



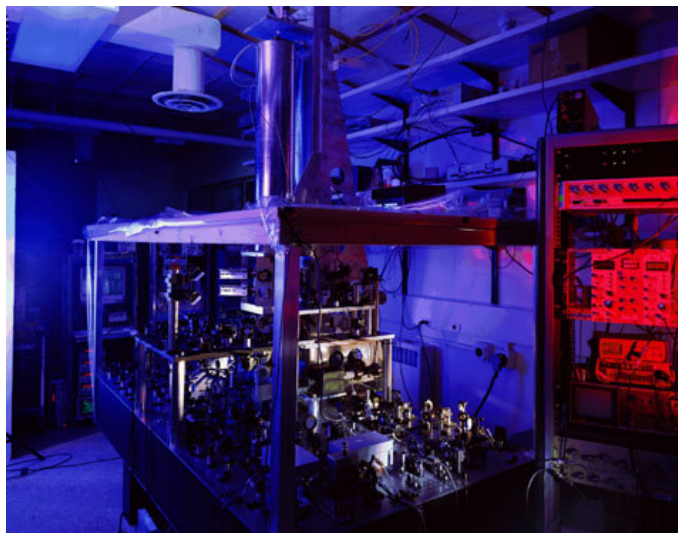
Universidad del Cauca
Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones
Departamento de Telemática



Sistemas de Conmutación

Sincronización en Redes Telefónicas Públicas Conmutadas

Dr. Ing. Álvaro Rendón Gallón
Popayán, marzo de 2011



Reloj Atómico de Cesio NIST-F1 (Boulder, Colorado)
<http://tf.nist.gov/cesium/fountain.htm>

NIST-F1 is a caesium fountain atomic clock that serves as the United States' **primary time and frequency standard**. As of the summer of 2005, it is so accurate that it will neither gain nor lose one second in more than 80 million years. The clock took less than four years to test and build, and was developed by Steve Jefferts and Dawn Meekhof of the National Institute of Standards and Technology (NIST) physics lab in Boulder, Colorado.

Similar atomic fountain clocks, with comparable accuracy, are operated by other time and frequency laboratories, such as the **Paris Observatory** and the **Physikalisch-Technische Bundesanstalt** in Germany.

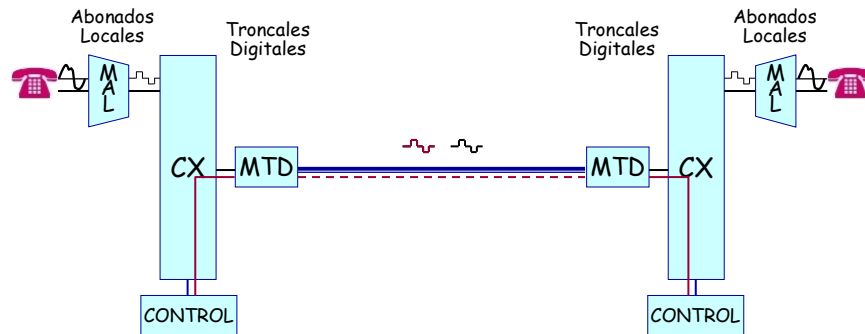
<http://en.wikipedia.org/wiki/NIST-F1>

Reloj Atómico de Cesio NIST-F1 (Boulder, Colorado)
<http://tf.nist.gov/cesium/fountain.htm>

Temario

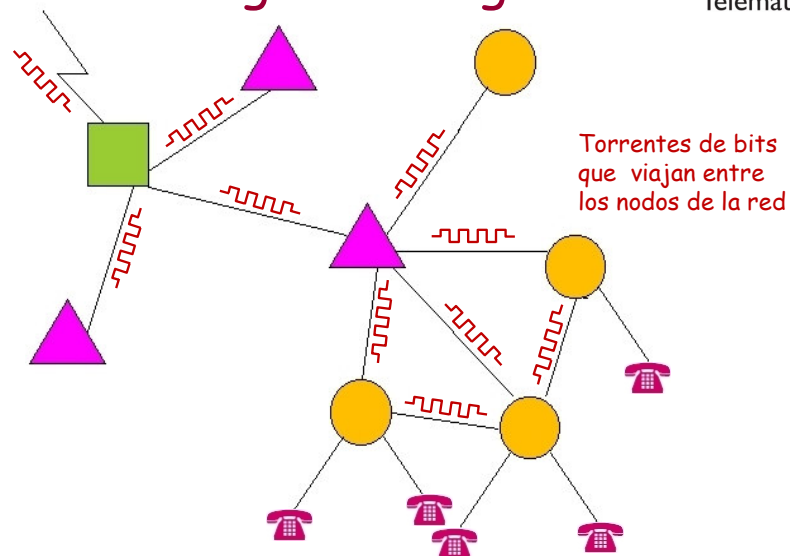
- Introducción
- Deslizamientos
- Relojes
- Métodos de sincronización

Red Digital Integrada

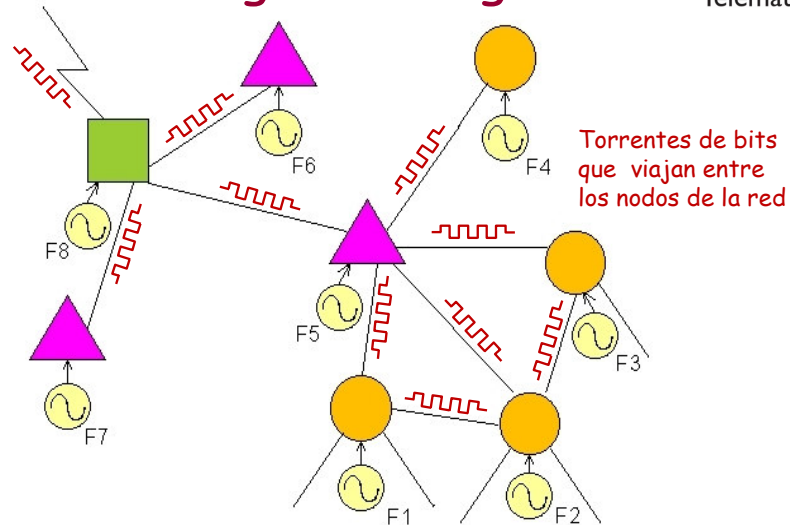


Enlaces y Centrales Digitales

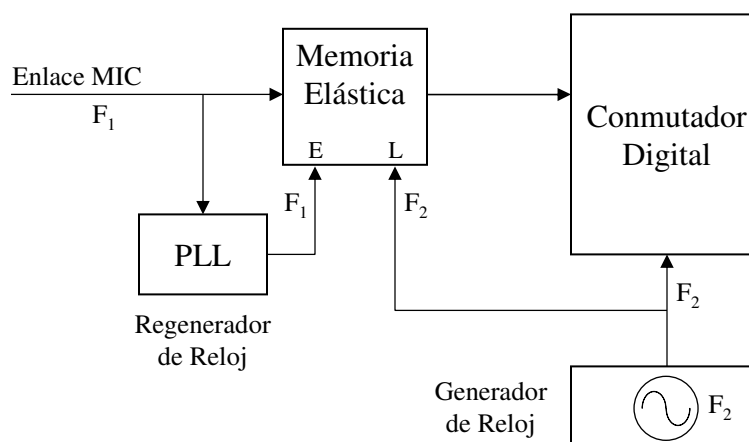
Red Digital Integrada



Red Digital Integrada

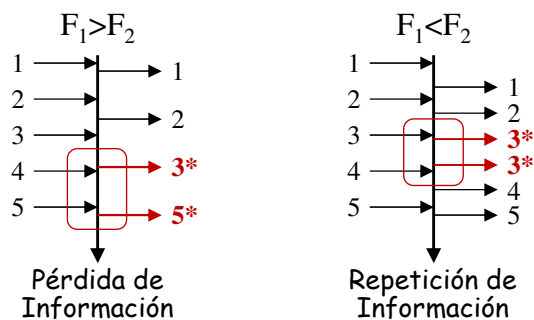


Recepción de la Señal Digital



PLL (Phase-Locked Loop): Bucle de enganche de fase

Deslizamientos



Memoria elástica:

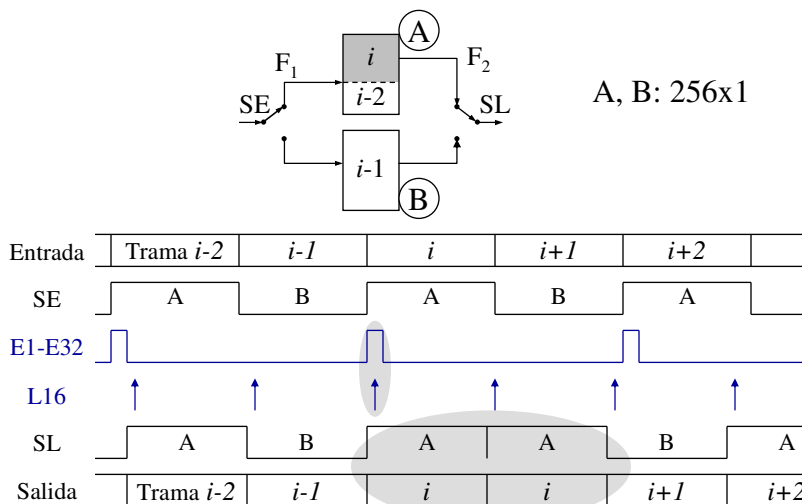
- Deslizamiento de Canal
- Deslizamiento de Trama (más usado)

UIT-T 6.811

Máxima desviación permitida en frecuencia: 1 parte en 10^{11}

Un deslizamiento de trama en 71 días

Funcionamiento de la memoria Elástica ($F_1 < F_2$)

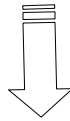


El mecanismo asegura que se presenten los deslizamientos de trama en el instante apropiado

Funcionamiento de la memoria Elástica ($F_1 < F_2$)

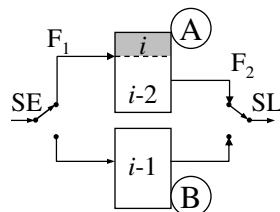
Frecuencia de Escritura $<$ Frecuencia de Lectura

La información en la memoria elástica alcanza a ser **leída 2 veces** antes de la llegada de las nuevas unidades

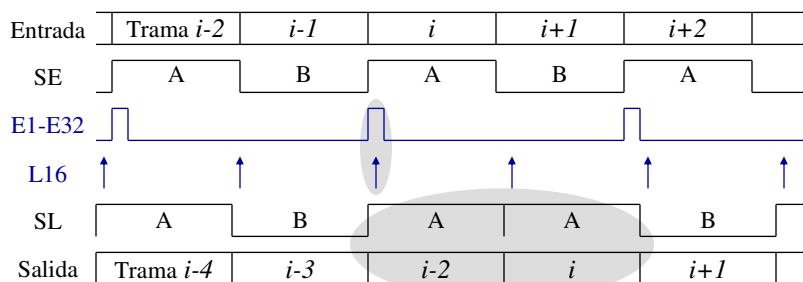


REPETICIÓN DE INFORMACIÓN

Funcionamiento de la memoria Elástica ($F_1 > F_2$)



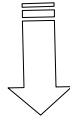
A,B: 256x1



Funcionamiento de la memoria Elástica ($F_1 > F_2$)

Frecuencia de Escritura $\succ$ Frecuencia de Lectura

La información en la memoria elástica **no alcanza a ser leída** antes de la llegada de las nuevas unidades



PÉRDIDA DE INFORMACIÓN

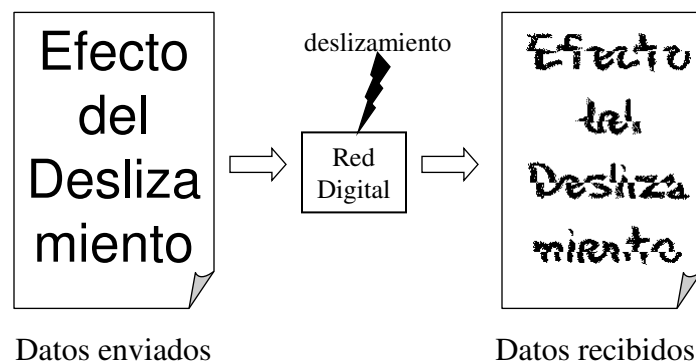
Causas de los deslizamientos

- Relojes imperfectos
 - Precisión y estabilidad
- Variación de retardos de transmisión
 - Un cambio en la temperatura ambiente afecta la longitud eléctrica del cable
 - Excentricidad del satélite
- Fluctuación
 - Alta frecuencia (*jitter*): Equipos de línea
 - Baja frecuencia (*wander*): Relojes, retardos, equipo

Efecto de los deslizamientos

- Voz
 - Alta redundancia. Ruido a menudo inaudible
- Datos a 64 Kbps
 - Sistemas de detección y recuperación de errores
 - Datos multiplexados: mal enrutamiento
- Señalización por canal común
 - Mecanismos de seguridad. Demoras en transmisión
- Facsímil
 - Desplazamientos de líneas.
Pueden destruir la imagen

Efecto de los deslizamientos



Efecto de los deslizamientos

Márgenes de deslizamiento tolerables para distintos servicios

Servicio	Objetivo	Deslizamientos/Hora
Voz digitalizada con MIC	1 click audible/5 Min.	300
Datos a 48-256 Kbps	Prob. error 10^{-6} 0,1% tiempo perdido (debido a retransmisión)	Bloques de long. fija: 6 Bloques de long. var.: 0,6
Datos a velocidades vocales	Prob. error 10^{-6} 0,1% tiempo perdido (debido a retransmisión)	Bloques de long. fija: 7,2 Bloques de long. var.: 0,6
Voz de calidad superior	1 click audible/5 Min.	12
Datos submultiplexados	Prob. error 10^{-4}	19

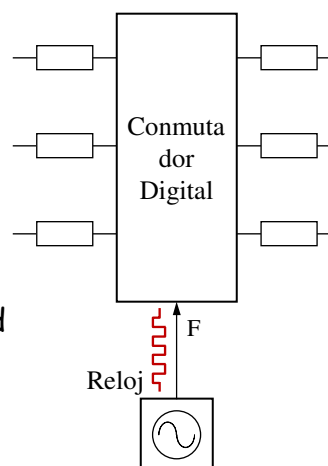
Fuente: (Joubert, 1977)

Para la determinación de la tasa de deslizamientos permitida por una red digital, deberá tomarse como referencia el servicio más sensible a los deslizamientos

Parámetros de funcionamiento de los relojes

Reloj:

«Una fuente de frecuencias que es posible conectar a un divisor o a un contador de frecuencia y que, en sistemas digitales de conmutación, facilita una base de tiempos para controlar la sincronización de la red de conmutación de la central»
(Joubert, 1977)

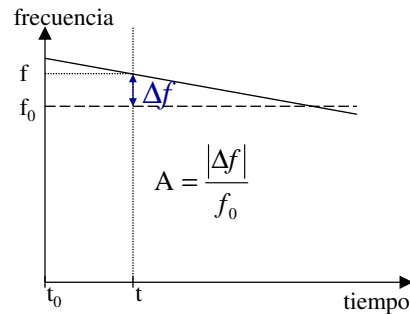


Parámetros de funcionamiento de los relojes

Precisión

Expresa, en un momento dado, la diferencia con una frecuencia de referencia

$$A = \frac{|f - f_0|}{f_0}$$



Para una tasa de deslizamientos de 1 trama/71 días (G.811)

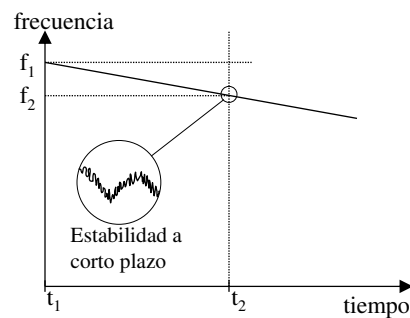
$$A = \frac{\Delta t}{t} = \frac{125 \mu\text{s}}{71 \text{ días}} = \frac{125 \times 10^{-6}}{71 \times 24 \times 3.600} = 2,04 \times 10^{-11}$$

Parámetros de funcionamiento de los relojes

Estabilidad

Expresa la variación de la frecuencia con el tiempo

$$S = \frac{|f_2 - f_1|}{f_1} \cdot \frac{1}{t_2 - t_1}$$



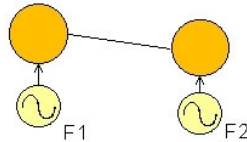
A largo plazo: Cambio sistemático. Envejecimiento

A corto plazo: variación al azar. Temperatura, ruidos, etc.

Parámetros de funcionamiento de los relojes

Ejercicios:

- Un reloj de pulsera se atrasa un minuto por semana. ¿Cuáles son su precisión y estabilidad?
- Un reloj se atrasa un minuto en la primera semana y cuatro minutos en la segunda semana. ¿Cuáles son su precisión y estabilidad?
- Supóngase una red con sólo dos centrales, que utilizan el sistema de memoria elástica de trama. ¿Cuál debe ser la precisión de los relojes de estas centrales, si se quiere cumplir con la recomendación de la UIT-T de un deslizamiento cada 71 días para cualquiera de las comunicaciones establecidas entre ellas?



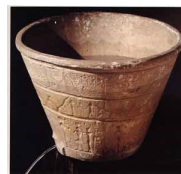
Tipos de relojes



Monumentales



De sol



De agua



De arena



Cucú



Despertador

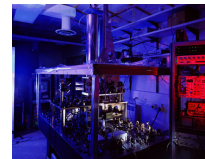
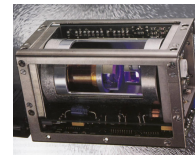
Tipos de relojes: cuarzo

- De cristal de Cuarzo
 - Estabilidad a largo plazo: 10^{-6} a 10^{-8} por mes
 - Estabilidad a corto plazo muy buena
 - Confiabilidad alta
 - Costo bajo
 - Posibilidad de controlar su frecuencia:
VXCO (Oscilador de Cristal Controlado por Voltaje)
 - Técnicas para mejorar su precisión:
 - Control de temperatura con hornos
 - Compensación de temperatura con termistores o control por microprocesador

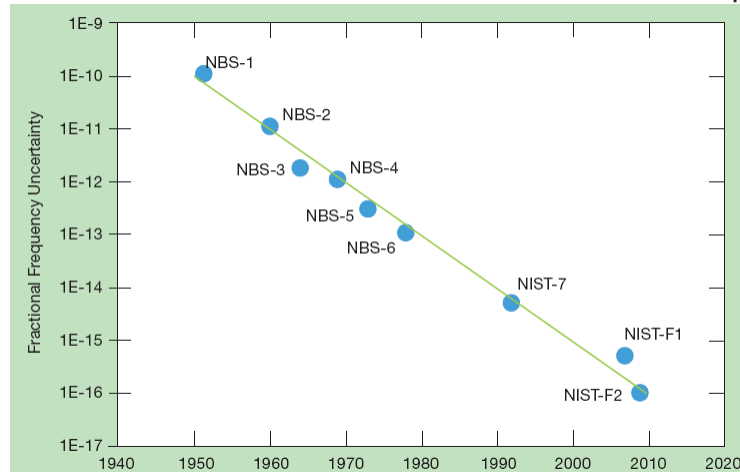


Tipos de relojes: atómicos

- De vapor de Rubidio
 - Estabilidad a largo plazo alta: 5×10^{-11} por mes
 - Estabilidad a corto plazo menor
 - Confiabilidad menor
 - Costo mayor
 - De Cesio
 - Estabilidad a largo plazo muy alta: 10^{-12} por mes
 - Precisión NIST-F1: 1 s en 80 millones de años*
 - Estabilidad a corto plazo limitada
 - Confiabilidad baja
 - Costo elevado
- *Incertidumbre= 4×10^{-16}



Tipos de relojes: atómicos



Incertidumbre de los relojes de Cesio del NIST (National Institute of Standards and Technology) (Lombardi *et al.*, 2007)

Tipos de relojes: atómicos

Máser de Hidrógeno

- Estabilidad a largo plazo: 10^{-15} por mes
- Precisión: 1 s en 2,7 millones de años
- 2 en cada satélite Galileo



Máser de Rubidio

- Menos preciso pero menos costoso

Ión de Mercurio confinado:

- 1 s en 1.000 millones de años

Reloj de Lógica Cuántica (Quantum Logic Clock)¹

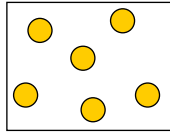
- Iones de Aluminio y Berilio
- 1 s en 3.700 millones de años
- En experimentación

¹ (NIST, 2010)

Métodos de sincronización

Red Plesiócrona

- Relojes independientes de alta precisión
- La frecuencia se mantiene dentro de cierto margen



El uso de memorias elásticas compensa las fluctuaciones en las relaciones de fase

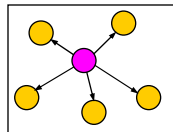
Para compensar la estabilidad limitada a largo plazo, los relojes deben ser controlados de vez en cuando contra alguna frecuencia de referencia externa

Métodos de sincronización

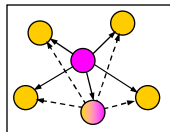
Red Síncrona

Relojes controlados para andar a la misma velocidad media

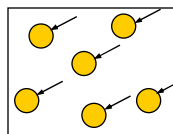
Despótica



Principal-Subordinado

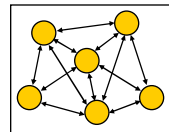


Jerárquico

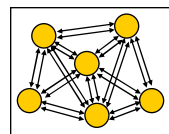


Referencia Externa

Mutua

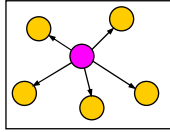


Control Uniterminal

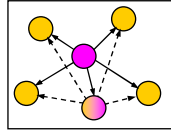


Control Biterminal

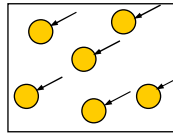
Sincronización Despótica



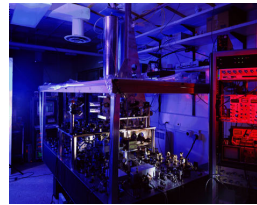
Principal-Subordinado



Jerárquico

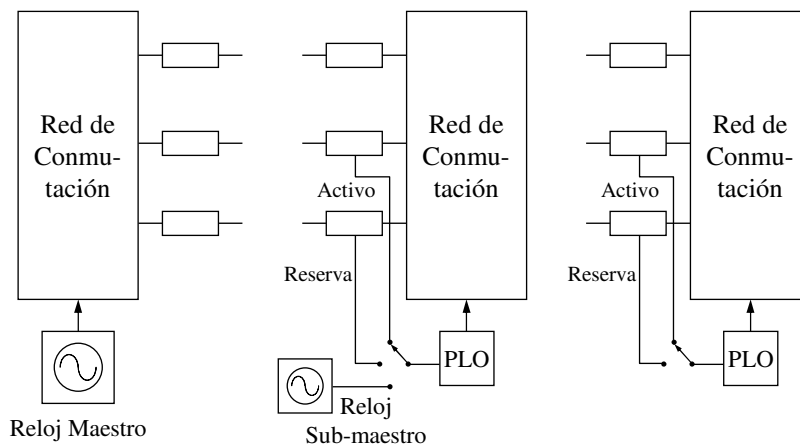


Referencia Externa



Existe un solo reloj maestro o un grupo de relojes, que tienen un poder absoluto de control sobre los otros relojes de la red y no se permite un cambio del ejercicio de esta función o una sustitución.

Organización de los relojes



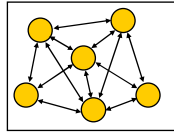
Central Maestra

Central Sub-maestra
(Método Jerárquico)

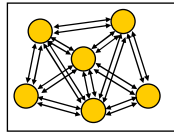
Central Esclava

PLO (Phase-Locked Oscillator): Oscilador enganchado en fase

Sincronización Mutua



Control Uniterminal



Control Biterminal

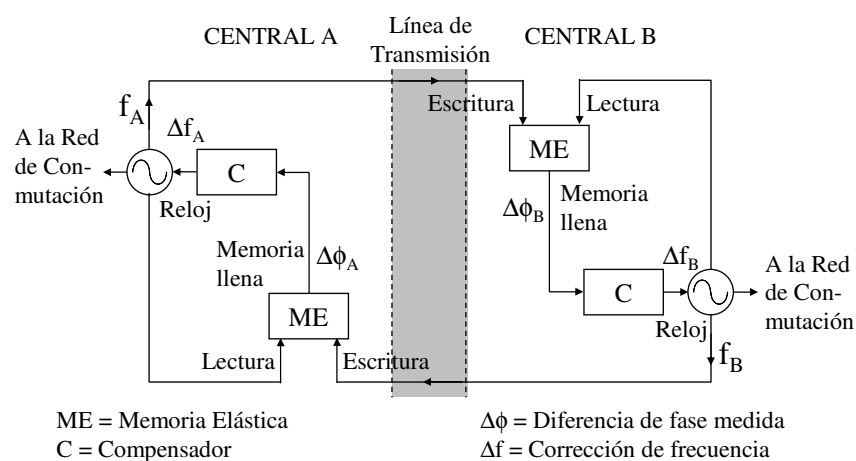


Es un concepto para lograr una red digital interconectada altamente Síncona sin un reloj principal.

Cada reloj de central está fijado a la media de todas las velocidades del reloj entrantes.

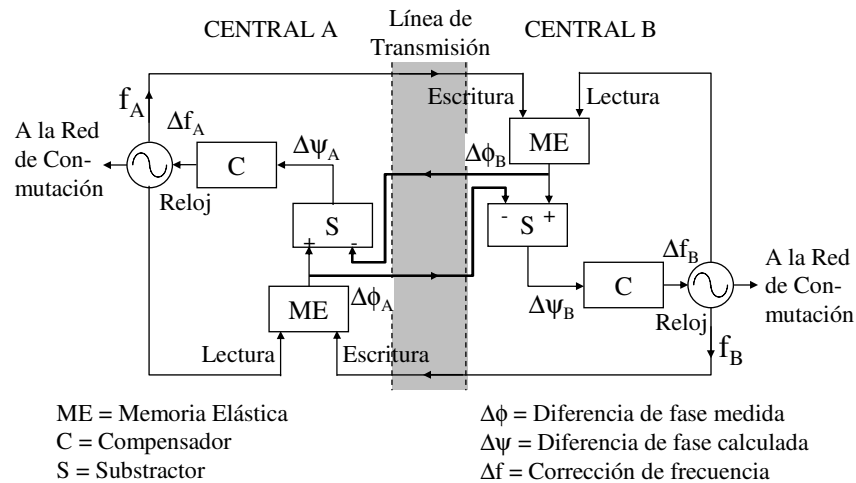
De esta manera todas las centrales tienden a trabajar a la misma frecuencia.

Método de Control Uniterminal



Sensible a variaciones de retardos de transmisión causadas por cambios de temperatura

Método de Control Biterminal



La información de desviaciones de fase se envía por los canales de señalización

Factores de evaluación

Todos los métodos de sincronización presentan ventajas y desventajas, que hacen necesario considerar un buen número de factores en el momento de evaluarlos. Los más importantes son los siguientes:

- Tamaño de la Red.
- Topología de Red.
- Distancia entre centrales.
- Tipo del medio de transmisión.
- Costo del equipo de sincronización.
- Complejidad y fiabilidad del Sistema.
- Mantenimiento.

Características de los Métodos de Sincronización



35

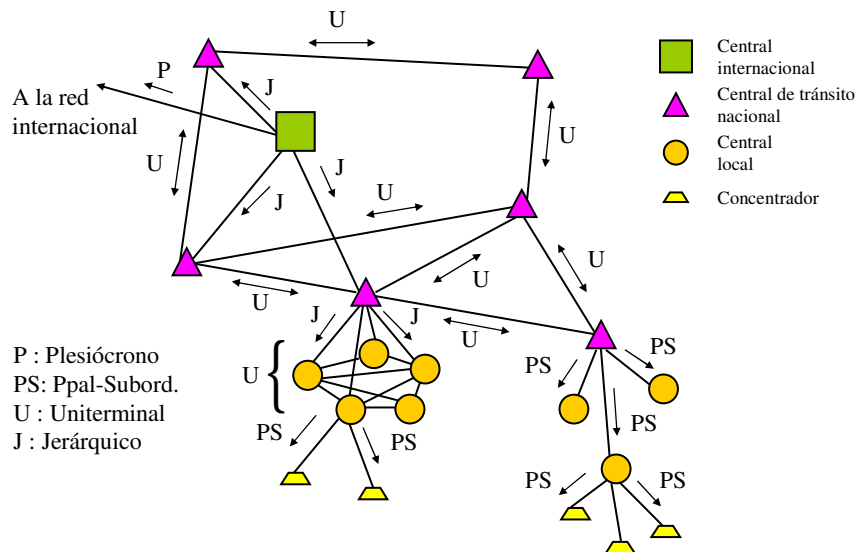
Método	Ventajas	Desventajas	Tamaño Red	Topología Red	Longitud Enlaces	Complejidad
Plesiócrono	Estabilidad	Costo	Centrales internacionales			Ninguna
Principal-Subordinado	Estabilidad	Confiabilidad	Pequeña	Estrella	Corta	Baja
Jerárquico	Confiabilidad	Necesita canales de señalización	Media	Estrella o malla	Media	Media
Referencia Externa	Estabilidad	Confiabilidad				Media
Control Uniterminal	Confiabilidad Costo	Estabilidad Sensible a variaciones de tiempos de propagación	Media o grande	Malla	Media	Grande
Control Biterminal	Confiabilidad Costo Insensible a variaciones de tiempos de propagación	Estabilidad Necesita canales de señalización	Media o grande	Malla	Grande	Muy Grande

(Joubert, 1977)

Plan de sincronización de una red



36



Plan de sincronización de una red



Departamento de
Telemática

Comisión de Regulación de las Comunicaciones (CRC).

Resolución CRT 087 de 1997, "Por medio de la cual se regula en forma integral los servicios de Telefonía Pública Básica Conmutada (TPBC) en Colombia"

Artículo 4.2.2.14. Sincronización

- Los operadores de telecomunicaciones seleccionarán el método de sincronización que mejor se ajuste a su red, siempre que cumplan con lo dispuesto en la Recomendación UIT-T G.822.
- En los puntos de interconexión se debe garantizar una precisión correspondiente a un reloj de referencia primario (PRC), conforme a lo previsto en la Recomendación UIT-T G.811.
- Los requisitos mínimos para dispositivos de temporización utilizados como relojes serán los descritos en las Recomendaciones UIT-T G.812 y G.813.

Reglamento y Plan de Sincronización de Nicaragua

ACUERDO ADMINISTRATIVO. 046-2004

Bibliografía



Departamento de
Telemática

- A. Rendón (2010). "Sincronización en RPTC". En: "Sistemas de Conmutación: Fundamentos y Tecnologías", Cap. 4, Universidad del Cauca, Popayán, Colombia.
- CRC (2010). Resolución No. 087 de 1997. Comisión de Regulación de las Comunicaciones. Colombia.
- J. Joubert (1977). "La Telefonía Digital. Una introducción". Texto de entrenamiento. Ericsson. Estocolmo, Suecia. 45 pp.
- M.A. Lombardi, T.P. Heavner, S.R. Jefferts (2007). "NIST Primary Frequency Standards and the Realization of the SI Second". Journal of Measurement Science, Vol. 2, No. 4, pp. 74-89.
- NIST (2010). "NIST's Second 'Quantum Logic Clock' Based on Aluminum Ion is Now World's Most Precise Clock". http://www.nist.gov/phylab/div847/logicclock_020410.cfm