

# **Función del UIT-R en la difusión de frecuencias patrón y señales horarias**

**Seminario de la UIT para la Región de las Americas  
20 de septiembre de 2012**

**Ron Beard (EE.UU.)  
Presidente  
Grupo de Trabajo 7A del UIT-R**

# Comisión de Estudio 7 – Servicios científicos

## Grupo de Trabajo 7A – Servicios de difusión de frecuencias y patrón y señales horarias



Responsable de los servicios de señales horarias y de frecuencia, tanto terrenales como por satélite

Definición de escala de tiempo para los servicios de radiocomunicaciones

Mantiene las cuestiones, serie de Recomendaciones TF, Informes, Opiniones y Manuales relativos a los fundamentos de la generación, medición y procesamiento de datos de las señales horarias y de frecuencia

Las áreas técnicas incluyen

- Escalas de tiempo y códigos de tiempo

- Transmisiones de señales horarias terrenales y de frecuencia, en ondas decamétricas, métricas y decimétricas

- Radiodifusión de TV

- Enlaces de microondas

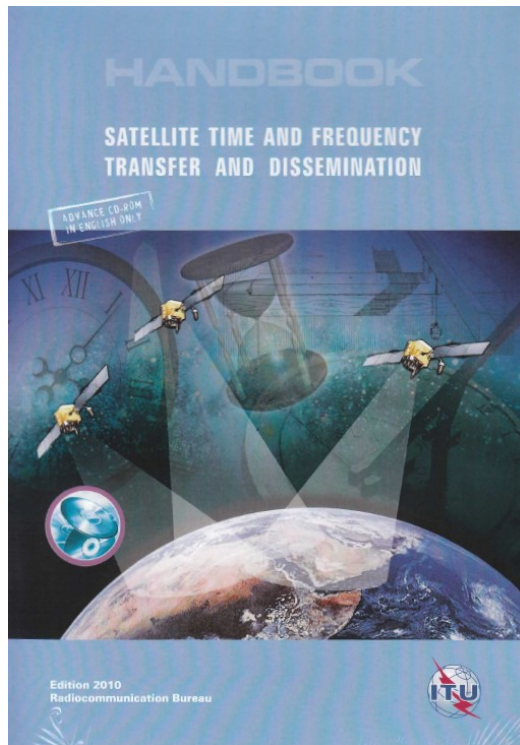
- Cables coaxiales y ópticos

- Comunicaciones espaciales incluidos los satélites de navegación, comunicaciones y metrología

- Frecuencias patrón, relojes y sistemas de medición de las señales horarias y de frecuencia

- Caracterización del comportamiento de las señales horarias y de frecuencia

# Manuales sobre sistemas y servicios de señales horarias y de frecuencia



# RECOMENDACIÓN UIT-R TF.460-6

## EMISIONES DE FRECUENCIAS PATRÓN Y SEÑALES HORARIAS

**DEFINE el Tiempo Universal Coordinado (UTC) como norma a efectos de radiocomunicaciones y telecomunicaciones**

horarias Mantener la coordinación mundial de las emisiones de frecuencias patrón y de señales

segundo Difundir las frecuencias patrón y las señales horarias de conformidad con la definición del

Sigue siendo necesario poder disponer inmediatamente del Tiempo Universal (UT) con una incertidumbre de 0,1 segundo

al Todas las emisiones de frecuencias patrón y señales horarias deben ajustarse lo más posible al Tiempo Universal Coordinado (UTC)

Las señales horarias no deben diferir del UTC más de 1 ms y en las frecuencias patrón la desviación no debe ser superior a 1 parte entre  $10^{10}$

**TAI** - Escala de referencia del tiempo atómico internacional basada en el segundo (SI) como se obtiene con arreglo al geoide rotativo. Es una escala continua desde su origen el 1 de enero de 1958

**UTC** - Basado en la difusión coordinada de las frecuencias patrón y las señales horarias. Corresponde exactamente en cuanto al régimen de transcurso con el TAI pero difiere de él en un número entero de segundos

**DUT1** - Difusión que incluye la *diferencia prevista* UT1 – UTC

(Los valores de  $\Delta T$  se dan en múltiplos enteros de 0,1 s)

**Los segundos intercalares pueden introducirse como el último segundo de un mes UTC. De preferencia en diciembre y junio. Marzo y septiembre como segunda elección.**

# Tiempo Universal Coordinado (UTC)

Creado por la necesidad de "coordinar" la hora en los diferentes centros de temporización para su difusión de señales horarias

Se define como una escala de tiempo atómico progresiva que permite la recuperación del UT1 a partir del Tiempo Atómico Internacional (TAI)

$UTC = TAI + n$  segundos, siendo  $n =$  número entero de segundos

Ajustado cuando la diferencia prevista mantenga

$UT1 - UTC < 0,9$  segundos

Régimen determinado por TAI de manera que el intervalo básico es un segundo SI

Mantenido por la Oficina Internacional de Pesos y Medidas (BIPM) con el apoyo del Servicio Internacional de Rotación de la Tierra y Sistemas de Referencia (IERS)

# Sistemas de difusión de señales horarias y de frecuencia



Los sistemas de satélites se han convertido en el principal medio de difusión

Amplias aplicaciones en redes celulares, sistemas de comunicación sincronizados y ajuste de la hora distribuido

Las señales de radiodifusión (tales como las transmisiones en ondas kilométricas) están disponibles con precisiones modestas

Las capacidades de las redes de ordenadores aumentan en uso y capacidad

Los sistemas computarizados se utilizan cada vez más

Soporte a aplicaciones de telefonía móvil

# Sistemas de satélites



El Sistema Mundial de Determinación de la Posición (GPS) se ha convertido en el principal sistema de transferencia y difusión de señales horarias utilizado prácticamente por todo el mundo; GALILEO y COMPASS han desarrollado capacidades similares

Se utilizan dos técnicas básicas para la comparación/difusión de las señales horarias

Modo únicamente de recepción pasiva –

Funciona de forma similar a un usuario de navegación

La posición del usuario puede conocerse mediante posicionamiento con las señales recibidas

Se observan las señales de modulación de determinación de la distancia o la fase de la portadora de señal de RF

Vista común –

Dos emplazamientos a la vista del mismo satélite al mismo tiempo

La posición del usuario normalmente se conoce a priori

Se observan las señales de modulación de determinación de la distancia o la fase de la portadora de la señal de RF

La transferencia de tiempo y frecuencia por satélite de forma bidireccional se ha convertido en el sistema elegido por los usuarios que necesitan una alta precisión y exactitud

Utiliza satélites de comunicaciones como medio de transferencia siendo conocida la posición del usuario

Un tema que reviste gran importancia es la calibración del equipo de recepción para cada técnica

La mayoría del resto de sistemas de navegación se utilizan cada vez menos debido a los problemas de calidad de funcionamiento y de coste, principalmente este último

# Concepto GPS

Pseudodistancia a cada vehículo espacial

$$\rho = c \cdot \Delta t$$

$$\rho = c \cdot [(t_R - SV_n(t))] + \Delta t_{prop} + b_R$$

$$SV_n(t) = t_R + \Delta t_{prop} + b_R - \frac{\rho}{c}$$

Reloj en funcionamiento libre en cada SV(t)

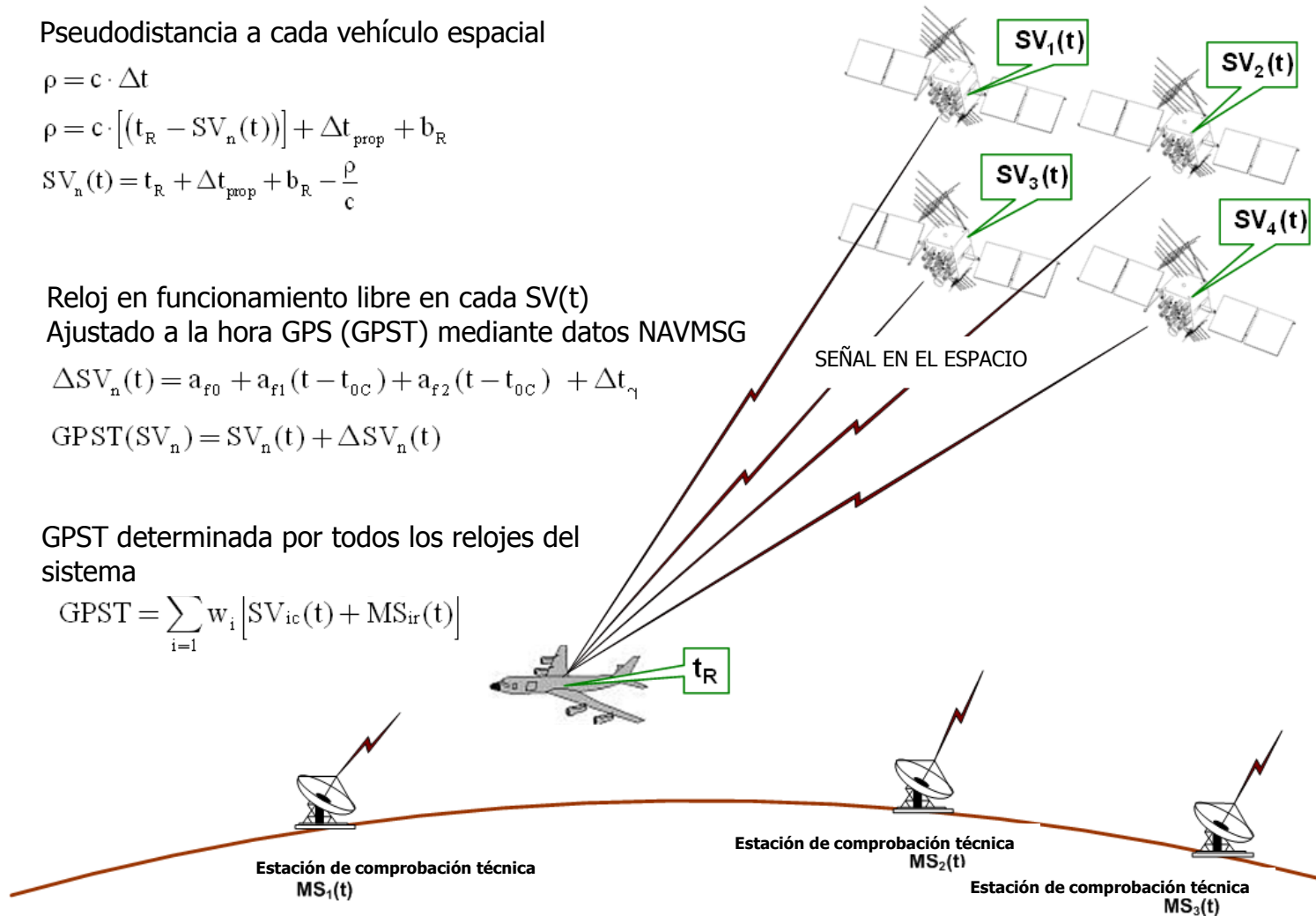
Ajustado a la hora GPS (GPST) mediante datos NAVMSG

$$\Delta SV_n(t) = a_{f0} + a_{f1}(t - t_{0C}) + a_{f2}(t - t_{0C}) + \Delta t_{\gamma}$$

$$GPST(SV_n) = SV_n(t) + \Delta SV_n(t)$$

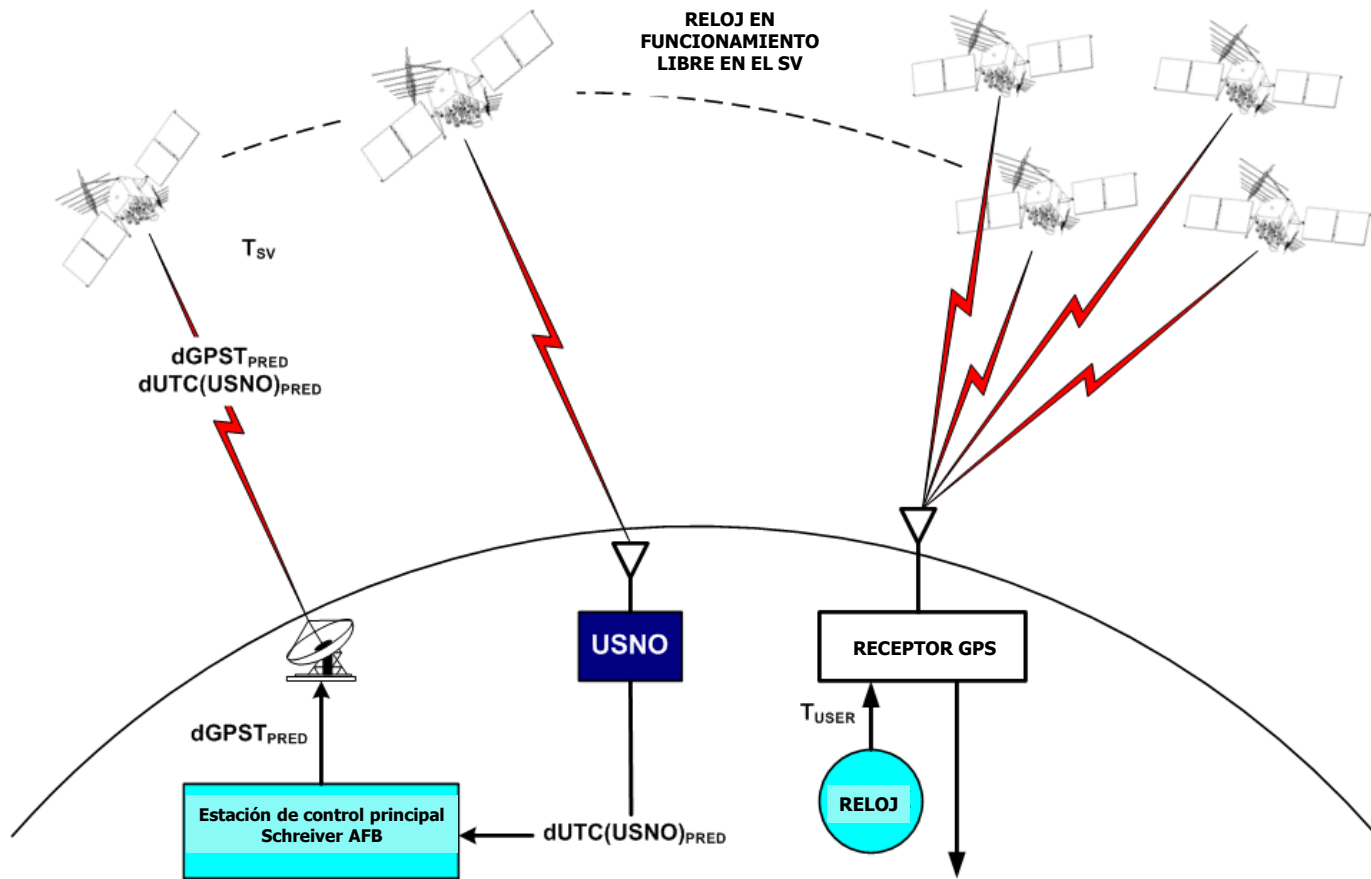
GPST determinada por todos los relojes del sistema

$$GPST = \sum_{i=1} w_i [SV_{ic}(t) + MS_{ir}(t)]$$





# Transferencia pasiva de señales horarias GPS



$$GPST = T_{SV(n)} + d(GPST)_n$$

$$GPST_{USER} = T_{USER} + [GPST - T_{USER}] + CAL_{USER}$$

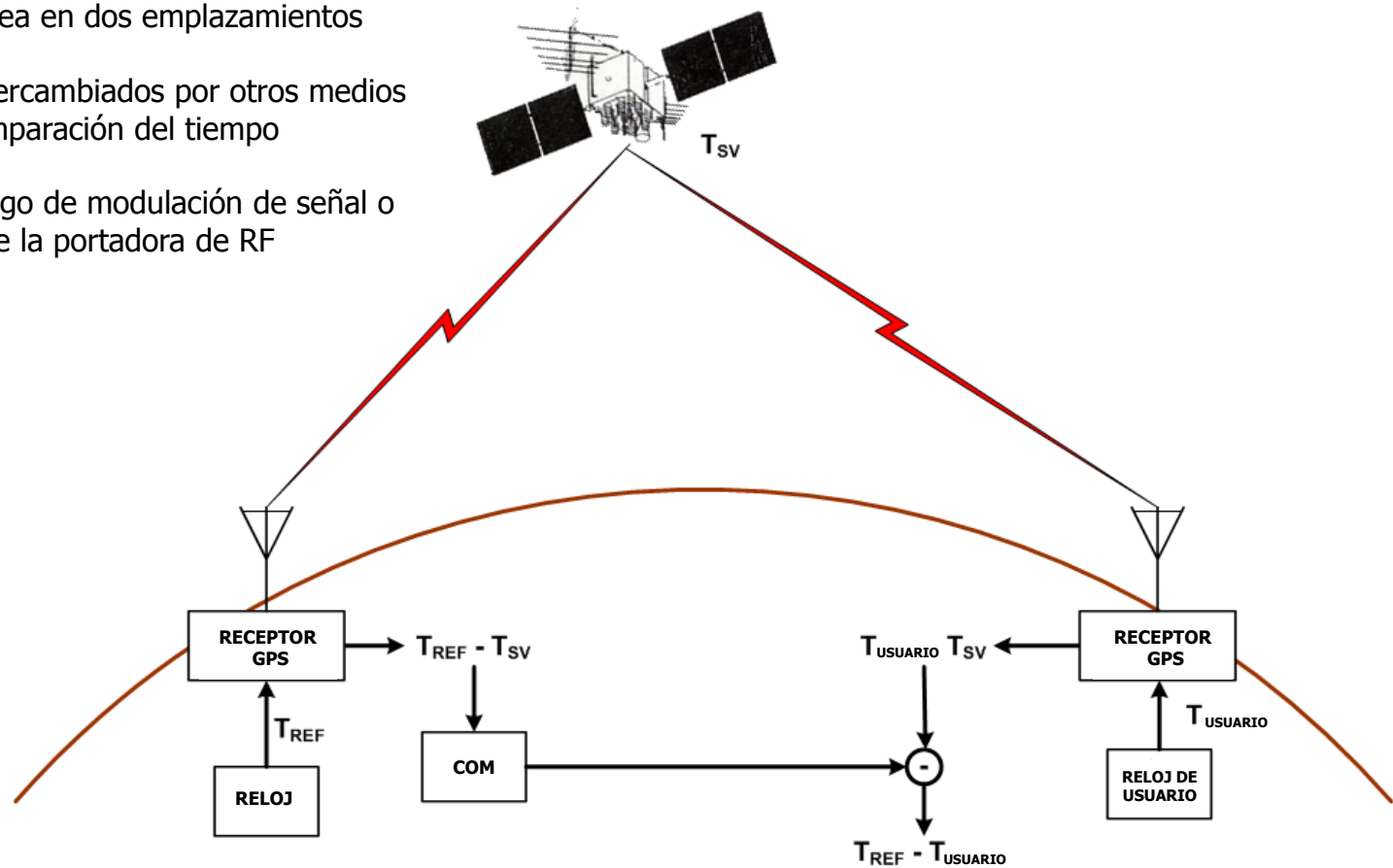
$$UTC_{USER} = GPST_{USER} + [UTC(USNO)_{PRED} - T_{USER}]$$

# Vista común GPS

Observación simultánea en dos emplazamientos

Datos observados intercambiados por otros medios para obtener una comparación del tiempo

Puede utilizar un código de modulación de señal o mediciones de fase de la portadora de RF



# Técnicas de fase de la portadora de RF GPS

Desarrolladas como resultado del Servicio GNSS internacional (IGS) – Proyecto piloto BIPM que finalizó en 2004 y se convirtió en un servicio regular a partir de IGS

IGS se inició como una red de emplazamientos participantes para estudiar los fenómenos físicos de la Tierra utilizando receptores geodésicos

Los Centros de Temporización que contribuyen al TAI/UTC se incorporan a la red conectando sus relojes atómicos al conjunto de datos geodésicos

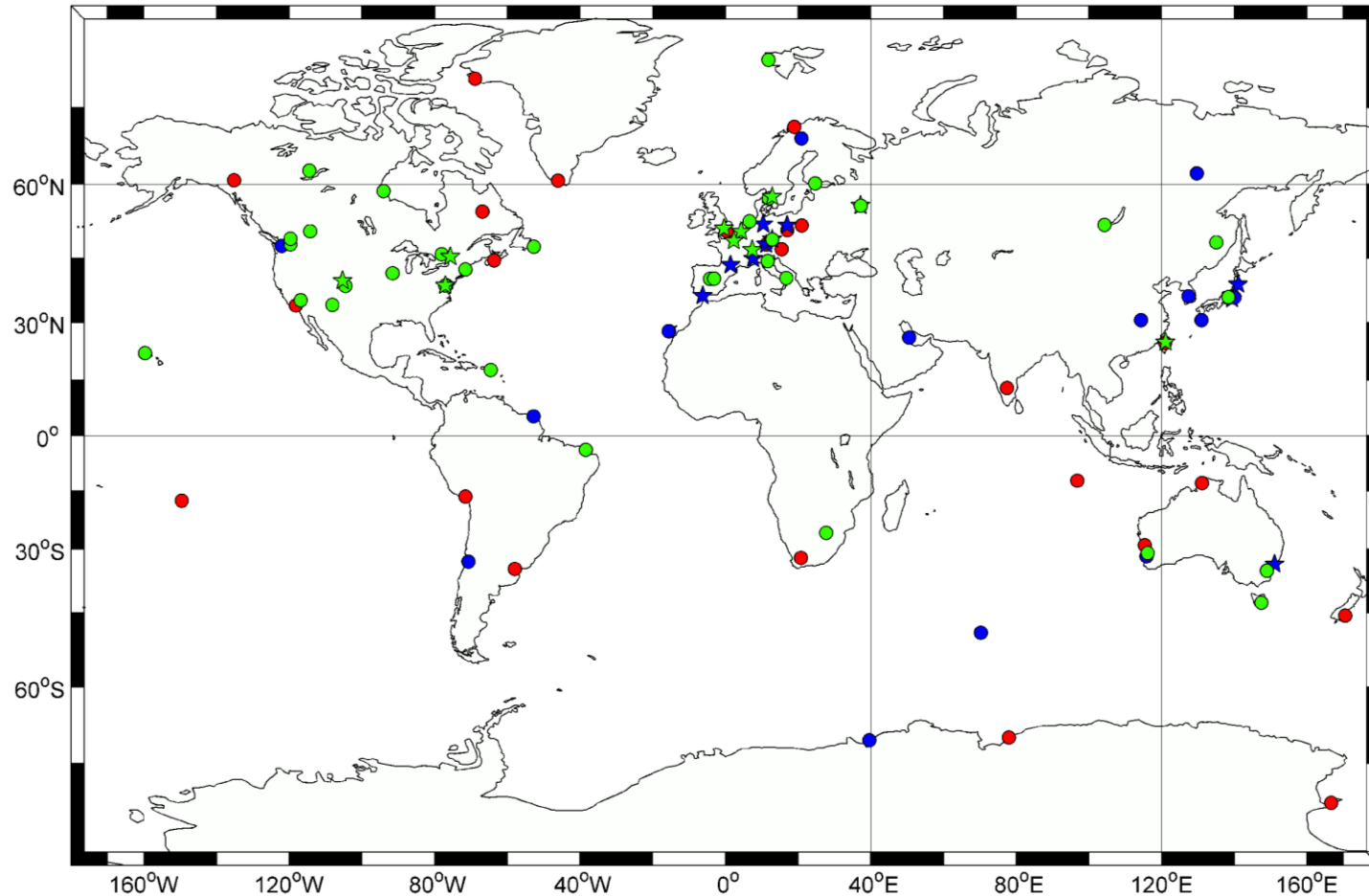
El proyecto piloto amplió los datos geodésicos de la red a una sincronización de las mediciones con una escala de tiempo común

El IGS produce conjuntos de datos geodésicos exactos que incorporan mediciones geofísicas y de tiempo precisas y una escala de tiempo IGS

La escala de tiempo IGS permite realizar comparaciones de tiempo de alta precisión entre los emplazamientos contribuyente y UTC

El funcionamiento de receptor pasivo que observa la fase de la portadora de RF y el procesamiento geodésico con el conjunto de datos IGS se conoce como posicionamiento de punto preciso (PPP)

# Centros de temporización que contribuyen al IGS



● masers (54)

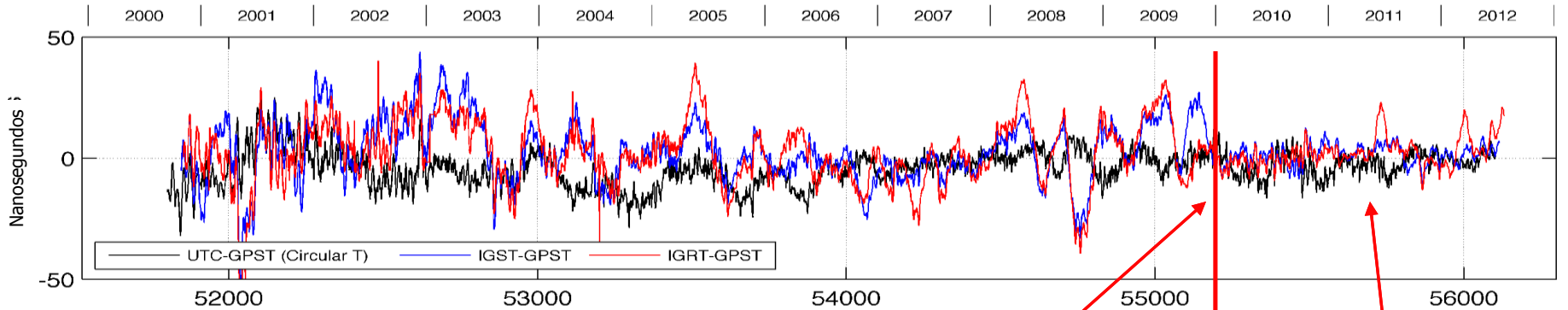
● cesio (32)

● rubidio (27)

★ estaciones laboratorio de tiempo (25)

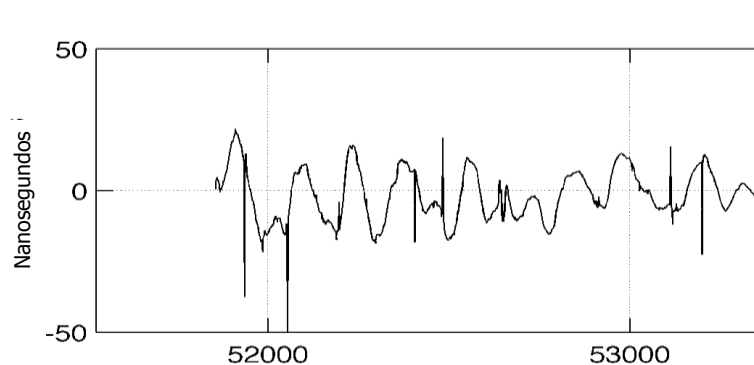
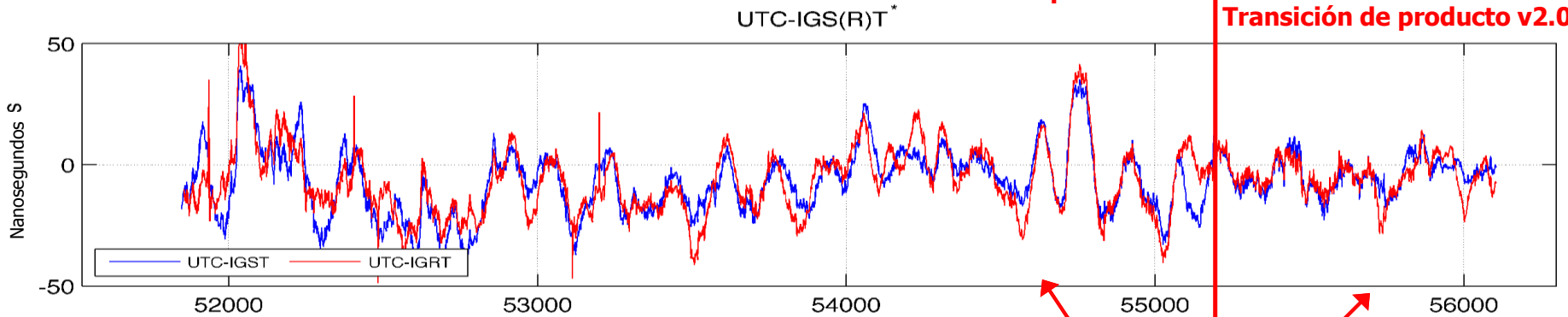
+ relojes espaciales GPS ...

# Escala de tiempo IGS vinculada actualmente a UTC



Escala de tiempo IGS v2.0

Transición de producto v2.0



|                   | <b>Tradicional</b>   | <b>v2.0</b>          |
|-------------------|----------------------|----------------------|
|                   | Media ± Desv. típica | Media ± Desv. típica |
| <b>IGST - UTC</b> | -6,9 ± 13,1          | -2,2 ± 2,7           |
| <b>IGRT - UTC</b> | -6,3 ± 13,7          | -4,5 ± 7,9           |

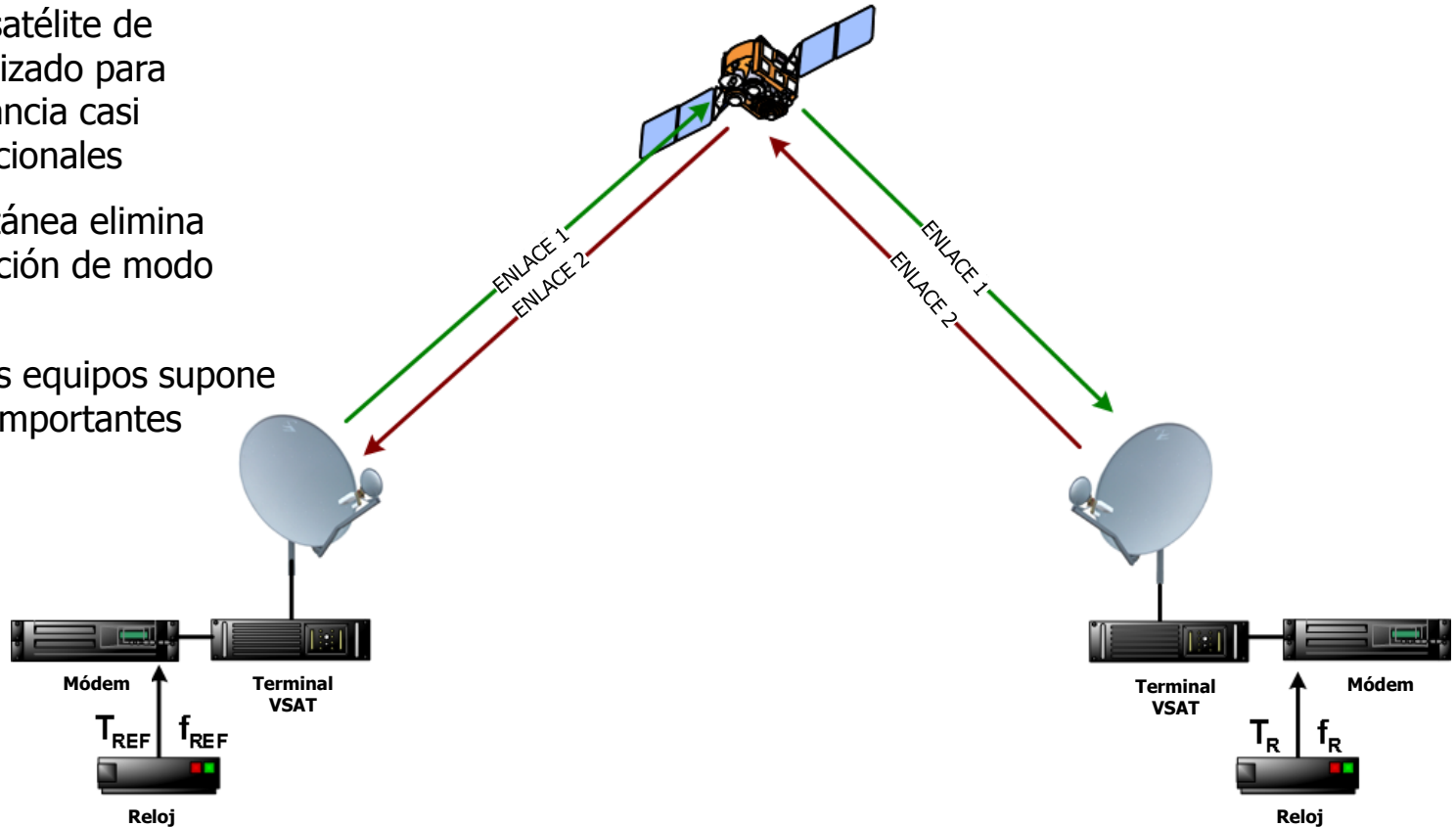
MJD

# Transferencia bidireccional por satélite de señales horarias y de frecuencias (TWSTFT)

Transpondedor de satélite de comunicaciones utilizado para mediciones de distancia casi simultáneas bidireccionales

La utilización simultánea elimina errores por cancelación de modo común

La calibración de los equipos supone retardos difíciles e importantes



$$T_R - T_{REF} = \frac{1}{2} \left[ \left( M_{(R-REF)} - M_{(REF-R)} \right) - \left( \delta t_{Ref\ receptor} - \delta t_{R\ receptor} \right) \right]$$

# Sistemas de aumento GNSS

Sistema de aumento de área amplia (WAAS) – EE.UU.

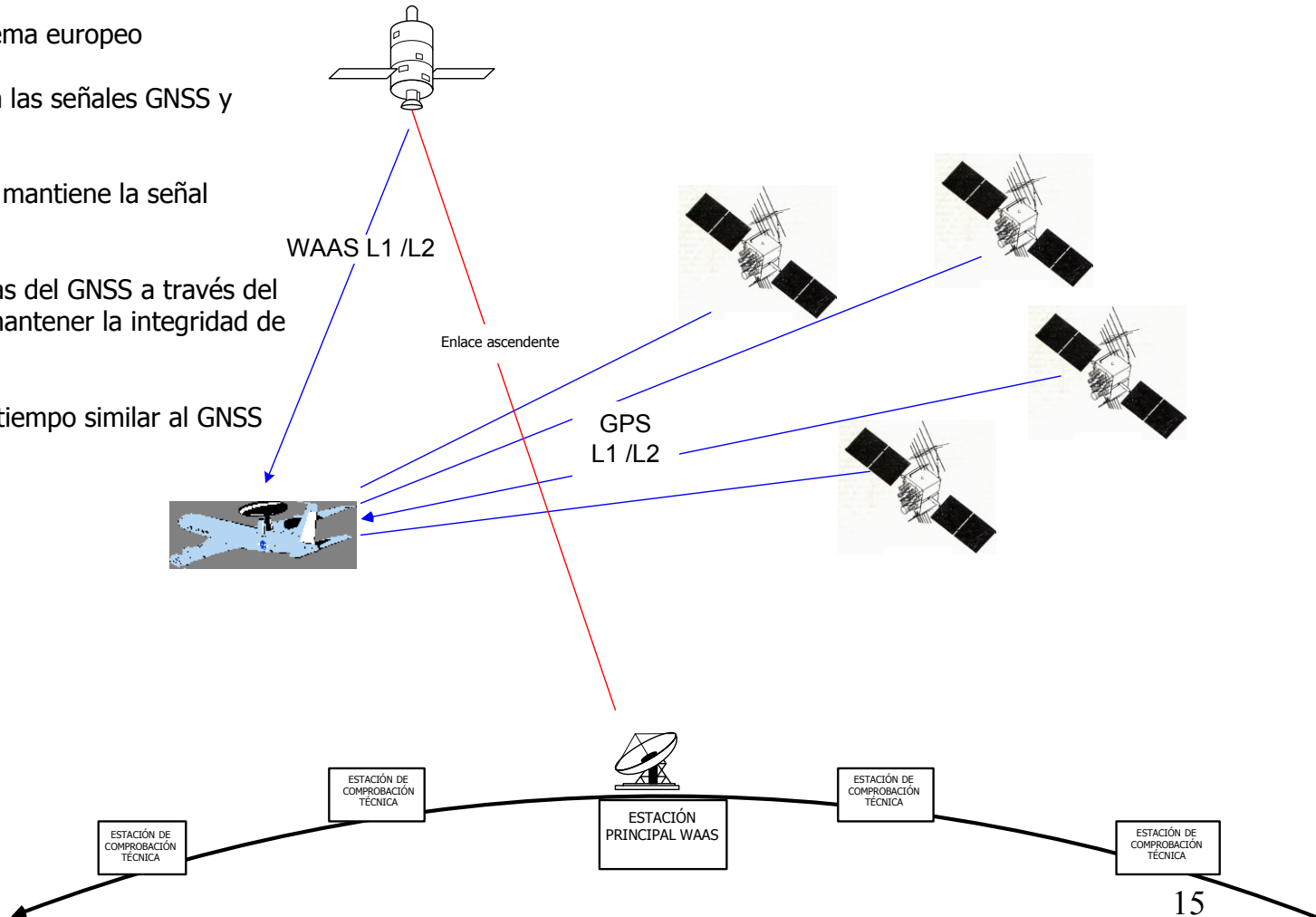
GNSS europeo (EGNOS) – Sistema europeo

El segmento de tierra supervisa las señales GNSS y mantiene la sincronización

El segmento de tierra asociado mantiene la señal horaria GNSS aumentada

Transmite señales similares a las del GNSS a través del transpondedor COMSAT para mantener la integridad de la señal

Capacidad de transferencia de tiempo similar al GNSS



# Técnicas de transferencia de señales horarias GNSS

| Parámetro                                      | GPS pasivo (SPS)  | GPS pasivo (PPS)   | Vista común (Base corta)   | Vista común (Base larga)   | Vista común avanzada   | Fase de la portadora                                      | WAAS/GPS   |
|--|---|--|--|--|--|---|--|
| <b>Precisión (ns) valor eficaz [Distancia]</b> | $\leq 8 \text{ ns}^{2,3}$<br>con respecto a UTC(USNO)                                   | $\leq 8 \text{ ns}$<br>con respecto a UTC(USNO)                                  | 3-8 ns<br>(punto a punto)  | 5-10 ns<br>(punto a punto)   | $\leq 5 \text{ ns}$<br>(punto a punto)   | $\leq 5-10 \text{ ns}$<br>(punto a punto)                 | $\leq 20 \text{ ns}$<br>con respecto a UTC(USNO) |
| <b>Principales fuentes de error</b>            | SA, multitrayecto, reloj, ionosfera, troposfera, equipo de usuario, RF, Temp (RX y Ant) | Multitrayecto, reloj, equipo de usuario, RF, Temp (RX y Ant)                     | Equipo de usuario, reciprocidad del trayecto, Efeméredis, (Temp)               | Equipo de usuario, reciprocidad del trayecto, Efeméredis, (Temp)                 | Equipo de usuario, reciprocidad del trayecto, Efeméredis (Temp)                  | Equipo de usuario, multitrayecto, deslizamiento del ciclo | Reloj, Efeméredis                                |
| <b>Estabilidad (Valor @ medio)</b>             | $\leq 8 \text{ ns @ } 13 \text{ min}$<br>$\approx 1 \text{ ns @ } 1 \text{ día}$        | $\leq 5 \text{ ns @ } 13 \text{ min}$<br>$\approx 1 \text{ ns @ } 1 \text{ día}$ | $\leq 4 \text{ ns @ } 1 \text{ hr}$<br>$\leq 1 \text{ ns @ } 48 \text{ horas}$ | $\leq 4 \text{ ns @ } 1 \text{ hora}$<br>$\leq 1 \text{ ns @ } 48 \text{ horas}$ | $\leq 4 \text{ ns @ } 1 \text{ hora}$<br>$\leq 1 \text{ ns @ } 48 \text{ horas}$ | $\ll 1 \text{ ns @ } 6 \text{ min}$                       | $< \text{ SPS pasivo}$                           |
| <b>Calibrabilidad</b>                          | 3-5 ns<br>con respecto a un RX normalizado  | 3-5 ns<br>con respecto a un RX normalizado                                       | 3-5 ns<br>con respecto a un RX normalizado                                     | 3-5 ns<br>con respecto a un RX normalizado                                       | 3-5 ns<br>con respecto a un RX normalizado                                       | $\ll 1 \text{ ns}$<br>Con                                 | 3-5 ns<br>con respecto a un RX normalizado       |
| <b>Velocidad de muestreo</b>                   | 1 por 13 min  | 1 por 5 min<br>1 por 13 min  | 1 por 13 min   | $\geq 1$ por 13 min<br>(procesamiento posterior)                                 | 1 por 5 min<br>1 por 13 min  | Similar a pasivo y vista común                            | Por determinar                                   |
| <b>Disponibilidad</b>                          | Tiempo real   | Tiempo real  | Dependiendo de la programación   | Dependiendo de la programación   | Dependiendo de la programación   | Dependiendo del procesamiento                             | Tiempo real                                      |

## Notas:

- Para lograr la precisión señalada
- Emplazamiento fijo con una posición 3D conocida a  $> 1$  metro, 3D
- Dependiendo del equipo de usuario
- Próximo a la fase del ruido de fondo



# Técnicas bidireccionales

| Parámetro  | TWSTFT  | Fibra óptica LAN-WAN                             | Fibra óptica de largo alcance                    | Bidireccional en Com (OTA)                       |
|--|---|--|--|--|
| <b>Precisión (punto a punto) [Distancia] (ns valor eficaz)</b> | $\approx 1$ ns (banda Ku)<br>$\approx 1$ ns (banda X)<br>$\approx 3$ ns (banda C) | $\leq 1$ ns @ 200 km                             | $\leq 2$ ns @ 8000 km                            | $\leq 5$ ns @ 200 km                             |
| <b>Principales fuentes de error</b>                            | Reciprocidad del trayecto, medio ambiente (Temp)                                  | Reciprocidad del trayecto, medio ambiente (Temp) | Reciprocidad del trayecto, medio ambiente (Temp) | Reciprocidad del trayecto, medio ambiente (Temp) |
| <b>Estabilidad (Valor @ tiempo medio)</b>                      | 200 ps @ 1 hora<br>100 ps @ 12 horas  | 100 ps valor eficaz                              | Por determinar                                   | Por determinar                                   |
| <b>Calibrabilidad (Nivel en ns)</b>                            | $\approx 1$   | $\approx 1$                                      | $\approx 2$                                      | $\approx 3-5$                                    |
| <b>Velocidad de muestreo</b>                                   | 1 por 5 min   | Continua   | Continua   | Continua   |
| <b>Actualización</b>   | Casi tiempo real  | Tiempo real                                      | Tiempo real                                      | Tiempo real                                      |

# Grupo de Trabajo 7A

## Actividades actuales



La pertinencia de la escala de tiempo de referencia UTC ha estado cuestionada desde 2000

En ese año se aceptó la nueva Cuestión UIT-R 236/7 para iniciar estudios sobre el tema

Se creó un Grupo de Relator Especial a fin de centrar el tema y los estudios correspondientes

La Oficina de Radiocomunicaciones y diversos organismos asociados llevaron a cabo encuestas al respecto

Se realizaron llamadas para recoger datos y se recopilaron los resultados

Se elaboró una propuesta de revisión de una Recomendación, pero no se llegó a un consenso sobre el tema

La Recomendación revisada se presentó a la Asamblea de Radiocomunicaciones y a la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones (CMR-12) para que tomasen una resolución al respecto

La Recomendación propuesta se devolvió al Grupo de Trabajo para que prosiguiese los estudios correspondientes

Se introdujo un punto en el orden del día de la CMR-15 sobre este asunto

Se invita a los Estados Miembros a que participen en los estudios sobre este tema presentado contribuciones al UIT-R

# El futuro de la escala de tiempo UTC

## Cuestión UIT-R 236/7

### (2000)



1. ¿Cuáles son los requisitos para que las escalas de tiempo mundialmente aceptadas se utilicen tanto en los sistemas de navegación como de telecomunicaciones y para el mantenimiento de la hora civil?
  - Precisión, estabilidad, basadas en el segundo SI
  - Uniformidad, accesibilidad
  - Fiabilidad
  - Disponibilidad
  - Mantenimiento de la hora civil/nacional
  
2. ¿Cuáles son los requisitos actuales y futuros para el límite de tolerancia entre el UTC y el UT1?
  - $|\text{UT1} - \text{UTC}|$  Tolerancia de 0,9 segundos
  - ¿Puede admitirse una tolerancia mayor?
  
3. ¿Satisface el actual procedimiento de segundos intercalares las necesidades del usuario o debe elaborarse un procedimiento alternativo?
  - Disponibilidad de información sobre el segundo intercalar para los usuarios
  - Alternativas utilizadas (establecimiento de un tiempo independiente del sistema)
  - Relación del tiempo interno de Telecom y el sistema NAVSAT con las escalas de tiempo

# Consideraciones previas



Crear una nueva escala de tiempo con un nuevo nombre tal como Tiempo Internacional (TI)

Eliminar UTC y sustituirlo por TI

Utilizar TAI en vez de UTC

TAI es una escala metrológica y no distribuida

La transición daría lugar a un mayor intervalo de tiempo

Adoptar GPS como la escala de tiempo internacional oficial

El tiempo GPS es un sistema de escala de tiempo interna en tiempo real

Obtenida a partir de relojes del sistema y no de centros de temporización mundiales

La velocidad y los intervalos de tiempo son variables y se establecen de acuerdo con las necesidades de sincronización del sistema

Incrementar la máxima tolerancia de DUT1

Se propuso previamente una hora, similar al horario de ahorro de energía (hora de verano)

Las principales organizaciones científicas y GNSS aún no han tomado una posición sobre este tema

Es una gran oportunidad para presentar contribuciones

Han proliferado una cierta variedad de escalas de tiempo del sistema internas continuas para proporcionar una solución a las discontinuidades en el UTC

# Futuros trabajos



Aún existen muchos malentendidos en las definiciones y aplicaciones de las escalas de tiempo y los tiempos del sistema para la sincronización interna

UTC es la única escala de tiempo normalizada internacionalmente, representada por aproximaciones locales en laboratorios de la hora, que debe usarse para la coordinación del tiempo de las radiocomunicaciones en todo el mundo y el seguimiento de las mediciones

TAI no es una opción para aplicaciones que necesitan una referencia continua pues no es posible difundirla ni está físicamente representado por relojes

El tiempo GPS no es una escala de tiempo de referencia pues se trata de un tiempo interno para la sincronización del sistema GPS, como podría serlo para el sistema GNSS

Ha proliferado una cierta variedad de escalas de tiempo del sistema internas continuas para proporcionar una solución a los problemas asociados a las discontinuidades en el UTC