

Mediciones de variaciones en fase (*jitter* y *wander*), para el mantenimiento de sistemas digitales en sincronía.

Dr. Sergio López López

División de Tiempo y Frecuencia

Centro Nacional de Metrología

Variaciones en fase respecto a una señal ideal

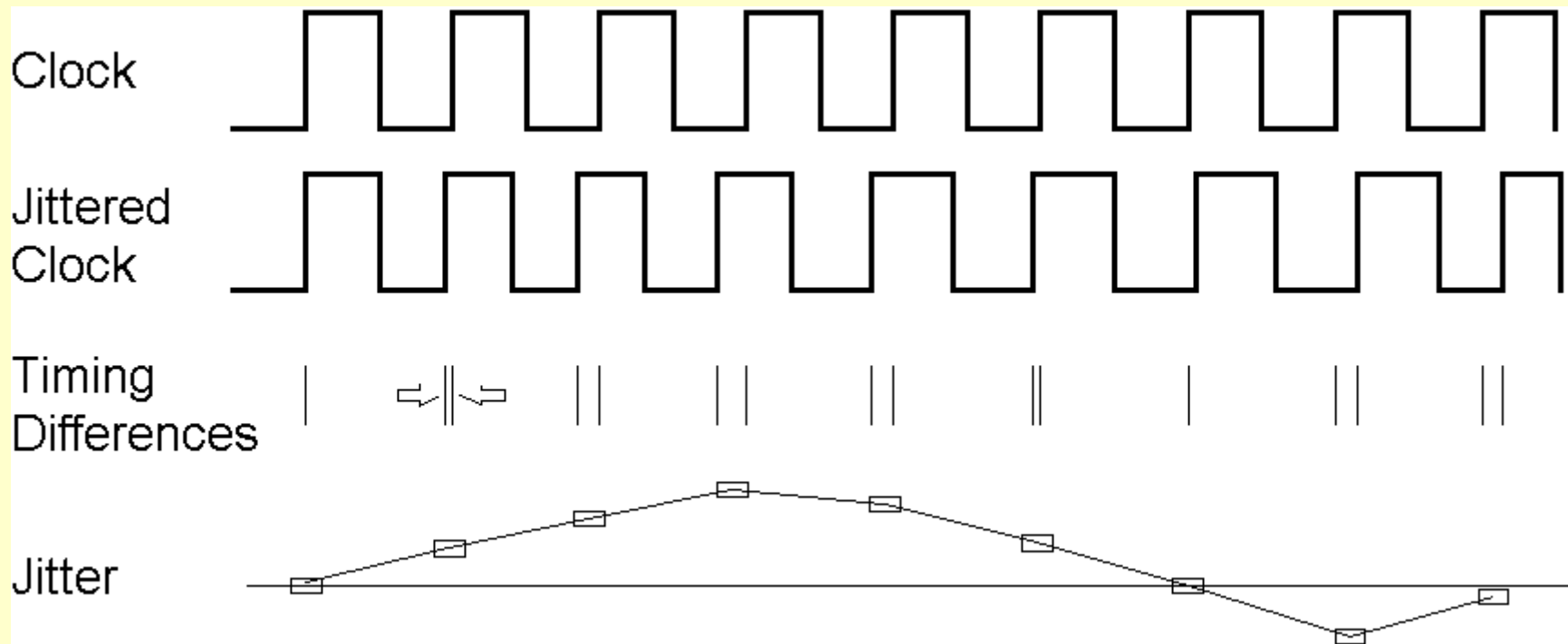
- Señal ideal

$$S(t) = A \sin(\omega t)$$

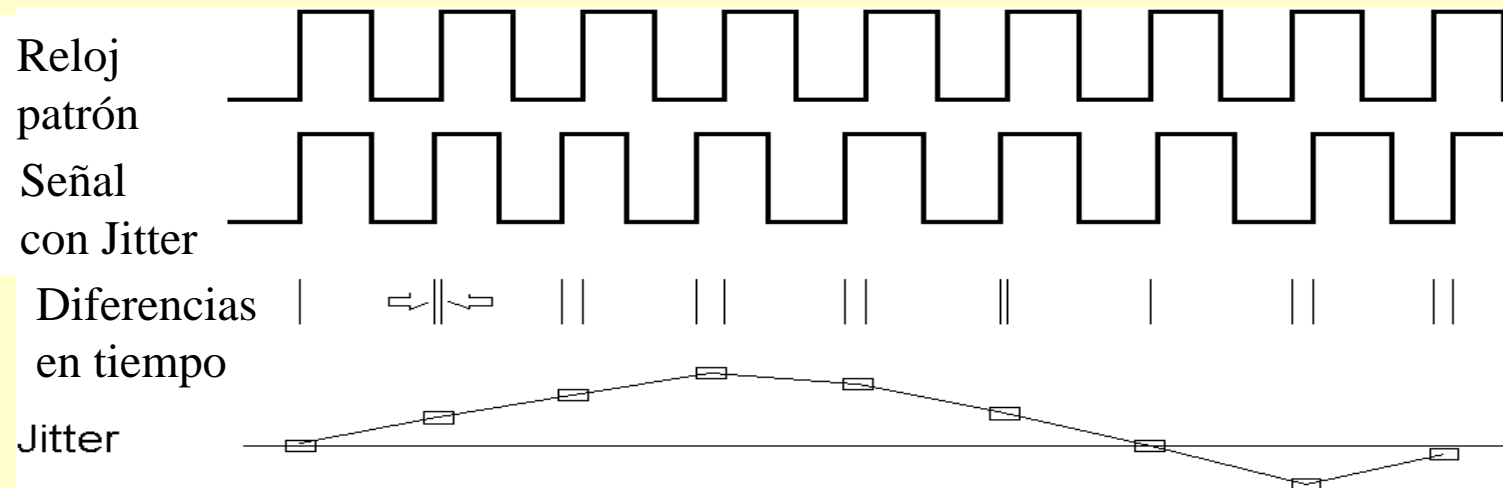
- Señal real

$$S(t) = A \sin(\omega t + \varphi(t))$$

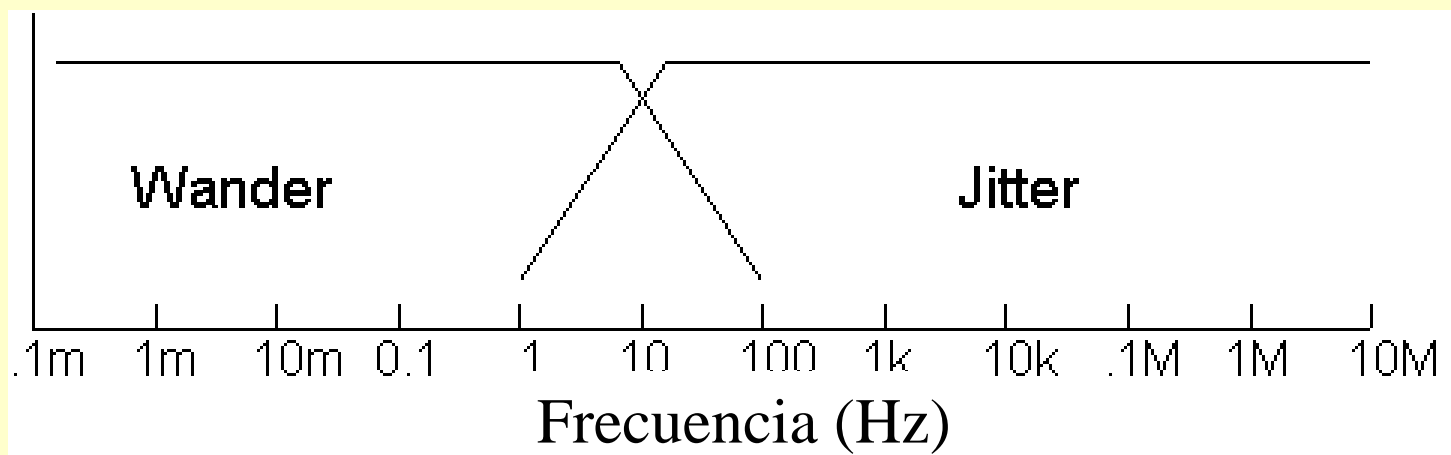
Variaciones en fase respecto a una señal patrón



- Tanto Jitter y Wander tienen amplitud - que tanto se desvía la fase de la señal ideal- y frecuencia - que tan rápido de desvía esta fase.



- De acuerdo con la ITU-T G.810, Jitter se define como las variaciones en fase cuya componente en frecuencia es mayor a 10 Hz y Wander como las variaciones en fase a razones menores de 10 Hz.



Posibles efectos de Jitter y Wander en comunicación digital

- Bits con errores
- Pérdida de bits
- Retardo en transmisión y recepción de datos
- Interferencia de la frecuencia que puede deteriorar la calidad de transmisión

Mediciones de Jitter y Wander

- Las mediciones de Jitter y Wander, cuantifican estas diferencias y permiten a los operadores de redes mantener la sincronía en niveles aceptables.

Para alcanzar compatibilidad internacional en redes de sincronía, el ITU-T y otros organismos internacionales de estandarización estipulan los límites máximos permitidos para Jitter y Wander. Estos límites se aplican a las interfaces de la red cuando se incorporan componentes del sistema en una red completa. Ejemplos importantes incluyen las recomendaciones de ITU-T G.823, G.824 y G.825

Métricas para Jitter y Wander

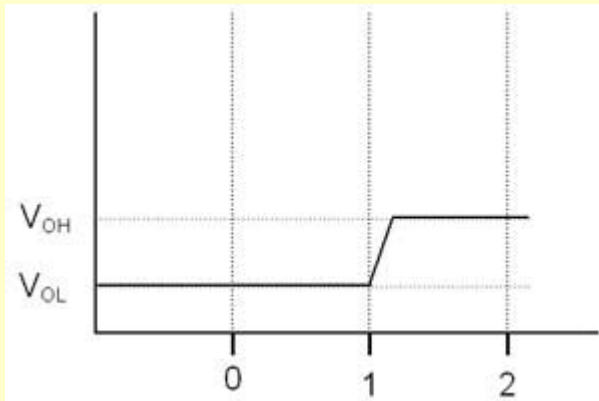
- Métrica para Jitter (por debajo de 1Gbit/s)
 - Generalmente Jitter se mide y se especifica como la máxima amplitud de la diferencia de fase, dentro de una o mas mediciones en una ancho de banda.
 - Una sola interface puede ser especificada con varios anchos de banda, ya que jitter varía dependiendo de su frecuencia y amplitud

Intervalos Unitarios

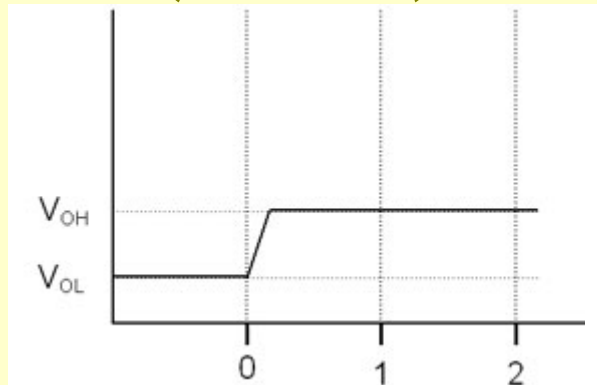
- La amplitud de Jitter se especifica en Intervalos Unitarios (UI), de tal manera que un intervalo de unidad de Jitter sea igual al ancho de un bit de datos, independientemente de la rapidez de la transmisión de datos

- A una velocidad de 2048 Kbit/s, un UI es de 488ns, mientras que a una velocidad de 155.52Mbit/s un UI es de 6.4ns
- Para velocidades mayores a 1Gbit/s un UI es menor a 1ns
- La amplitud en Jitter normalmente se especifica en términos de pico a pico, en lugar de la raíz cuadrática media, ya que los picos en el Jitter son una de las causas principales de errores en la transmisión de datos

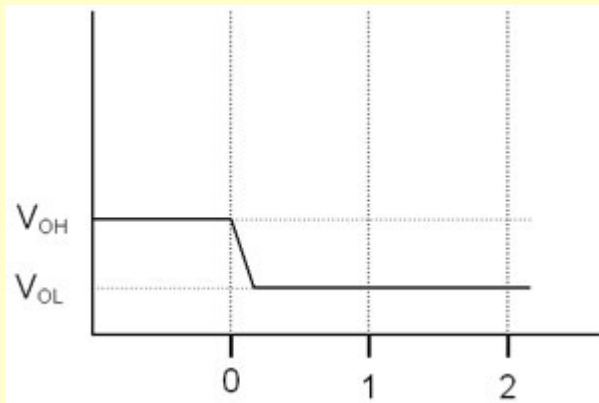
Diagrama de ojo (ideal)



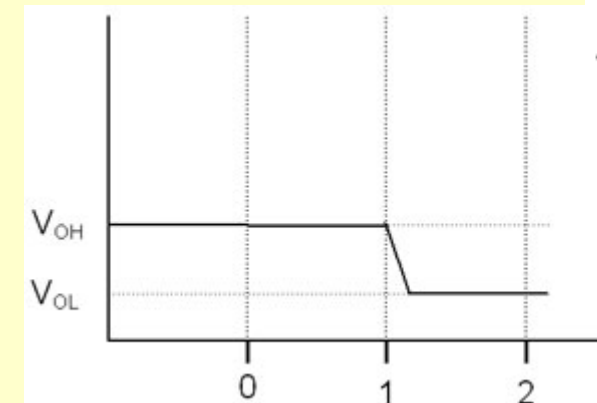
0 0 1



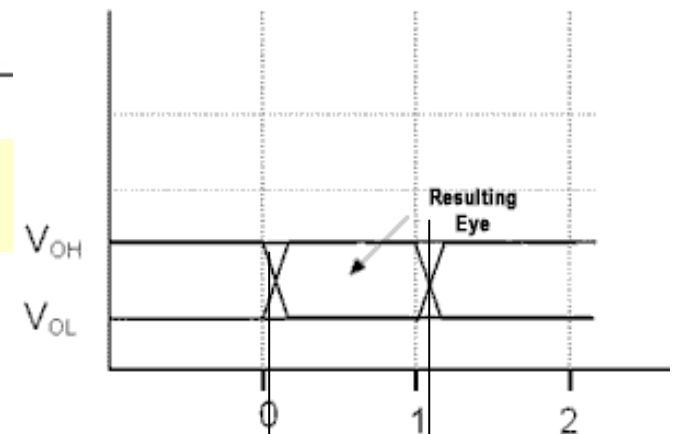
0 1 1



1 0 0

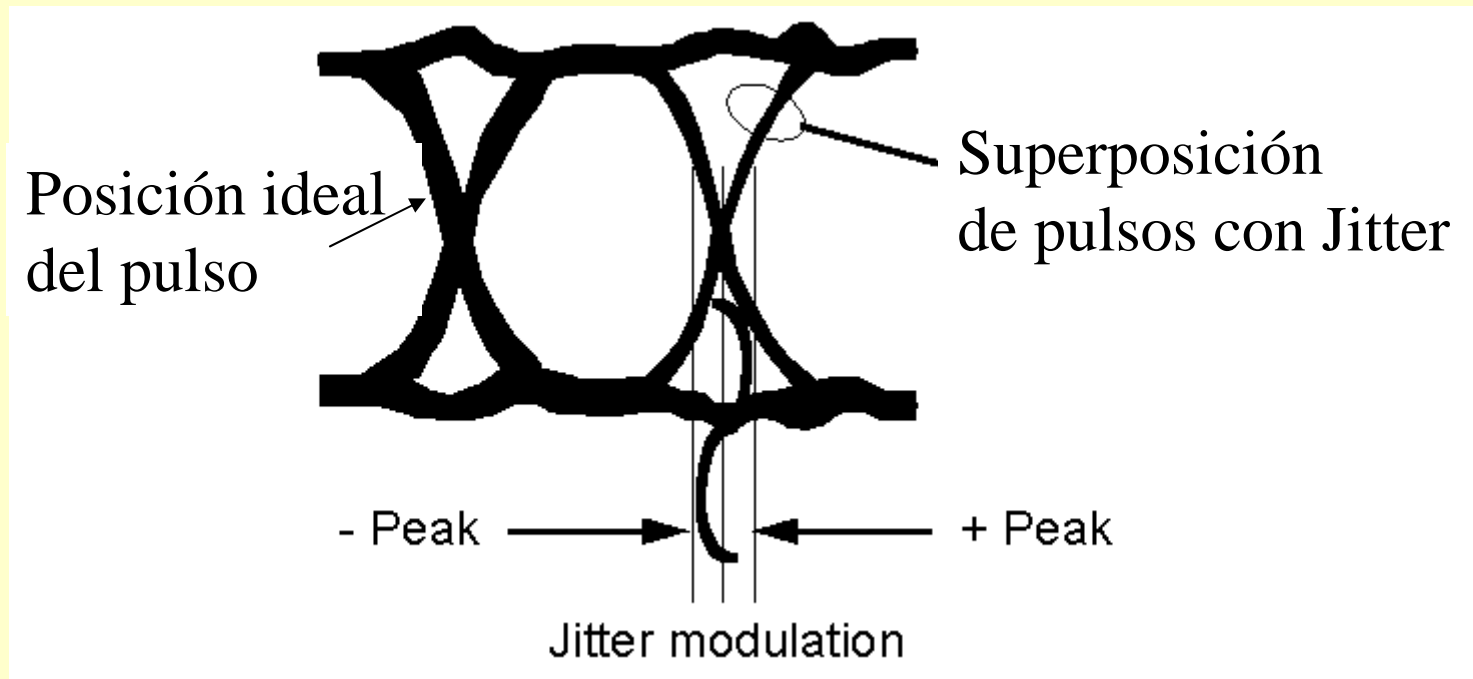


1 1 0

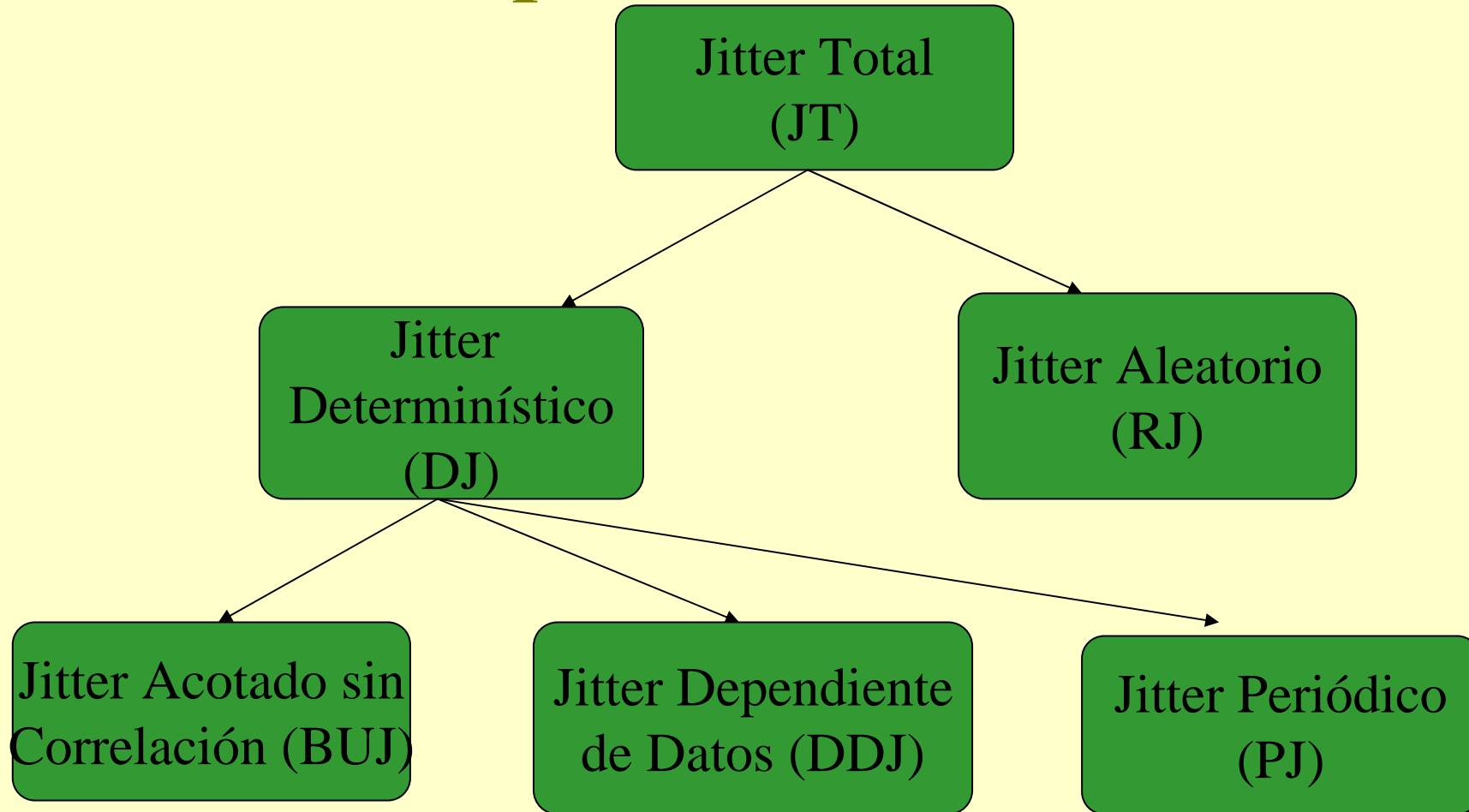


Intervalo Unitario

Diagrama de ojo (real)



Componentes de Jitter



Métrica para Wander

- Para mediciones de Wander se requiere una referencia libre de Wander. Un patrón de frecuencia primario puede servir como referencia debido a su exactitud a largos periodos (mejor a partes en 10^{-11}) y a su alta estabilidad a periodos cortos.
- También puede ser usada la tecnología GPS

- Debido a que en las mediciones de wander se involucran bajas frecuencias a largos periodos, los datos consisten en horas de información sobre la fase.
- Por otro lado debido a que los transitorios en fase son importantes, se requiere de una alta resolución temporal.

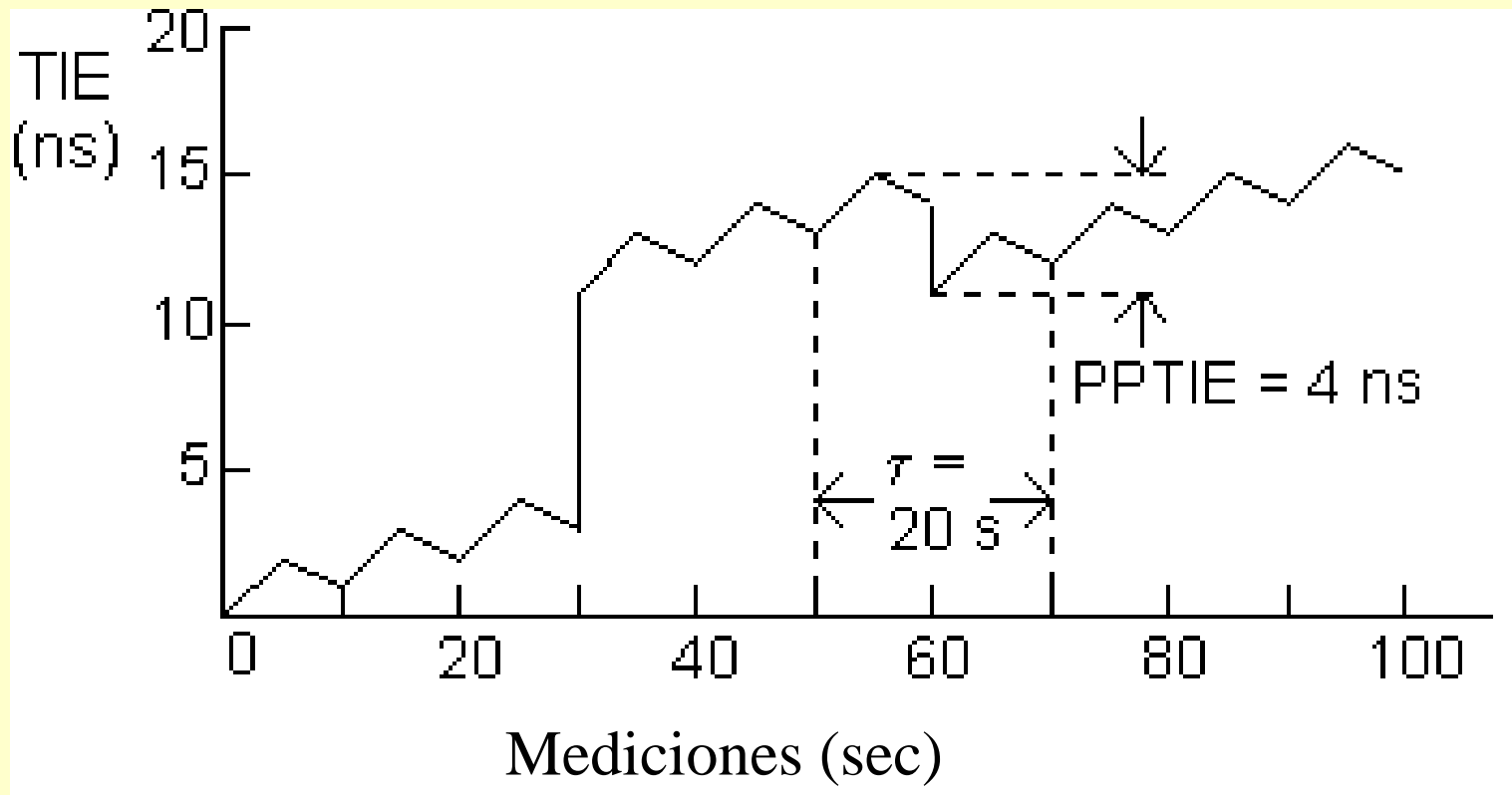
Parámetros de Wander

- Para lograr una medición consistente con la calidad de sincronización se han definido tres parámetros que se usan para especificar los límites de operación.
 - TIE Error de Intervalo de Tiempo
 - MTIE Máximo Error de Intervalo de Tiempo
 - TD Desviación de Tiempo

Error de Intervalo de Tiempo

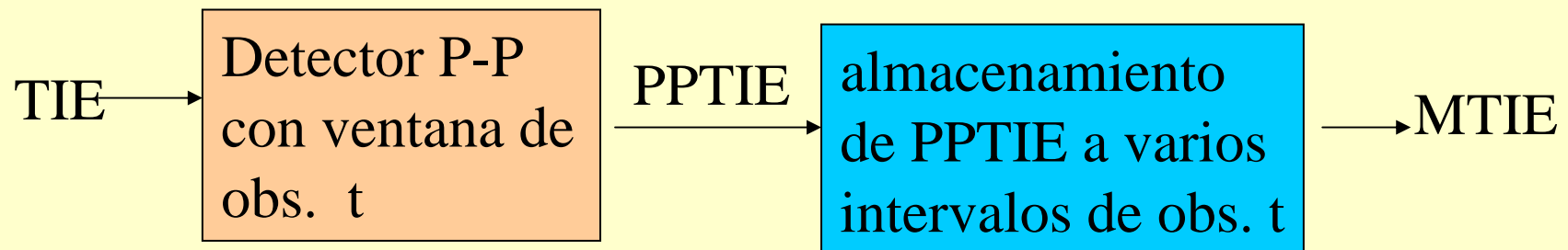
- Se define como la diferencia de fase entre la señal monitoreada y el patrón de frecuencia
- Convencionalmente el TIE se ajusta a cero al iniciar el periodo total de mediciones T , por lo que TIE da la diferencia de fase desde que inicia la medición.

Mediciones de TIE



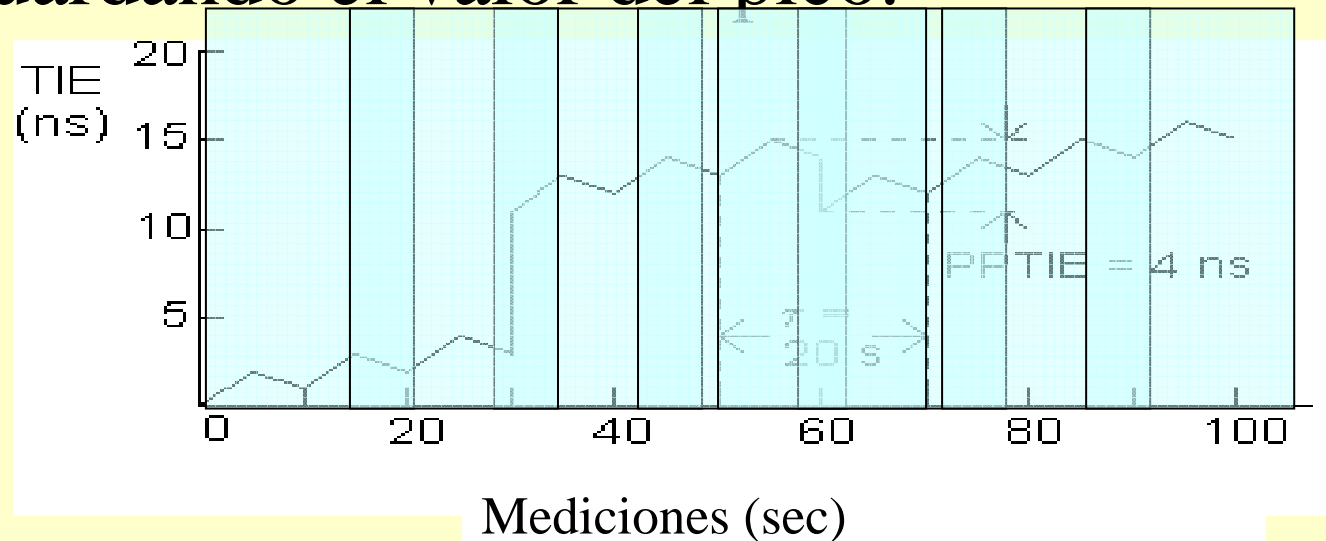
Máximo Error de Intervalo de Tiempo (MTIE)

- MTIE es una medida que caracteriza las variaciones en frecuencia y transitorios en fase. Es una función de un parámetro t , llamado *intervalo de observación*.
- Es el valor mas grande de TIE, (pico a pico), en cualquier intervalo de observación



Cálculo de MTIE

- Para el cálculo de MTIE a un cierto intervalo de observación t a partir de las mediciones de TIE, se requiere mover la ventana de observación a lo largo de todo el periodo de observación de los datos de TIE, guardando el valor del pico.

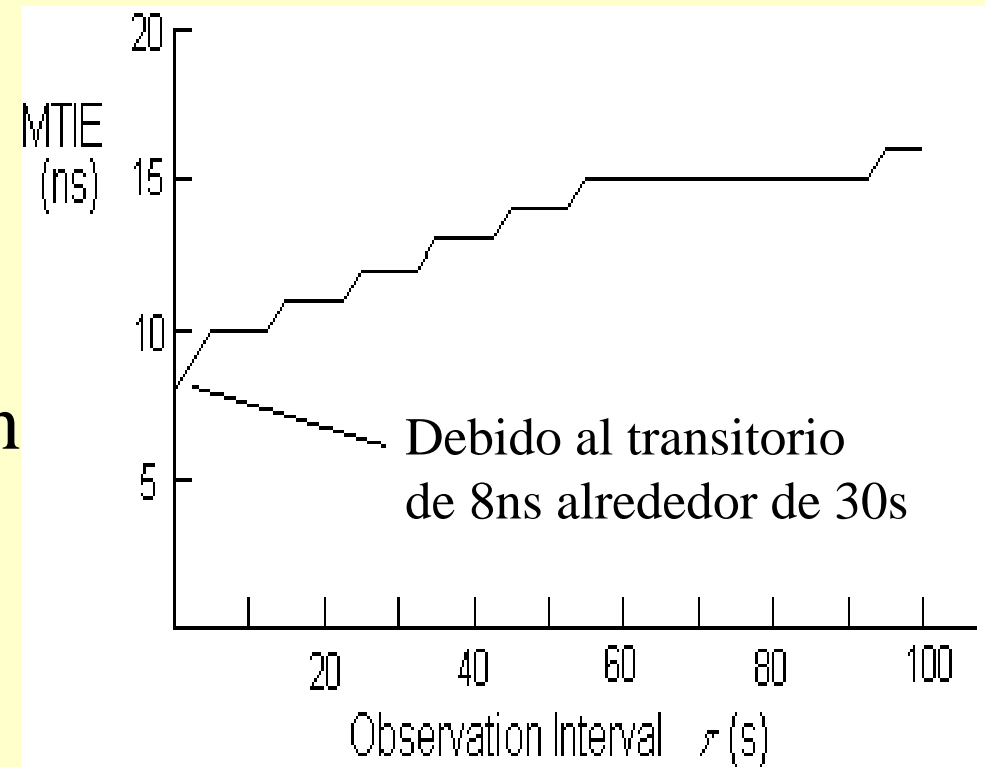


$$\text{MTIE}(20\text{s})=11\text{ns}$$

Medición de MTIE

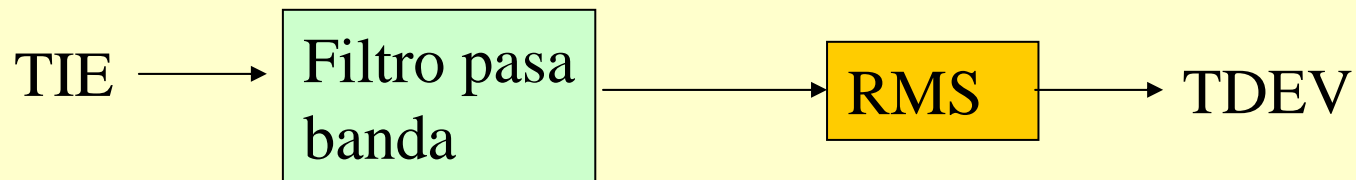
Las gráficas de MTIE en función del intervalo de observación son en general monótonamente crecientes.

A intervalos de observación pequeños se observa el transitorio mas alto, el cual enmascara transitorios mas pequeños.

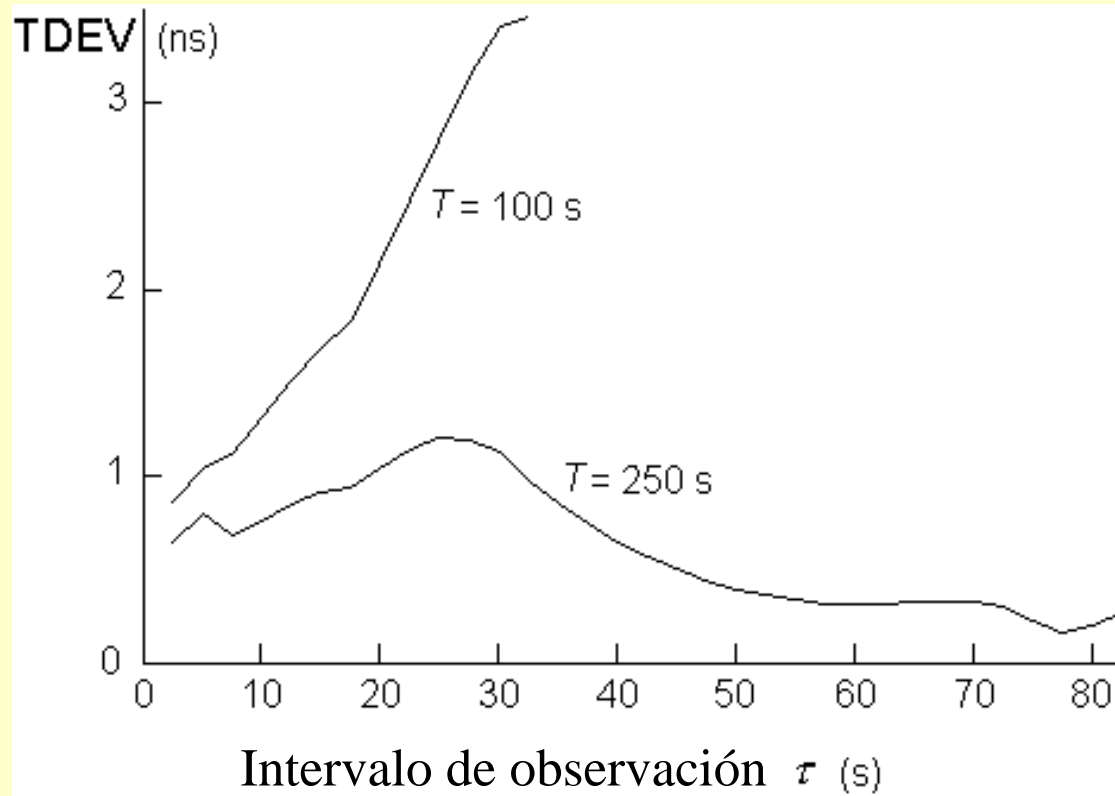


Desviación de Tiempo (TDEV)

- La Desviación de Tiempo es una medición de Wander que caracteriza el contenido espectral. Al igual que MTIE una función del parámetro t llamado *intervalo de observación*
- Es la raíz cuadrática media del TIE filtrado, usando un filtro pasa-banda, centrado en una frecuencia de $0.42/t$



Mediciones de TDEV



Máximos de Jitter y Wander a considerar

ITU-T G.732/742/751/823 (PDH) Y G.783/958/825 (SDH)

- Máximo Jitter/Wander en una iterfaz
- Maximo Jitter un una salida digital
- Máximo Jitter/Wander tolerado por la entrada
- Máxima Ganancia de Jitter/Wander
- Jitter/Wander tolerado por la entrada de reloj
- Jitter/Wander máximo en la salida del reloj