridad

## Palabra 10 Reservada

## 2.2.2.- Código C/A y P

### 2.2.2.1.- Funciones de los códigos C/A y P.

*Identifica al satélite y permite la medida de pseudodistancias en el receptor.* Cada chirp del código comienza en una época determinada generada por el oscilador del satélite, análogamente el receptor genera su réplica del código C/A donde igualmente se conoce la época inicial de cada chirp respecto al reloj del receptor. Correlando estos dos códigos se obtienen el tiempo de propagación como diferencia de las dos épocas. La pseudodistancia se obtiene multiplicando esta diferencia de tiempo por la velocidad de la luz. Teniendo en cuenta que la duración de chirp es 1/1023 milisegundos, si el correlador tiene un poder de resolución de un chirp, la pseudodistancia se estimaría en  $300000/1023000 \text{ Km} = 0.293 \text{ Km}$ , aproximadamente 300 metros. Los correladores actuales son capaces de alinear las dos señales con una resolución de un 1% de la duración del chirp, lo que permite estimar la pseudodistancia con una resolución de 3 metros.

*Todos los satélites utilizan las mismas frecuencias L1 y L2 sin que se produzcan interferencias de las señales de unos con otros.* El código que se asigna a cada satélite presenta una débil correlación con el código asignado a los demás. Si representamos por  $\otimes$  la operación de correlación, si el receptor esta recibiendo la señal de cinco satélites de códigos G1, G2, G3, G4 y G5

$$G1 + G2 + G3 + G4 + G5$$

Cuando se correla con una réplica de G3, por ejemplo, resulta un máximo en la correlación que indica su presencia. Debido a la casi ortogonalidad de los códigos todo ocurre como si sólo estuviese presente el G3.

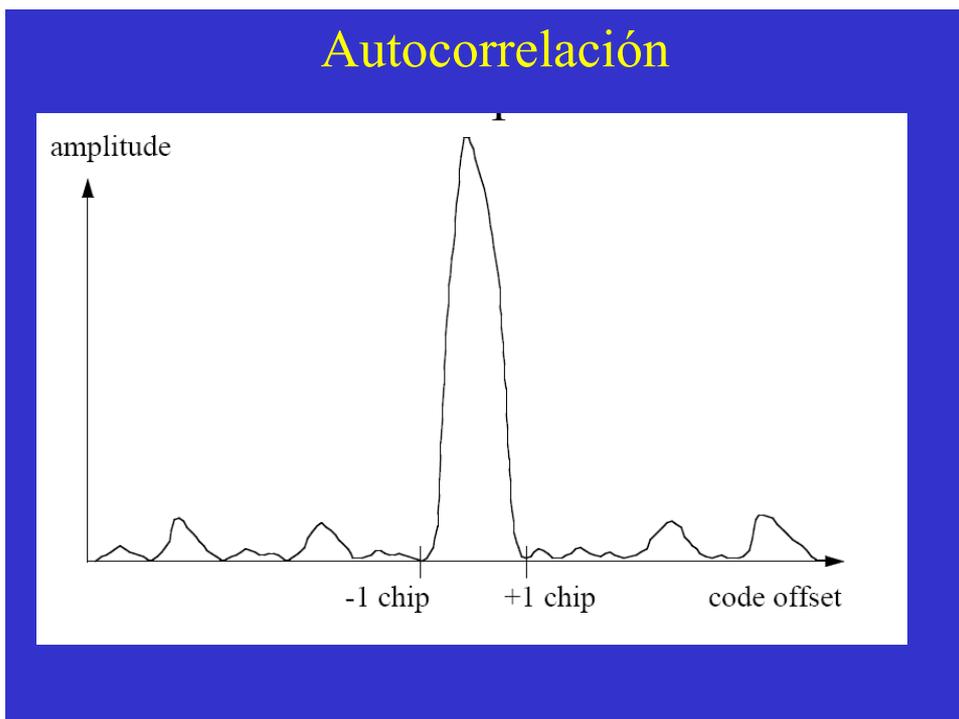
$$G3 \otimes G1 + G3 \otimes G2 + G3 \otimes G3 + G3 \otimes G4 + G3 \otimes G5 = G3 \otimes G3$$

El proceso anterior tiene la propiedad de rechazar, en cierta medida, cualquier otra señal que no sea con la que se correla. Esto supone una protección contra interferencias.

Función de autocovarianza del código C/A

$$\psi(\tau) = \frac{1}{T} \int_0^T g(t)g(t-\tau)dt$$

$g(t)$  es la señal del código C/A (valores de los chip  $\pm 1$ ),  $\tau$  es el retardo relativo en segundos, T es el período de  $g$ , (1 milisegundo). Resulta una función periódica de período T.



El receptor está continuamente calculando los valores de esta función,  $g(t)$  es la señal recibida del satélite, y  $g(t-\tau)$  es la generada por el receptor. En el receptor existen circuitos y/o programas para conseguir  $\tau = 0$ . Lo que proporciona la medida de la pseudo distancia.

Funciones del código P.

Incrementa la *protección contra las interferencias*. El ancho de banda es diez veces mayor que el del código C/A.

Su función de autocovarianza (autocorrelación) tiene la misma forma que la del código C/A, salvo que ahora la duración de un chip es de 0.09775 microsegundos, y que el período T es de 266 días (38 semanas), asignando a cada satélite una semana del período, aproximadamente  $6.187 \times 10^{12}$  chips cada semana. Con una resolución de un chip la pseudodistancia tiene una resolución de 30 metros, y alineando a un 1% de la duración de un chip 0.30 metros.

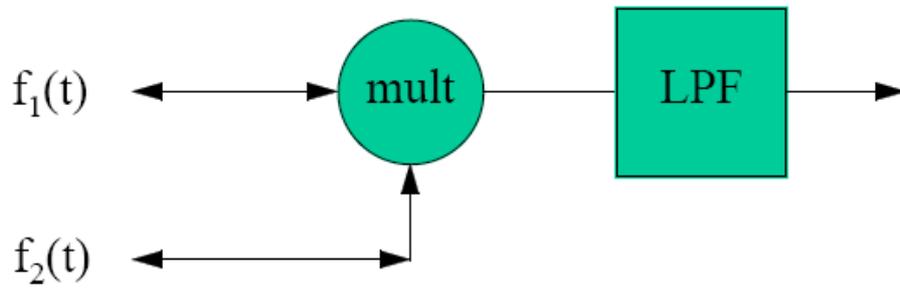
El código P(Y) es el código P encriptado. Al ser la encriptación secreta, introduce una protección adicional contra señuelos. La encriptación se lleva a cabo multiplicando el código P por un código W. Sólo los receptores que dispongan del conocimiento del código W, pueden generar el código P(Y) que es el que se correla con el recibido del satélite. (Receptores militares y usuarios autorizados)

#### 2.2.2.2.- Generación de los códigos

Algunas definiciones:

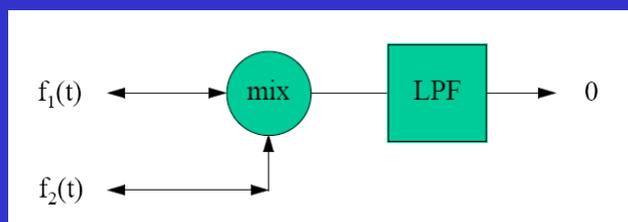
Correlación.

Un ejemplo de la correlación de las dos señales, un multiplicador y un filtro de paso bajo.



## Ortogonalidad

- Dos funciones son *ortogonales* sí, cuando se correlan, el resultado es cero



## Comunicaciones y Ortogonalidad

- Si dos señales de comunicación son ortogonales es posible (teóricamente) construir un receptor que responda a una y rechace completamente la otra.
- Si dos señales de comunicación no son ortogonales es imposible, *incluso* teóricamente

### Algunas funciones ortogonales

## Algunas funciones ortogonales

- Ondas sinusoidales de diferentes frecuencias ó in phase quadrature (0 & 90 deg): FDMA
- Pulsos que no se sobreponen: TDMA
- Funciones de Walsh, ejemp., las filas de H4 :

$$\begin{pmatrix} -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & +1 & -1 & +1 \\ -1 & -1 & +1 & +1 \\ -1 & +1 & +1 & -1 \end{pmatrix}$$

- Funciones de Walsh, ejemplo, las filas de la matriz :

w1: -1 -1 -1 -1  
w2: -1 +1 -1 +1  
w3: -1 -1 +1 +1  
w4: -1 +1 +1 -1

Consideradas como vectores resultan los productos escalares:

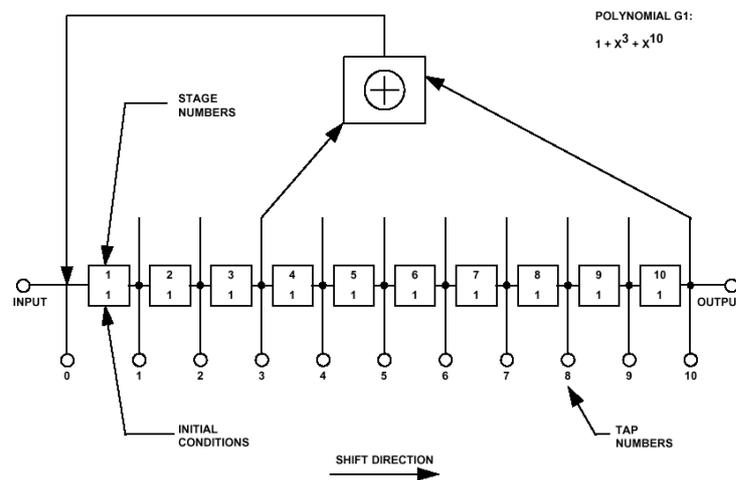
$$w1.w1 = 4 \quad w1.w2 = 0 \quad w1.w3 = 0 \quad w1.w4 = 0$$

$$\begin{array}{lll}
 w2.w2 = 4 & w2.w3 = 0 & w2.w4 = 0 \\
 w3.w3 = 4 & w3.w4 = 0 & \\
 w4.w4 = 4 & & 
 \end{array}$$

Los códigos C/A y P son sucesiones de cifras binarias, chirps, que tienen una apariencia aleatoria, pero una ley de formación perfectamente conocida, de ahí el nombre de pseudoaleatorios.

Se obtienen combinando lógicamente las salidas binarias de registros de desplazamiento retroalimentados de diez estados. El código C/A utiliza los registros G1 y G2 (Código Gold) y el código P los registros X1A, X2A, X1B, X2B.

Registro G1.



. G1 Shift Register Generator Configuration

A cada impulso del reloj, se produce un desplazamiento hacia la derecha del contenido de las celdas, el contenido de la diez es la salida lógica del registro, un bit por impulso, las demás desplazan su contenido a la siguiente y la celda número uno se pone el valor de la suma binaria de las celdas tres y diez (retroalimentación). Como respuesta a una señal de inicialización todos los contenidos se ponen a 1.

Registro G2.

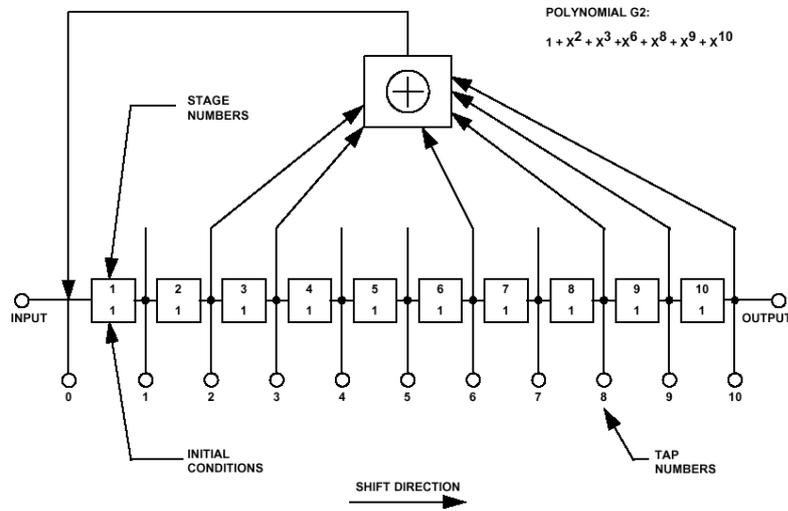


Figure 3-10. G2 Shift Register Generator Configuration

El funcionamiento es similar al anterior, ahora en cada impulso del reloj, la celda número se pone al valor de la suma binaria de las celdas 2,3,6,8,9 y 10.

Diagrama de bloques de la generación del código C/A

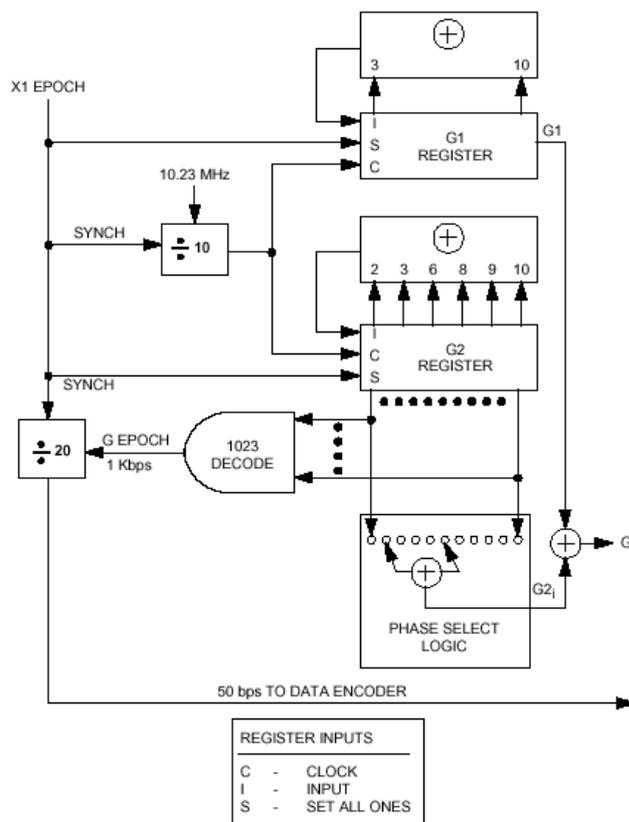
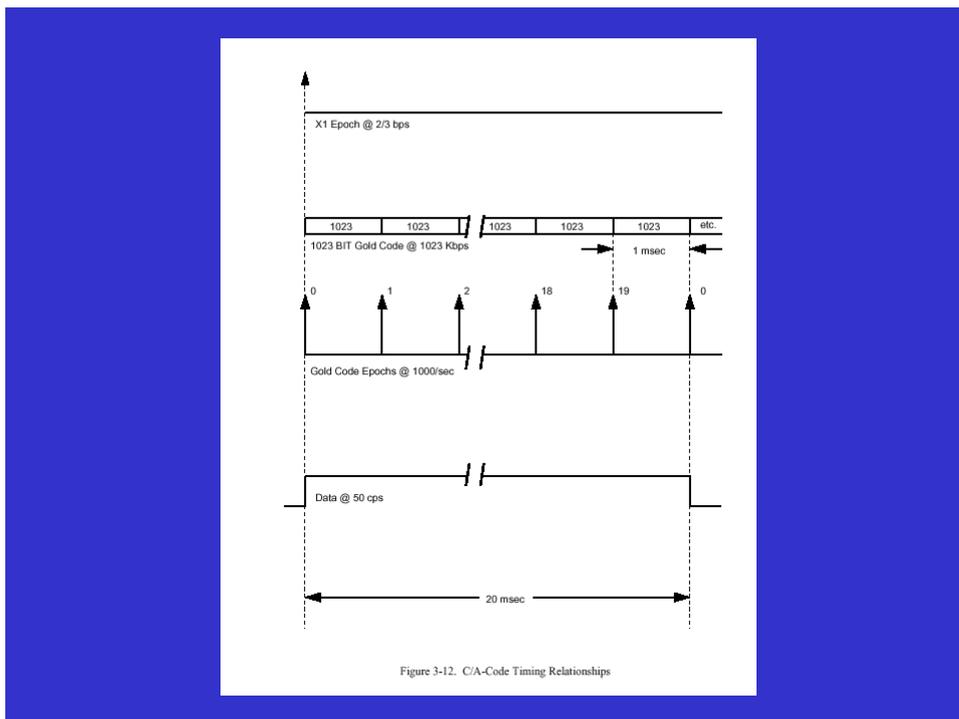


Figure 3-11. C/A-Code Generation

En la época de comienzo del código, X1, los registros G1 y G2 se inicializan con todas sus celdas al valor 1. Con una frecuencia de 1.023Mhz, el reloj envía la señal de desplazamiento hasta completar un código C/A (un milisegundo) Repitiéndose la inicialización. Cuando se han completados 20 milisegundos, se envía la señal para el inicio de un bit del mensaje de navegación. La generación del código correspondiente a cada satélite se obtiene de la siguiente manera: Se eligen dos celdas del registro G2, este par es el que identifica a cada satélite, y su suma binaria se compone con la salida del registro G1, tal como indica el diagrama anterior.

Satélite	Par	Satélite	Par	Satélite	Par	Satélite	Par
1	2-6	9	3-10	17	1-4	25	5-7
2	3-7	10	2-3	18	2-5	26	6-8
3	4-8	11	3-4	19	3-6	27	7-9
4	5-9	12	5-6	20	4-7	28	8-10
5	1-9	13	6-7	21	5-8	29	1-6
6	2-10	14	7-8	22	6-9	30	2-7
7	1-8	15	8-9	23	1-3	31	3-8
8	2-9	16	9-10	24	4-6	32	4-9



Registros para el código P  
X1A

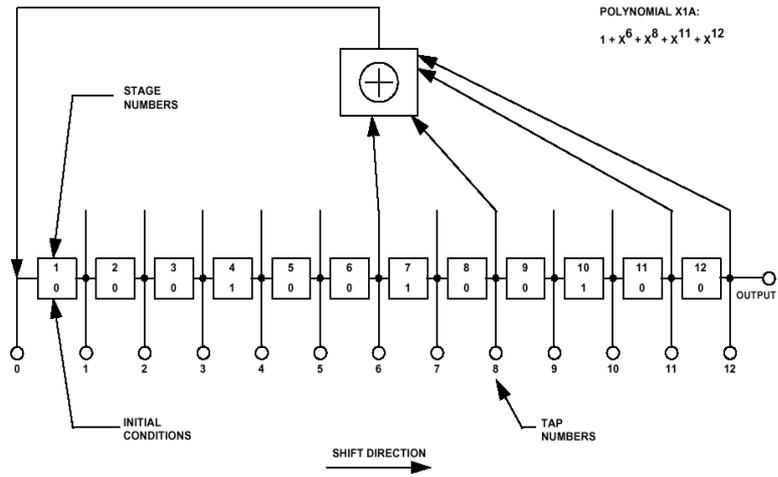


Figure 3-3. X1A Shift Register Generator Configuration

Registro X2A

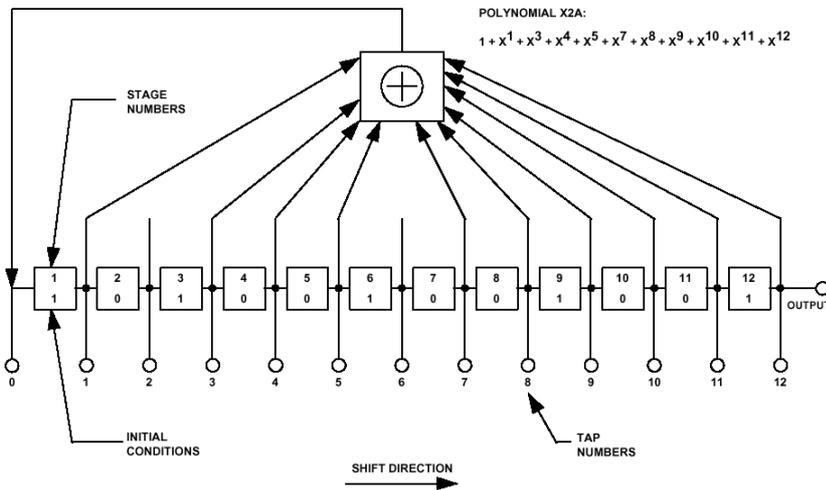


Figure 3-5. X2A Shift Register Generator Configuration

Registro X1B

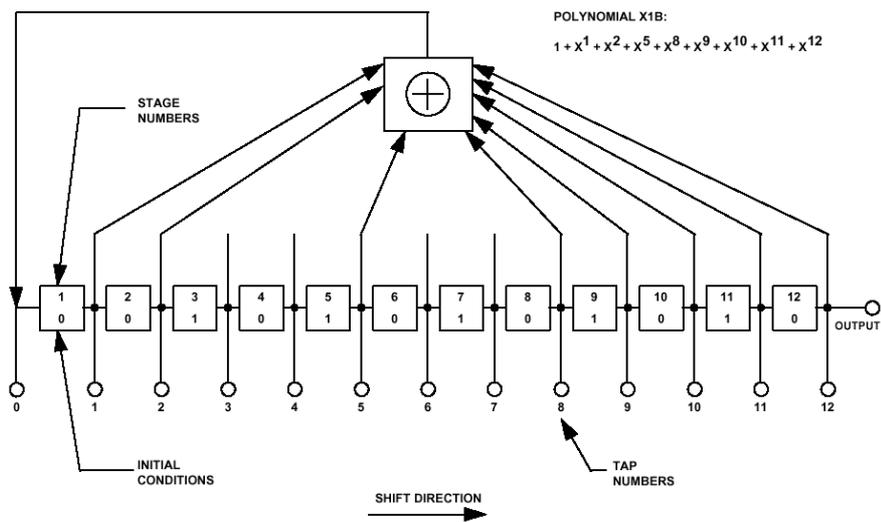


Figure 3-4. X1B Shift Register Generator Configuration

## Registro X2B

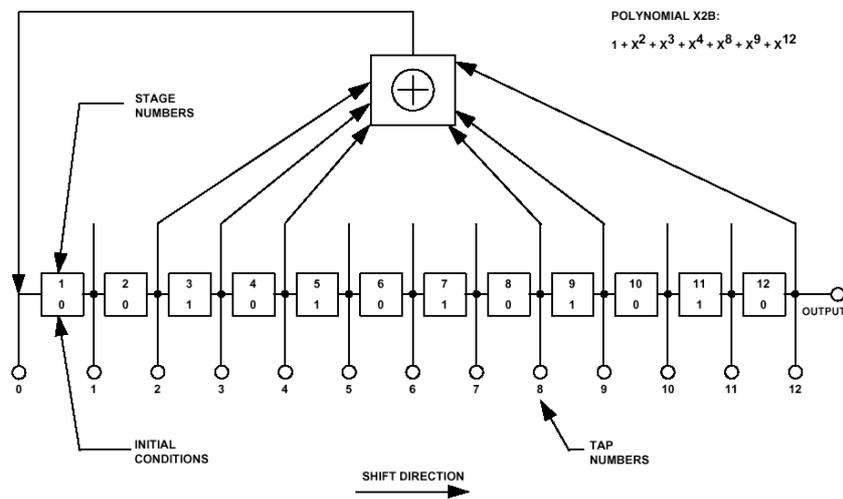


Figure 3-6. X2B Shift Register Generator Configuration

## Diagrama del código P

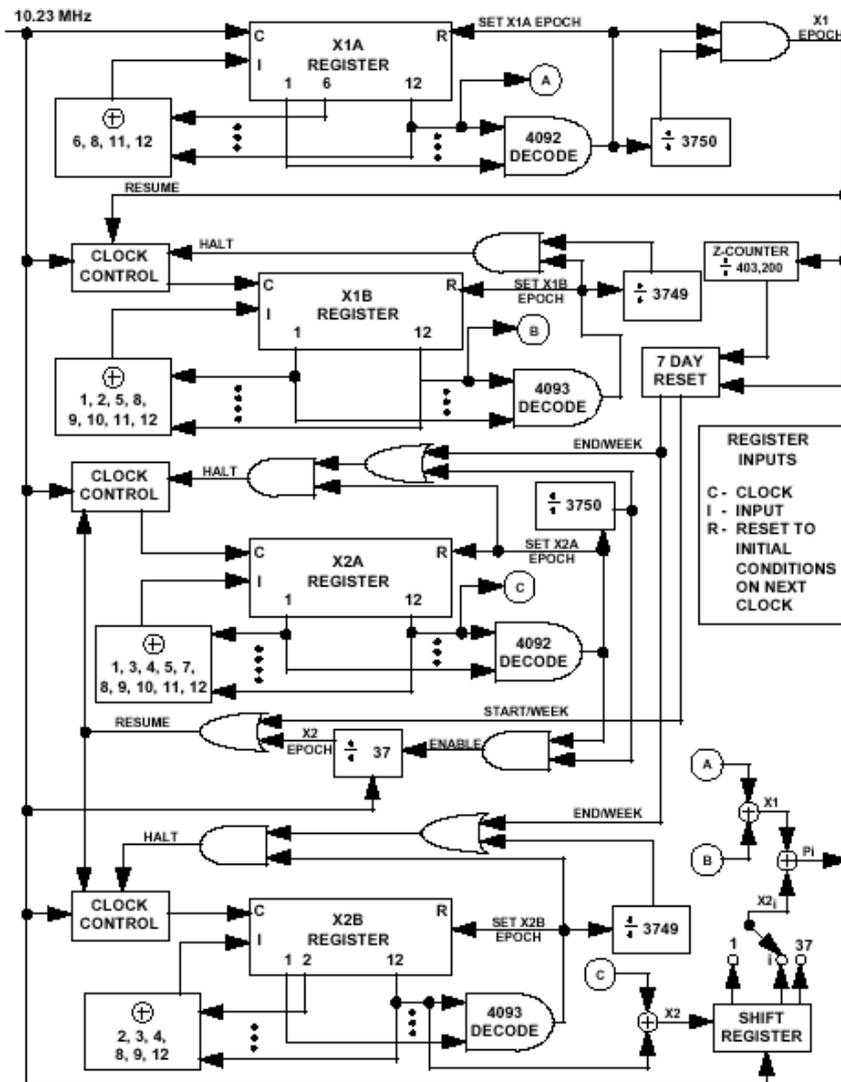


Figure 3-7. P-Code Generation

### La señal entre el satélite y el receptor.

La potencia que llega al receptor se puede cuantificar en condiciones normales de la siguiente manera:

Potencia mínima transmitida incluida la ganancia de la antena del satélite.....	26.8 dBW
Factor de pérdida por propagación en el espacio.....	-182.4 dBW
Factor de pérdida por propagación atmosférica.....	-2.0 dBW
Ganancia de la antena del receptor (resp. radiador isotropo)..	3.0 dBW

Potencia mínima recibida en el receptor -154.6 dBW. Está por debajo del ruido.

El satélite transmite con una potencia efectiva equivalente a una antena isotrópica que emita 478.63 W. ( $10\log 478.63 = 26.799$  dBW) (26.8 dBW). Este poder efectivo se consigue concentrando la potencia en un haz de aproximadamente  $30^\circ$  en dirección a la tierra. Esto proporciona una relación señal ruido suficiente para que el receptor pueda seguir al satélite si tiene visibilidad directa. En los casos de que exista un follaje denso o en las calles de las ciudades (cañones urbanos) la atenuación puede imposibilitar en muchas ocasiones la recepción de la señal. Los nuevos satélites emitirán con mayores potencias.

Como consecuencia de la propagación en ondas esféricas, la densidad de potencia sufre unas pérdidas durante su propagación en el espacio libre que se evalúan por la fórmula:

$$f_{ppe} = \left( \frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2$$

$$R = 2 \times 10^7 \text{ m y } \lambda = 0.19 \text{ m, da } f_{ppe} = 5.7 \times 10^{-19} = (10\log 5.7 \times 10^{-19}) = -182.4$$

En el receptor se produce una ganancia respecto al radiador isotrópico como consecuencia de la polarización circular a derechas de la antena GPS.

La atmósfera produce variaciones de la velocidad de propagación de la señal que se cuantifican en modelos matemáticos que no se exponen aquí. El movimiento relativo del par satélite receptor produce también variaciones de las frecuencias, efecto Doppler.

