

## **RELOJES PARA TEMPORIZACION**

**Referido a los tipos de relojes disponibles para la temporización de redes sincrónicas. Sobre los relojes de Cesio, Rubidio y Cuarzo. La distribución GPS de temporización.**

*"De tres cosas depende la belleza: en primer lugar, de la integridad y la perfección, y por eso consideramos feo lo que está incompleto; luego, de la justa proporción, o sea de la consonancia; por último de la claridad y la luz, y, en efecto, decimos que son bellas las cosas de colores nítidos."*

**Umberto Eco-1980**

### **1- DIGRESIÓN: TIEMPO, RELOJES y SINCRONISMO**

#### **1.1- CONCEPTO DEL TIEMPO**

Tanto **Aristóteles** (principal referente de la ciencia antigua hasta el renacimiento) como **Newton** creían en el tiempo absoluto. Ambos pensaban que podía medirse un intervalo de tiempo entre sucesos sin ambigüedad, y que dicho intervalo sería el mismo para cualquier observador. El tiempo era independiente y separado del espacio.

**O.C.Roemer**-1676, en una observación de eclipses de las lunas de Júpiter encontró que la velocidad a la que viaja la luz es finita. **A.Michelson y E.Morley**-1887, encontraron que la velocidad de la luz era independiente de la dirección y velocidad del observador que la mide. Independientemente y con diferencia de algunas semanas, **A.Einstein y H.Poincaré** en 1905, declararon que debía abandonarse la idea del tiempo absoluto; cada observador medirá un tiempo diferente con el reloj que dispone y en las condiciones que se encuentra. Se trata de la **teoría de la Relatividad**.

Einstein al advertir que la masa y energía son equivalentes extendió el principio gravitatorio de los objetos dotados de masa a las distintas formas de energía (incluidas la luz y las microondas). **A.Eddington**-1919, durante un eclipse de Sol pudo medir la desviación de la luz de las estrellas producida por la gravedad y confirmar la Relatividad.

Otra predicción de la Relatividad es que el tiempo debe transcurrir más lentamente cerca de un cuerpo de gran masa. Esto se debe a la relación entre la longitud de onda y la energía. Cuando la luz viaja hacia abajo en el campo gravitatorio terrestre incrementa la energía y la longitud de onda disminuye. Un observador en la superficie de la Tierra encuentra que el tiempo transcurre más lentamente que lejos de la misma. En 1962 se verificó dicho efecto mediante relojes de Cesio <sup>1</sup>).

#### **1.2- RELOJES ATÓMICOS**

Los tipos de relojes evolucionaron lentamente en los últimos milenios: En 4000 aC, los egipcios podían medir el día en 12 horas iguales mediante un **reloj de sol** (en 700 aC este reloj tomó la forma de reloj de sol actual). En 270 aC, Ctesibio de Grecia, inventó el *clepsidra* o **cronómetro de agua** (medición de tiempo mediante el goteo de agua entre dos depósitos). En 1335, en Milán se instaló el primer **reloj mecánico** (mediante pesas accionadas por la gravedad). En 1504, se desarrolló un muelle lo suficientemente pequeño para accionar un reloj de bolsillo. Fue **Galileo**-1581 quien descubrió el péndulo en la catedral de Pisa; en tanto que **Huygens**-1656 obtuvo el primer **reloj de péndulo**, útil para aplicaciones científicas. También escribe el primer libro referido a osciladores: *Horologium Oscillatorium*. En 1676 se construyen 2 relojes de péndulo de 4 mts de altura y de 2 seg de período para el Observatorio de Greenwich.

**TIEMPO ATÓMICO INTERNACIONAL IAT.** Fue **H.Lyons**-1949 quien desarrolló el primer **reloj atómico** basado en el amoníaco (vibración de la estructura cristalina de tetraedro regular a 24 GHz). Posteriormente se usó un proceso similar del Criptón (patrón de frecuencia en 1960) y en 1967 de Cesio. El **BIPM** (*Bureau of International Weights and Measures*) establece el estándar de tiempo actual. Lo define mediante el IAT basado en un proceso atómico invariante del átomo de Cesio (isótopo Cs-133). En efecto, la 13a Conferencia de Pesos y Medidas-1967 indica que el segundo es la duración de 9.191.631.770 períodos de la radiación correspondiente a la transición entre dos niveles hiperfinos del estado bajo del átomo de Cs-133. El BIPM dispone en realidad de una comparación de 100 relojes atómicos distribuidos en el mundo. El BIPM no entrega un tiempo estándar solo provee una comparación de los relojes que recibe desde distintas naciones.

<sup>1</sup>) La diferencia de tiempo medida en una latitud de 40 grados el reloj cambiará en  $+1,091 \cdot 10^{-13}$  seg/km de altura. En la cúspide del Cerro Aconcagua corresponde a 30  $\mu$ seg/año más rápido que a nivel del mar. Por otro lado, un móvil que se mueve a 270 m/s a una altura de 9 km se mueve a  $-4,96 \cdot 10^{-13}$ . Esta observación resulta de importancia debido a que los sistemas de navegación que trabajan por satélite (GPS) pueden entregar diferencias de tiempo y longitudes apreciables si no se toma en cuenta este efecto.

## RELOJES PARA TEMPORIZACION

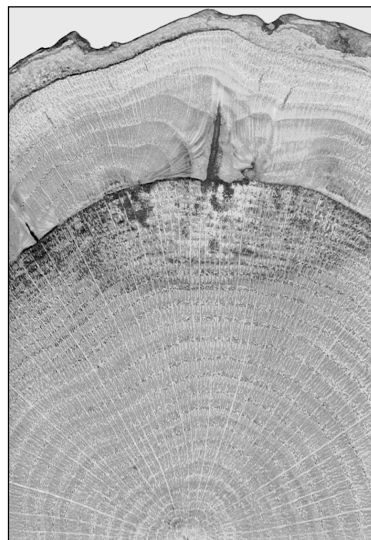
**TIEMPO UNIVERSAL COORDINADO UTC.** Es el anteriormente denominado **GMT** (*Greenwich Meridian Time*) y se toma en base al medio día de la ciudad de Greenwich <sup>2)</sup>. La coordinación entre el IAT y UTC se obtiene por adición y sustracción de segundos (segundos «bisiestos» que se colocan el 30/06 o 31/12 de cada año). El UTC se obtiene de los estándar entregados por el **NIST** (*National Institute of Standards and Technology*), antes denominado **NBS** (*National Bureau of Standards*) y por el **USNO** (*US Naval Observatory*) desde 160 relojes y 10 patrones primarios de Cs independientes. El **IERS** (*International Earth Rotation Service*) es el responsable de determinar el **UT1** sobre la base de la rotación terrestre.

Mediante el UTC y la frecuencia de la USNO se obtiene el sistema **LORAN-C** para distribución en aplicaciones militares y de navegación. Mediante el UTC y la frecuencia del NBS se obtiene la radio estación **WWV** para distribución de tiempo comercial desde 1960 (**ITU-R I.518-5**). Debido a que podemos medir con mayor precisión el tiempo que el espacio, el metro se define como la distancia recorrida por la luz en 3,335640952 nseg medidos por un reloj de Cesio. Este número en particular corresponde a la separación entre marcas existente en una barra de platino que se guarda también en París. Anteriormente se utilizaron unidades de medida de longitud derivadas de valores prácticos: Yarda (distancia desde la nariz a la punta del pie del dedo anular del brazo del rey Eduard de Inglaterra) y Pulgada (longitud de la última falange del pulgar del mismo rey). El metro se definió originalmente por el gobierno revolucionario francés como  $10^{-7}$  de la circunferencia de la Tierra desde el polo al ecuador.

**CRONOLOGÍA HISTÓRICA C-14.** Un tipo especial de reloj atómico lo descubrió **W.Libby**-1949. Se encontró que los rayos cósmicos al ingresar en la atmósfera da lugar a fragmentos nucleares. Un átomo de nitrógeno al chocar con un neutrón producido de esta forma pasa a un estado inestable, emite un protón y se convierte de C-14. El C-14 reacciona para formar la molécula de CO<sub>2</sub> e ingresa en el ciclo de la vida. El C-14 es un isótopo radiactivo y se desintegra (pasa a convertirse en nitrógeno debido a la pérdida de un electrón; equivalente a la conversión de un neutrón en protón). La fecha de 1950 se ha definido en el ámbito de la arqueología como el inicio de la era actual **BP** (*Before Present*) debido al descubrimiento del reloj de C-14.

La vida media del C-14 es de  $5730 \pm 30$  años (la materia orgánica que acaba de morir tiene una tasa de desintegración de 14 moléculas por minuto por gramo; luego de 5730 años la tasa de desintegración es la mitad). Permite medir la edad de la materia orgánica (hasta 40.000 años) mediante el proceso denominado **Datación de radiocarbono**. Sin embargo, como la tasa de radiación y de C-14 no fue estable a lo largo del tiempo este método requiere una corrección basada en la **dendrocronología**. Se trata de la medición de tiempo encontrada en 1916 en base a los anillos de crecimiento de los árboles. En especial el *Pinus Aristata* vive más de 4900 años en California y es el ser vivo de mayor longevidad.

**MÉTODO DE DATACIÓN POTASIO-ARGÓN.** El potasio K-40 se forma en una proporción 1/10.000 átomos de potasio en rocas volcánicas. El tiempo medio de vida de K-40 es de 1300 millones de años. El K-40 pierde un protón y resulta en Argón A-40 (un gas noble no reactivo con otros elementos). Se lo utiliza para dataciones superiores a 50.000 años; resultando complementario al radiocarbono. Ha sido de especial utilidad para la datación de los antecesores del hombre actual: Australopithecus, Homo Habilis y Homo Erectus en el Rift Valley-Olduvai en Tanzania. Otro método de datación atómico se basa en la desintegración del Uranio (U-238 y U-255) pertenecientes a las rocas de carbonato de calcio y que se desintegran en Torio Th-230 y Protactinio Pa-231.



---

<sup>2)</sup> El Observatorio de Greenwich fué fundado por la Royal Society en 1675 con el objetivo de "averiguar la longitud, para una correcta navegación".

## RELOJES PARA TEMPORIZACION

### 1.3- SINCRONIZACIÓN

Nuestra disciplina es menos rica que las mencionadas anteriormente; se ocupa del sincronismo de temporización de equipos de comunicaciones. En 1959 la **Bell Labs** desarrolló el proyecto **Essex** (*Experimental Solid State Exchange*) consistente en una central de conmutación digital con concentradores PCM y transmisión digital. Uno de los problemas descubiertos desde aquella época es la sincronización de los centros de la red (plesiócrones mutuamente). Por **sincronizar** <sup>3)</sup> se entiende el proceso de hacer esclavo (*slave*) un reloj desde otra señal.

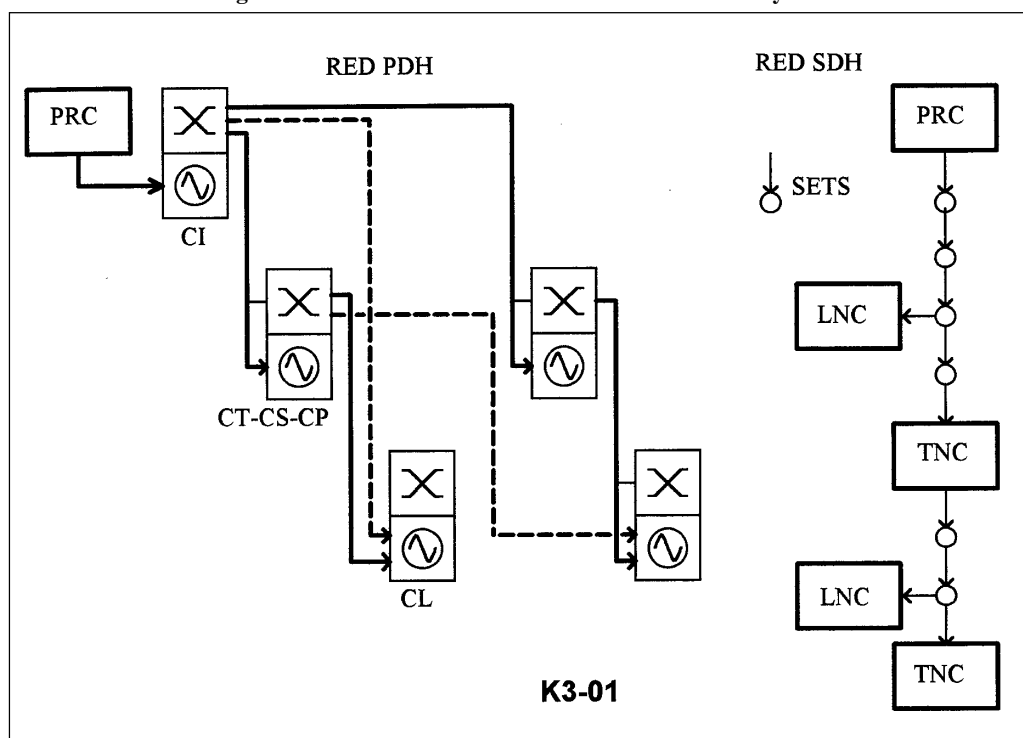
**MÉTODOS DE SINCRONIZACIÓN.** En las redes digitales se mezclan las áreas internamente sincrónicas conectadas con áreas plesiócrones entre sí. Una clasificación de las formas de operación es la siguiente:

- Operación síncrona despótica: subordinado, jerárquico o externo.
- Operación síncrona mutua: con control uniterminal o control biterminal.

La sincronización despótica ocurre cuando un reloj asume el poder sobre los otros. En el método subordinado, conocido también como amo-esclavo, uno de los relojes actúa de maestro (*master*). En el método jerárquico existe un orden entre los relojes para ocupar la función de maestro en caso de falla. En el caso de reloj externo la sincronización se recibe desde afuera de la red.

La sincronización mutua permite eliminar el reloj maestro y hacer que cada uno de los relojes se sincronice con el valor promedio de todos los relojes entrantes al nodo. En el caso del control uniterminal se toma el valor medio entre los relojes entrantes y el local. El problema de la sincronización mutua uniterminal es la imposibilidad de compensar los efectos de la fluctuación de fase lenta. El control biterminal en cambio, transmite la diferencia de fase medida en un nodo al otro, obteniéndose un control enlazado en ambos extremos. Se observan que las redes pueden ser sincronizadas mediante una combinación compuesta por centros de conmutación internacionales que funcionan con sincronización plesiócrona entre sí con relojes de alta estabilidad y memorias buffer para reducir el número de deslizamientos; centros nacionales regionales con sincronización despótica o plesiócrona jerarquizada y centros locales con sincronización despótica. Los relojes de estrato superior se sincronizarán mediante receptores GPS.

**Fig 01. Funcionamiento del sincronismo en redes PDH y SDH.**



Dos son las posturas actualmente en uso. Por un lado, se crea una pirámide jerárquica de niveles de sincronización denominado **Plan de Sincronización**. En la **Fig 01** se muestra un ejemplo de dicha estructura. Por otro la red de sincronismo se divide en sectores, cada uno obteniendo el sincronismo desde el sistema GPS. Las PTT europeas adoptan la estructura

<sup>3)</sup> Sincronismo y cronómetro provienen del dios griego *Chronos* (representante del tiempo secuencial). Los griegos tenían otro dios *Kairos* que representaba el tiempo y la oportunidad.

## **RELOJES PARA TEMPORIZACION**

jerárquica en tanto que en USA se prefiere la dependencia del GPS. Los europeos no están dispuestos a depender de un sistema de sincronismo administrado por el Departamento de Defensa de USA.

El funcionamiento de distintas redes se puede determinar de las siguiente forma:

- Modo Sincrónico; poseen el mismo reloj.
- Modo Pseudo-sincrónico. Se trata de 2 redes con reloj de estrato 1 en ambos casos.
- Modo Plesiócrono. Los elementos se encuentran en Holdover o Free running.
- Modo Asincrónico. El valor de offset de frecuencia es elevado (20 ppm para AIS).

## RELOJES PARA TEMPORIZACION

### 2- RELOJ DE REFERENCIA PRIMARIO PRC

#### 2.1- FUNCIONAMIENTO DE RELOJES DE REFERENCIA

**CANDIDATOS A RELOJES DE REFERENCIA.** Se pueden mencionar los tipos de relojes de la **Tabla 01** como candidatos para referencia de sincronización primaria **PRC** (*Primary Reference Clock*) o reloj de estrato 1.

**Tabla 01. Tipos de relojes de referencia PRC.**

<b>Hidrógeno</b>	El Maser de Hidrógeno permite una estabilidad de $10^{-15}$ . El efecto de amplificación por emisión estimulada másér se produce en la frecuencia de 1.420.405.752 Hz. El efecto solo dura algunos días. Se lo usa en navegación espacial y para orientación de telescopios. Se aplica en GPS Block II.
<b>Cesio</b>	El reloj atómico de Cesio (Cs-133) emite en la frecuencia 9.191.631.770 Hz. El tiempo medio entre fallas MTBF es de 5 años debido al agotamiento del Cesio. La estabilidad es mejor que $10^{-11}$ . Es por ello, el reloj de estrato 1 por excelencia.
<b>Rubidio</b>	El reloj atómico por bombeo óptico de Rubidio (Rb-87) trabaja en la frecuencia de 6.834.682.613 Hz. La estabilidad es de $10^{-10}$ . El costo es inferior al Cesio y el tiempo entre fallas MTBF es de 10 años <sup>4)</sup> .
<b>Cuarzo</b>	El reloj con cristal de Cuarzo se lo encuentra dentro de un oscilador controlado por tensión PLL. Genera una frecuencia dependiente de la estructura física del cristal. Estos relojes permiten estabilidades de estrato 2 y 3, dependiendo del control de temperatura implementado.

**MÁSER DE HIDROGENO.** En aplicaciones científicas se requieren frecuencias de referencia de alta estabilidad. Por ejemplo para mejorar la precisión en experimentos de relatividad se requiere  $10^{-16}$ , mientras que para mediciones de deriva continental se requieren valores de  $10^{-15}$ .

El primer Maser atómico se construyó en 1953 con amoníaco. **H.Ramsay**-1960 lo aplicó al átomo de Hidrógeno. Los átomos de H se focalizan mediante un campo magnético e ingresan en una cavidad. En ella se dispone de un campo de microondas de 1420 MHz. A esta frecuencia el H emite fotones alimentando el campo. Los átomos que han reaccionado con el campo son nuevamente focalizados y detectados. Con esto se logra un factor de selectividad Q de  $10^9$ . Sin embargo, la alta estabilidad lograda de  $10^{-15}$  solo dura en tanto el efecto Maser se mantiene, por algunos días. Un Maser de H es preferible por su estabilidad solo para aplicaciones de pocos días (el Block II del sistema GPS utiliza relojes de H en combinación con relojes de Cesio).

**RELOJ ATÓMICO DE CESIO-133.** Es el más común en el estrato 1. En la **Fig 02** se observa un diagrama a bloques del funcionamiento. El reloj se fundamenta en un VCO a cristal y un filtro basado en una bomba de átomos de **Cs<sup>133</sup>**. El efecto físico es cuántico e invariante en el tiempo. Se denomina «Resonancia en fase atómica» (**Ramsay**-1949).

Un reservorio contiene los átomos de Cs a 100°C. Por un orificio se permite la salida de un haz atómico que se focaliza mediante un selector magnético. En la cavidad los átomos reaccionan con un **campo de microondas** de 9.191 MHz (*frecuencia de Bohr*). Para aislar la cavidad del exterior se la sumerge en un campo magnético uniforme. Los átomos que reaccionan producen una **transición de energía** que los coloca en un estado de alta excitación. Los átomos que han reaccionado con el campo se separan del resto mediante un selector magnético colocado a la salida de la bomba. Los mismos son detectados y se genera una corriente eléctrica proporcional al número de átomos incidentes en el detector.

De esta manera, si el campo de microondas cambia de frecuencia la corriente de salida disminuye. Externamente a la bomba de Cs se dispone de un amplificador, ya que la corriente que entrega el detector es de algunos picoAmper. La transferencia de la cavidad (corriente vs corrimiento de frecuencia  $\Delta f$ ) sigue el patrón de resonancia Ramsay.

Luego se dispone del verdadero oscilador, ya que la bomba funciona simplemente para indicar un corrimiento de frecuencia (filtro de frecuencia) igual que el Maser de H. El factor Q del filtro es de  $10^8$ . El oscilador VCXO se encuentra estabilizado por un cristal funcionando a 5 MHz. El bucle de fase se controla mediante la salida de la bomba. Los 5 MHz que entrega el oscilador en su conjunto son multiplicados convenientemente para obtener la frecuencia de microondas. De esta forma el reloj atómico de Cesio presenta al exterior una frecuencia de salida de 5 y 10 MHz (puede seleccionarse también 2048 y 1544 kHz) con la estabilidad a corto plazo del cristal de Cuarzo y a largo plazo de la bomba de Cesio.

**RELOJ DE RUBIDIO-87.** En el caso del **reloj de Rubidio** se trata de aprovechar la resonancia atómica del Rb<sup>87</sup> para controlar un VCO a cristal similar a la **Fig 02**. Una señal de microondas se obtiene desde el VCO y se aplica a una celda de vapor de Rb. La celda contiene otros átomos para impedir que el Rb colisione con las paredes produciendo ruido de fase.

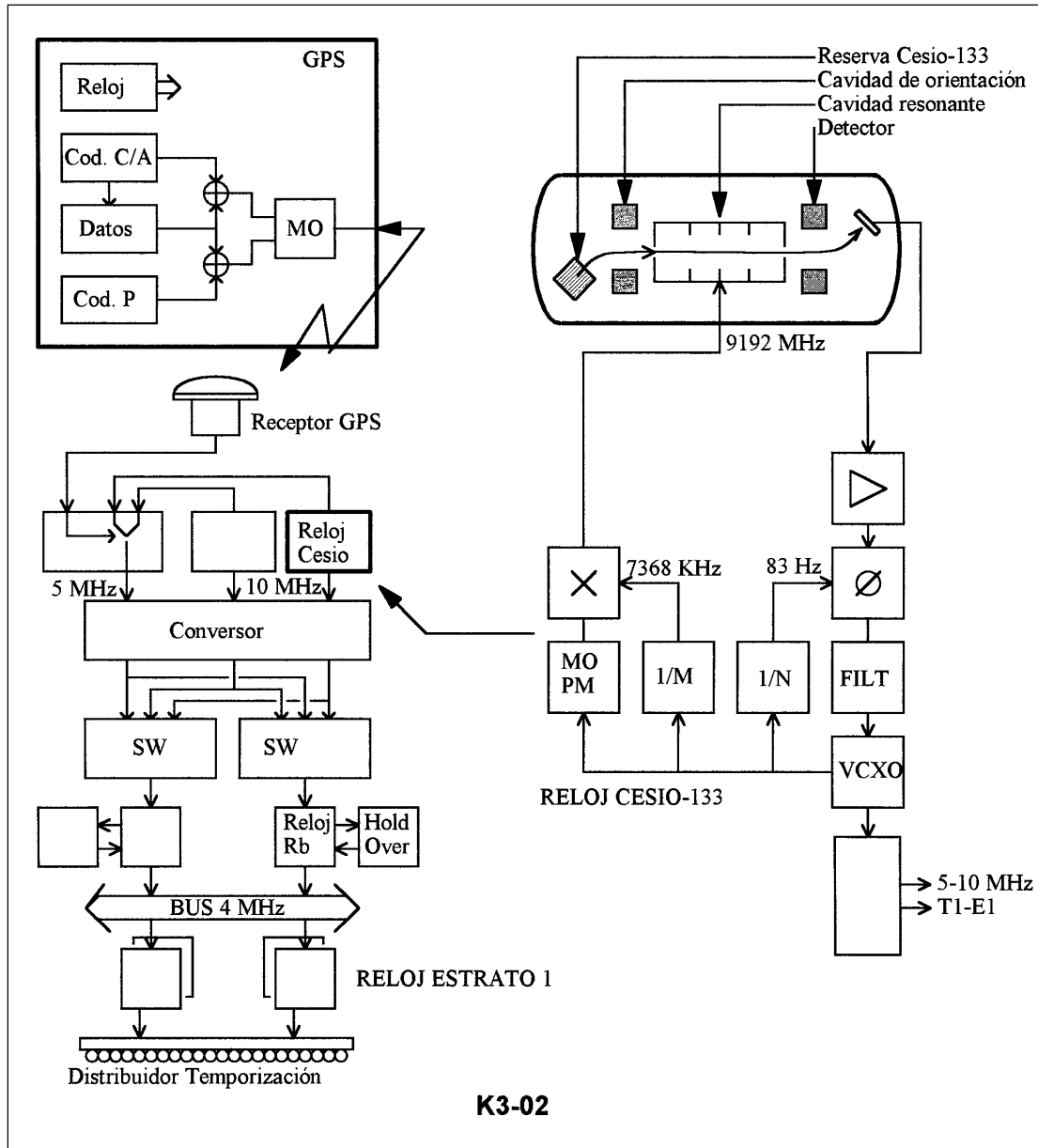
---

<sup>4)</sup> En 1814 Fraunhofer descubrió las líneas espectrales. G.Kirchoff en 1960 descubrió el Cesio y el Rubidio mediante datos de espectroscopía. La palabra Cesio deriva del latín "cielo azul" y Rubidio de "rojo" debido al color de las rayas espectrales.

## RELOJES PARA TEMPORIZACION

La luz procedente de una lámpara Láser pasa por la celda e ilumina a un fotodetector. Cuando la microonda aplicada corresponde a la resonancia del Rb (6834 MHz) la luz es absorbida y cambia la corriente de salida con la que se controla al VCO. El factor Q logrado es de  $10^7$ ; menor al Cesio. En cambio, el costo es inferior y el tamaño del tubo también lo es (20 cm contra 50 cm). Si bien el reloj patrón de células de gas de Rubidio no es el mejor, puede resultar una solución económicamente útil en muchas aplicaciones (su costo es cercano a 1/5 del valor del reloj de Cesio). Si de comparación en función del factor Q del filtro se trata, digamos que el Mercurio-199 tiene un Q de  $10^{12}$  para una transición hiperfina en 40,5 GHz. Pero permanece aún sin aplicación comercial.

**Fig 02. Reloj de estrato 1 y reloj de Cesio.**



**RELOJ CON CRISTAL DE CUARZO.** El primer reloj de cuarzo data de **W.Morrison-1930**. Se fundamenta en la propiedad piezo-eléctrica: una deformación mecánica del cristal produce una tensión eléctrica y viceversa. La frecuencia de vibración depende de la forma y dimensiones del cristal (resonancia natural a 32768 Hz). En cuanto a la **fiabilidad** el reloj de Cuarzo es mejor que el de Cesio, que dispone de un tiempo medio entre fallas MTBF del orden de 3 a 5 años (**ITU-R I.898**). Los relojes de cuarzo tienen valores superiores a 20 años y los de Rubidio de 5 a 10 años. El menor costo de los relojes de Cuarzo y la confiabilidad los hacen ideales colocados en osciladores controlados por tensión mediante un bucle de fase **VCXO-PLL**. Otra variante son cristales de cuarzo estabilizados en cámara térmica (**OCXO**) con procesamiento numérico y con filtrado digital (**Fig 03**).

## RELOJES PARA TEMPORIZACION

En la misma **ITU-R 1.898** se mencionan las pruebas de calificación que deben cumplir los relojes comerciales. Además de la estabilidad y otros valores relacionados, el MTBF debe relacionarse con las condiciones ambientales (temperatura, vibración, choque, humedad, presión atmosférica, campos magnéticos e interferencias).

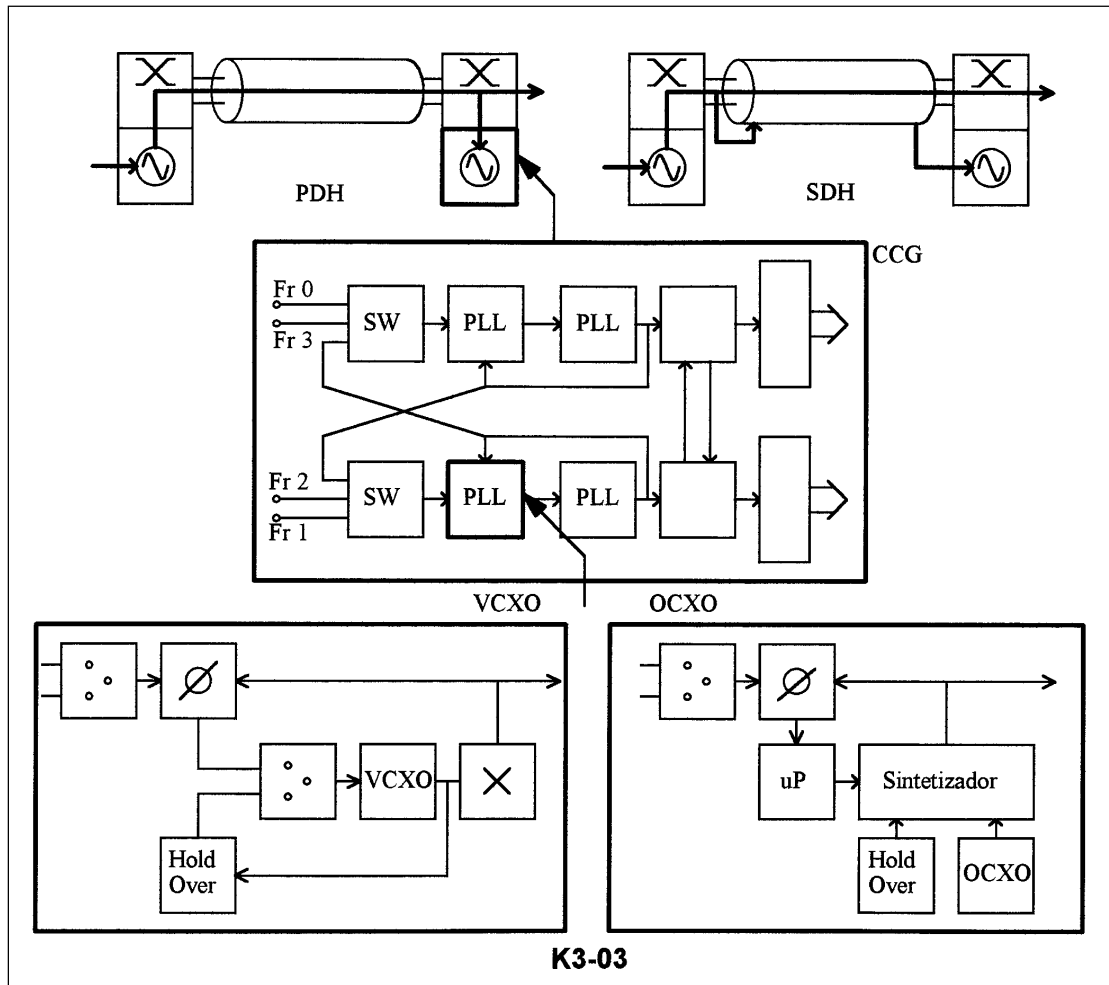


Fig 03. Formato de distribución de reloj en PDH y SDH.

### 2.2- DISTRIBUCIÓN DE TIEMPO

**LORAN-C.** El sistema más antiguo de distribución de tiempo es LORAN-C (*Long-Range Navigation*) que se puso en práctica a fines de la década de 1950 y es operado por la Guardia Costera de USA. Consiste en recibir (3 a 5) transmisiones de baja frecuencia de radio a  $100 \pm 10$  kHz y de alta potencia, que disparan señales de temporización (trenes de 8 pulsos con 1 mseg entre pulsos) en lugares fijos del planeta y en tiempos muy precisos. En la actualidad el sistema tiene 3 relojes de Cesio en cada localización y permiten una incertidumbre inferior a 1  $\mu$ seg hasta los 2000 Km de distancia.

La recepción de al menos 3 transmisores permite el cálculo de la posición de la estación receptora mediante el criterio de **navegación hiperbólica**. La recepción de solo una estación Loran-C permite determinar cambios de tiempo o frecuencia. El receptor para el sistema Loran-C es de bajo costo pero su señal no está disponible por igual en todo el planeta. Permite una corrección de frecuencia pero no entrega el valor del tiempo real. En diversas aplicaciones el sistema Loran-C es actualmente reemplazado por sistemas de distribución mediante satélites. Desde 1962 se realiza la distribución horaria por satélite. En aquel año se compararon los relojes de USNO en USA y de **RGO** (*Royal Greenwich Observatory*) intercambiando impulsos de 5  $\mu$ seg de duración con un ritmo de 10 Hz mediante el satélite de telecomunicaciones Telstar.

Un sistema, denominado **Transit**, opera desde el año 1965 hasta por lo menos 1997. Dispone (1990) de 7 satélites en órbita polar lo cual impide una cobertura permanente. Recibe apoyo de la Marina de USA y se referencia con el UTC (USNO) permitiendo una precisión de  $\pm 10$   $\mu$ seg. Cada satélite transmite un mensaje continuo en la portadora de  $400,1 \text{ MHz} \pm 25 \text{ kHz}$  (UHF). El mensaje contiene 6103 bits en 156 palabras de 39 bits con 19 bits adicionales. De los 39 bits se disponen de 36

## RELOJES PARA TEMPORIZACION

datos y 3 bits de paridad, telemetría y corrección de error. Algunos avances especiales se introducen con el **Nova Spacecraft** del programa Transit desde 1975.

El costo de un receptor para el sistema Loran-C se encuentra entre 1000 y 10000 \$us; mientras que para el sistema Transit es de 15000 \$us y para el GPS de 25000 \$us. Los relojes atómicos de Cesio locales tienen la dificultad del alto costo (entre 35.000 y 45.000 \$us).

**SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL.** Uno de los más conocidos sistemas de distribución de tiempo es el **GPS** mediante satélites que trabaja en la frecuencia 1575,42 MHz. Fue desarrollado por el Departamento de Defensa de USA mediante los satélites **Navstar**. Operó inicialmente para la transferencia de señales horarias y luego como sistema de navegación. La ex-URSS dispone de un sistema similar al GPS denominado **Glionass** (*Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema*).

Las principales características de GPS son:

- GPS (Block I)** consta de una cobertura global desde 1991. Son 21 satélites y 3 de reserva ubicados en 6 planos orbitales.
- Planos orbitales son: 272,8 W; 332,8 W; 32,8 W; 92,8 E; 152,8 E; 212,8 E.
- La inclinación de las órbitas es de 55° sobre ecuador y altura de 20183 km. El período orbital es de 12 horas.
- Con la visibilidad de 3 satélites se obtiene la posición horizontal y con 4 satélites se obtiene la altura snm.
- Cada satélite tiene relojes patrón (2 de Cesio  $10^{-14}$ /día y 2 de Rubidio  $10^{-13}$ /día).
- El sistema **GPS (Block II)** se inicia en 1995 y lleva a bordo relojes de Hidrógeno ( $10^{-15}$ /día).
- Los satélites transmiten en 1575,42 MHz con distinto código (*Spread Spectrum*).

-GPS brinda los servicios **SPS** (*Standard Positioning Service*) para uso civil y el **PPS** (*Precise PS*) para uso militar.

-El error en PPS es de 22 m en el plano horizontal y 27,7 m en el vertical (95% de probabilidad).

-El error en SPS es de 100 m y 156 m respectivamente.

-Los errores de GPS se deben a: error de efemérides (4,2 m); efectos relativistas (2,7 m); efectos atmosféricos (4,3 m); ruido del receptor (1,5 m); fading multipath (1,2 m); estabilidad del reloj (4,0 m); otros (1,9 m).

En la **Tabla 02** se mencionan los principales componentes de la señal en GPS, el diagrama a bloques se encuentra en la **Fig 02**. Se sugiere ver también el Capítulo referido a sistemas satelitales móviles. Se disponen de 2 códigos que transmiten ambos la misma secuencia de datos. El código corto C tiene aplicaciones civiles, en tanto que el código largo P se lo utiliza para aplicaciones militares. Se lo somete a cambios periódicos diarios para evitar su reconocimiento por fuerzas no autorizadas.

**Tabla 02. Componentes de la señal emitida por los satélites del sistema GPS.**

<b>Código P</b>	El primer código es un código <b>largo P</b> ( <i>Protected</i> ) y es el mismo para todos los satélites. Tiene una velocidad de 10,23 Mb/s (frecuencia del reloj) y un período de 7 días ( $6,19 \times 10^{12}$ chips). Cada satélite tiene el mismo código pero con distinto corrimiento para aprovechar la auto-correlación. Esto es preferible para evitar falsas sincronizaciones en caso de interferencias
<b>Código W</b>	Se trata de un código para criptografiar al código P (protección <i>antispoofing</i> ). El código W es desconocido y genera con conjunto el código P el <b>código Y</b> . Glonass no está criptografiado. La criptografía sobre el código P reduce la precisión desde 10 mts a 100 mts. Mediante la detección diferencial con varios receptores se pueden lograr precisiones inferiores al metro.
<b>Código Y</b>	Para evitar el <i>jamming</i> intencional y permitir el servicio en aplicaciones militares. Este sistema criptográfico se denomina <i>antispoofing</i> .
<b>Código C/A</b>	El segundo código <b>corto C/A</b> ( <i>Clear/Access</i> ) es un código Gold, distinto para cada satélite de 1,023 Mb/s. <b>Gold-1964</b> señaló el algoritmo para seleccionar pares de códigos preferidos. El período de chips es de 1 mseg (1023 chips), polinomio generador $X^{10}+X^2+1$ . Se aprovecha la correlación cruzada (preferible para acceso CDMA). Este código sirve para el sincronismo inicial (búsqueda y detección secuencial por corrimiento de 1 bit).
<b>Datos</b>	Ambos códigos son compuestos mediante una función Or-exclusiva con una <b>señal de datos</b> de 50 b/s. Los datos llevan paridad para corrección de errores, mensajes de navegación espacial, UTC y otros. El mensaje de navegación (total 37500 bits) lleva las efemérides del satélite (parámetros de órbita kepleriana para corrección de perturbaciones de órbita causa por gravitación), datos de reloj y almanaque. Los parámetros de órbita elíptica kepleriana son: semieje mayor y excentricidad de elipse, inclinación del plano de órbita, argumento de perigeo, tiempo de satélite desde el perigeo y ascensión en órbita. El tiempo y calendario GPS se toma desde USNO (inicio 6/1/1980) y es actualizado por stuffing con UTC.
<b>MOD</b>	La modulación usada es la QPSK con portadoras de $L1= 1575$ MHz (154 veces la frecuencia del reloj). La fase en cuadratura (I para el código corto y Q para el código largo) llevan una atenuación de 3 dB. La misma secuencia larga se transmite en BPSK sobre $L2= 1227$ MHz (120 veces la frecuencia del reloj).



## RELOJES PARA TEMPORIZACION

### 2.3- EJEMPLO DE RELOJ PRC DE ESTRATO 1

En la **Fig 02** se muestra un esquema en bloques de una instalación de reloj de sincronización. Se trata de un conjunto de etapas que combinan las estabilidades de distintos tipos de reloj. En la red de comunicaciones de Argentina se disponen de 2 relojes de este tipo ubicados en Buenos Aires para la región norte y sur del país. Se trata de una combinación de relojes de Cesio y GPS que subordinan a relojes de Rubidio con la función Hold-over. Los componentes involucrados se mencionan en la **Tabla 03** (referencia *Telecom Solution*).

Un reloj TNC de estrato 2 involucra un diagrama simplificado donde los relojes de Cesio no existen. Los relojes de Rubidio son subordinados desde entradas externas (provenientes del medio de transmisión) o desde el GPS. En un LNC de estrato 3, en cambio, el reloj de Rb se reemplaza por VCXO (cristal de cuarzo en doble cámara térmica) con referencias externas y Hold-over pero sin GPS. Un reloj típico de un centro de conmutación se indica en la **Fig 03**.

**Tabla 03. Componentes de un reloj de referencia primario PRS de estrato 1.**

<b>CESIO</b>	Son dos relojes de Cesio que actúan como referencia libre, independientes y redundantes por seguridad. Estos relojes pueden entregar 4 frecuencias: 5 MHz, 10 MHz sinusoidal, E1 y T1 en formato G.703 de reloj.
<b>GPS</b>	El <b>receptor GPS</b> obtiene la referencia desde el sistema satelital. Una señal de 4 kHz proveniente del receptor junto a la antena (unidad <i>out-door</i> ). Se utiliza para promediar las señales de 5 MHz desde los relojes de Cesio. Se obtiene de esta forma la señal también de 5 MHz ajustada desde los relojes Cs mediante el GPS.
<b>Converter</b>	Un <b>convertor de frecuencia</b> convierte la señal de 5 MHz del GPS y dos señales de 10 MHz del Cesio. La salida son 6 señales de 2048 kHz.
<b>Switch</b>	Estas señales se distribuyen a dos <b>conmutadores de señal de referencia</b> con prioridades distintas. De esta forma se intenta no disponer de la misma prioridad sobre ambos conmutadores.
<b>RUBIDIO</b>	Las señales que se obtienen desde ambos conmutadores se entregan a dos <b>relojes de Rubidio</b> . Estos relojes son subordinados por la señal entrante. Se combina entonces la estabilidad a corto plazo del Rubidio con la de largo plazo de Cesio. El Rubidio tiene la función de <i>hold-over</i> para mantener la estabilidad con falla de referencias primarias. En un estrato 2 el Rb es subordinado desde entradas externas o desde el GPS.
<b>BUS 4 kHz</b>	Permite llevar la temporización desde el conjunto generador de reloj hasta las unidades de distribución. Se disponen de 2 bus uno para cada reloj duplicado.
<b>Distribución</b>	El <b>distribuidor de temporización</b> permite entregar señales de reloj en distintas formas. La señal de 2 MHz en onda rectangular o sinusoidal es usada para los equipos de transmisión SDH. Los centros de conmutación requieren de una señal de 2 Mb/s con trama normalizada. Otras señales, como ser 64 kb/s, están disponibles para ser utilizadas en otros equipos.

