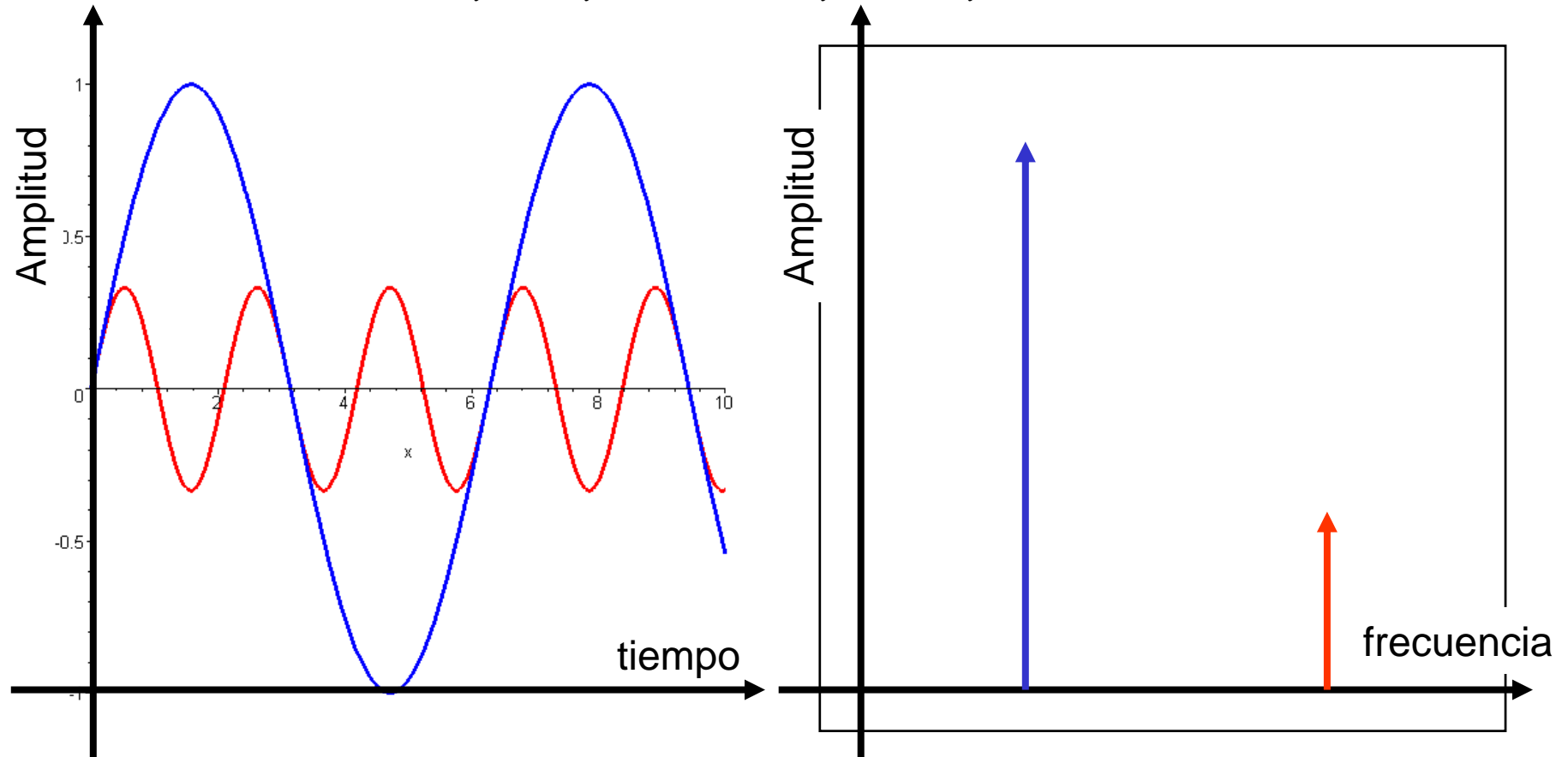


Métodos de medición en el dominio de la frecuencia

Dominio del tiempo \Leftrightarrow Dominio de la Frecuencia

$$V_i = A_i \sin(2\pi \cdot f_i \cdot t + \varphi_i)$$



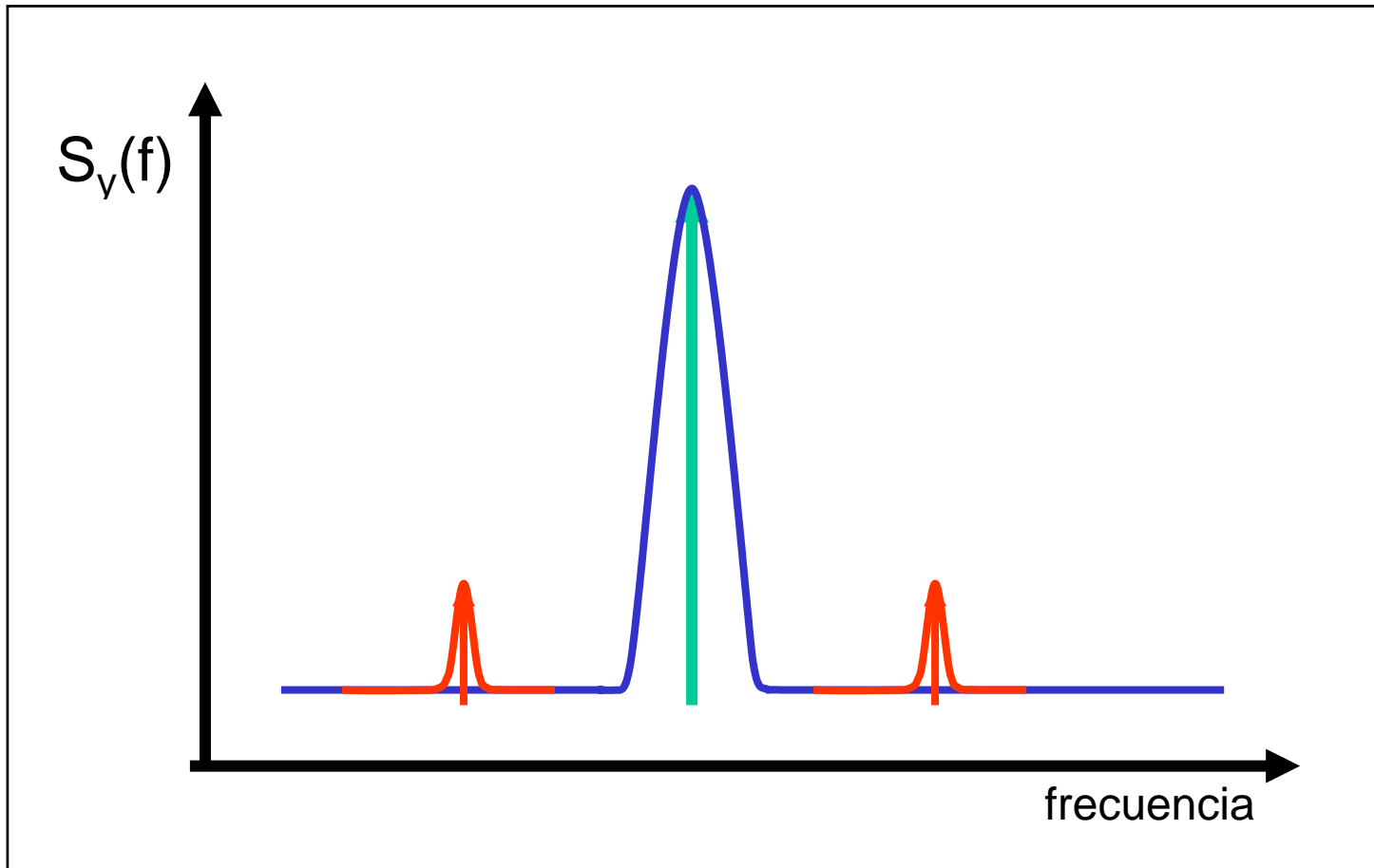
Razones para medir en el dominio de la frecuencia

- Mediciones en el dominio de la frecuencia pueden mostrar características de los osciladores difíciles de detectar con mediciones en el dominio del tiempo
 - *Útil para detectar la presencia de procesos generadores de ruido*
 - *Análisis de Bandas laterales (modulación, frecuencias parásitas, etc)*
- Uso fácil de analizadores de espectros para mostrar ruidos con frecuencia lejos de la portadora
 - *Mediciones limitadas por el ancho de banda del sistema de medición*

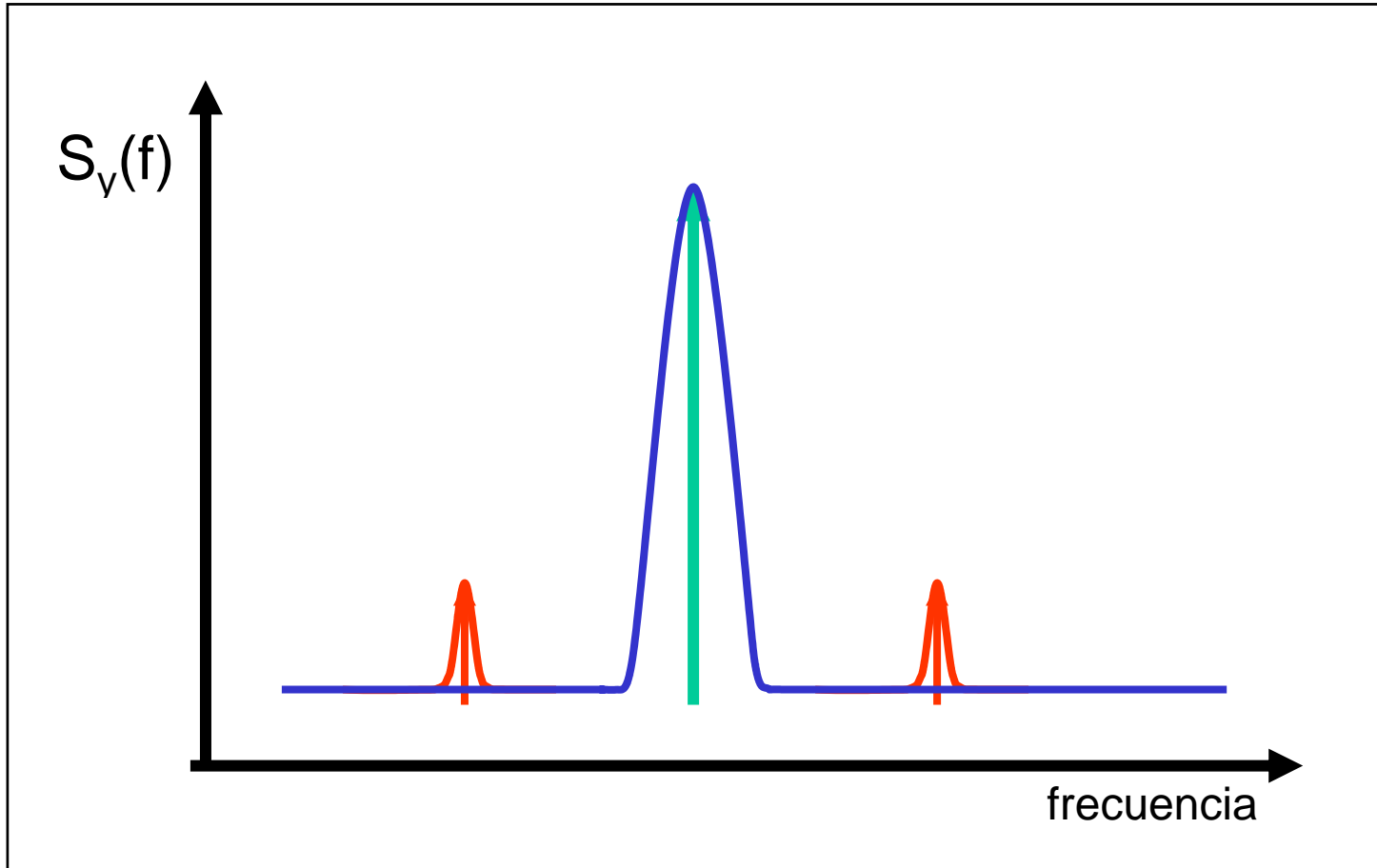
Detección de señales parásitas

- Señales parásitas que modulan en amplitud a la portadora
- Señales parásitas que modulan en frecuencia a la portadora
- En ambos casos, si la frecuencia de la señal parásita está lejos de la portadora (mayor que la resolución del sistema de medición), es fácilmente medible.

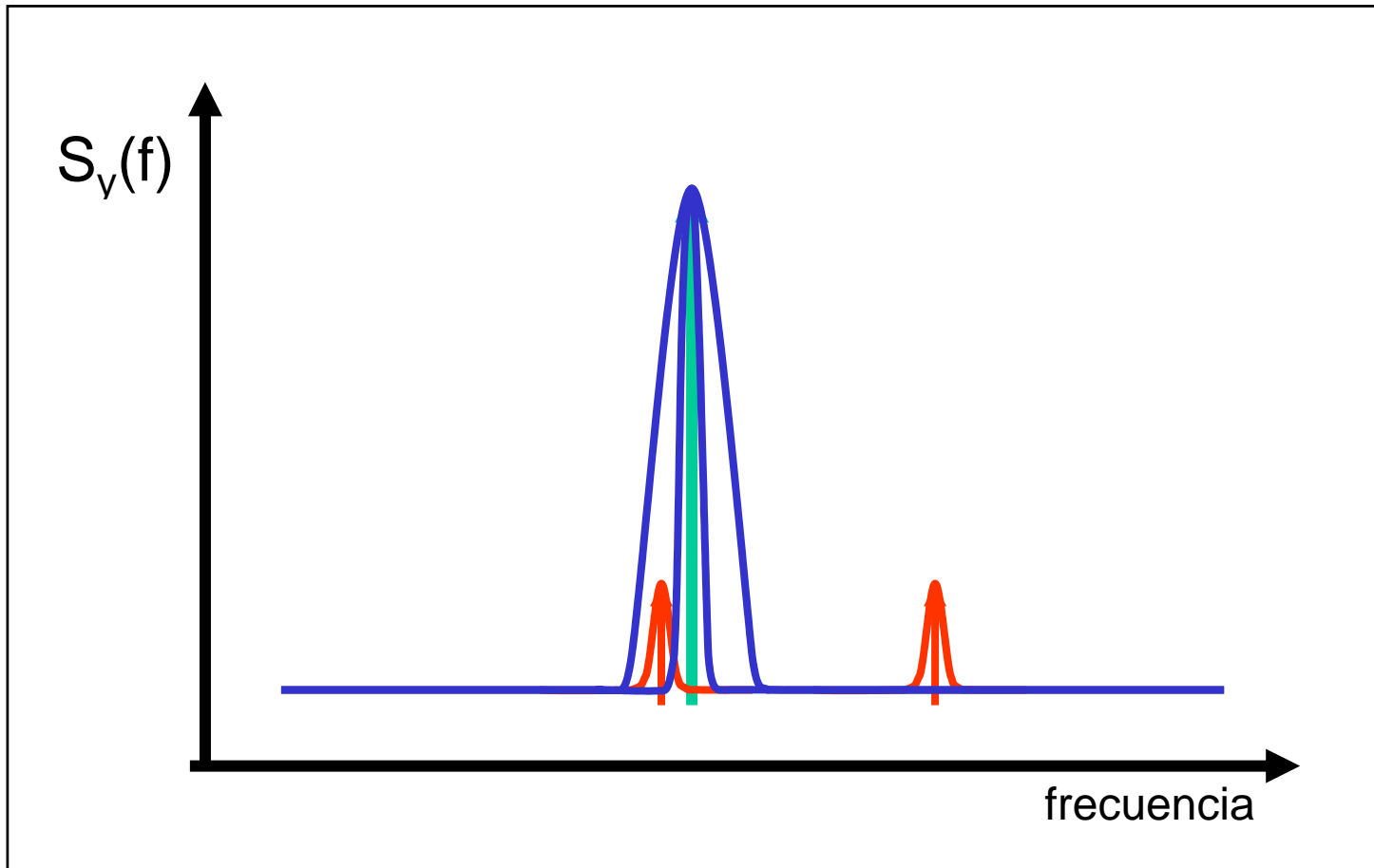
Detección de bandas laterales



Problemas con anchos de línea



Incremento del tiempo de medición



Solución para analizadores de espectro limitados

- Realizar mediciones para tiempos de muestreo largos
- Usar software adecuado para el análisis en el dominio de la frecuencia
- Realizar mediciones en el dominio del tiempo y convertir matemáticamente al dominio de la frecuencia
- Interpretación de resultados

Domino del tiempo => Dominio de la frecuencia

$x(t) = A \sin(2\pi \cdot \nu(t))$ *señal en el dominio del tiempo*

$\nu(t) = \nu_0 + \frac{1}{2\pi} \frac{d\phi(t)}{dt}$ *frecuencia "instantánea"*

$\phi(t) = \phi_0 + \int_0^t 2\pi[\nu(t') - \nu_0] dt'$

$y(t) \equiv \frac{\nu(t) - \nu_0}{\nu_0} = \frac{\dot{\phi}(t)}{2\pi\nu_0}$ *frecuencia normalizada;*

Ruido en el dominio de la frecuencia

Densidad espectral de ruido de fase

$$\phi_{RMS}^2 = \int_{BW} S_{\phi}(f) df$$

$$S_{\phi}(f) = \frac{\phi_{RMS}^2}{BW} = \left(\frac{v_0}{f}\right)^2 S_y(f)$$

$$L(f) \equiv \frac{1}{2} S_{\phi}(f), \text{ IEEE norma 1139}$$

Densidad espectral de ruido de frecuencia

Relación entre el ruido medido en el dominio del tiempo y ruido medido en el dominio de la frecuencia

$$\sigma_y^2(\tau) = \frac{1}{2} \langle (\bar{y}_{k+1} - \bar{y}_k)^2 \rangle = \frac{2}{(\pi v_0 \tau)^2} \int_0^{\infty} S_{\phi}(f) \sin^4(\pi f \tau) df$$

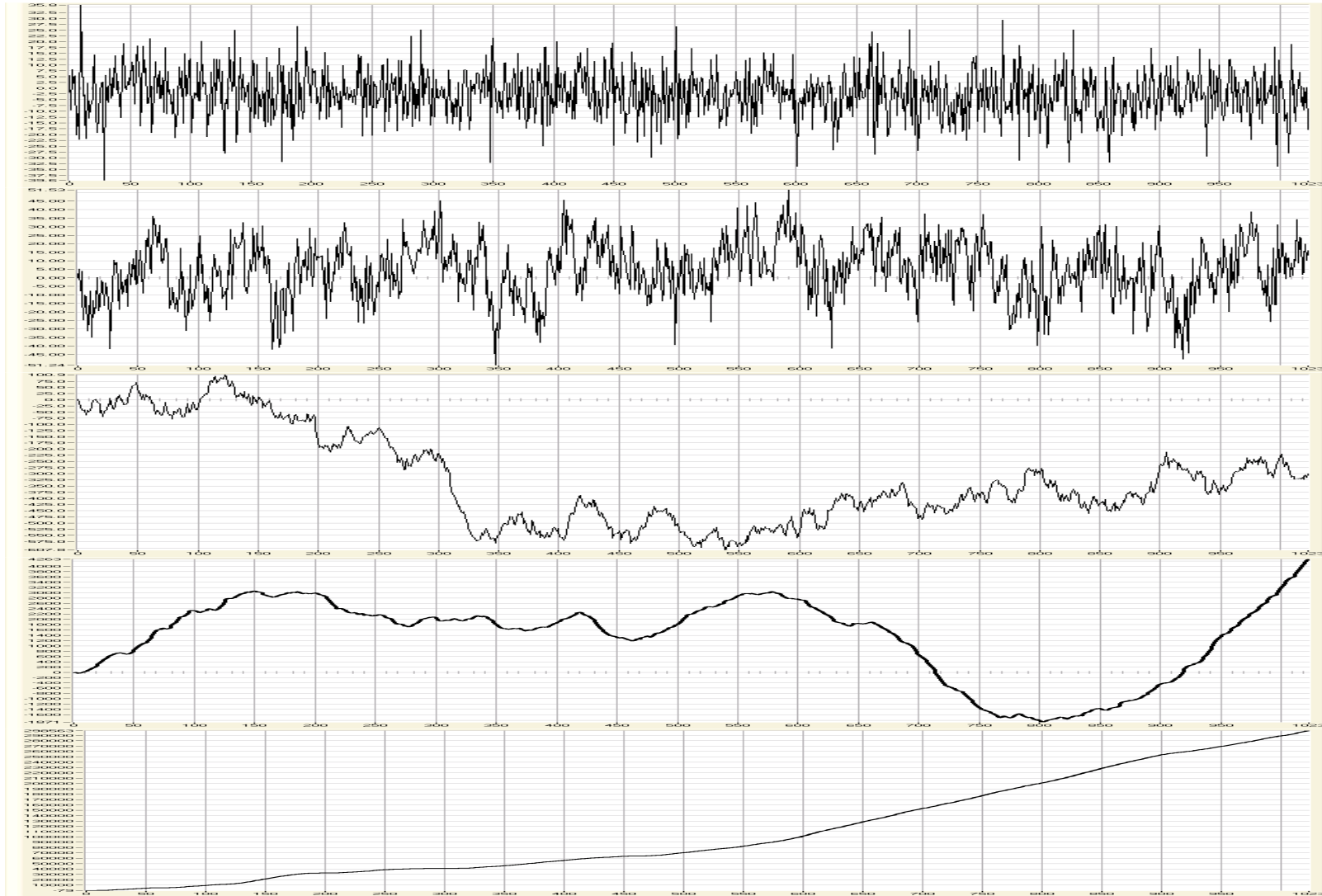
Ruido en el dominio de la frecuencia

$$\sigma_y^2(\tau) = \frac{1}{2} \langle (\bar{y}_{k+1} - \bar{y}_k)^2 \rangle = \frac{2}{(\pi\nu_0\tau)^2} \int_0^\infty S_\phi(f) \sin^4(\pi f\tau) df$$

- No muy util para la estimación de ruido en el dominio del tiempo a partir del ruido en el dominio de la frecuencia
- Muy útil para detectar anomalías en el desempeño de osciladores

Tipos comunes de ruido en osciladores

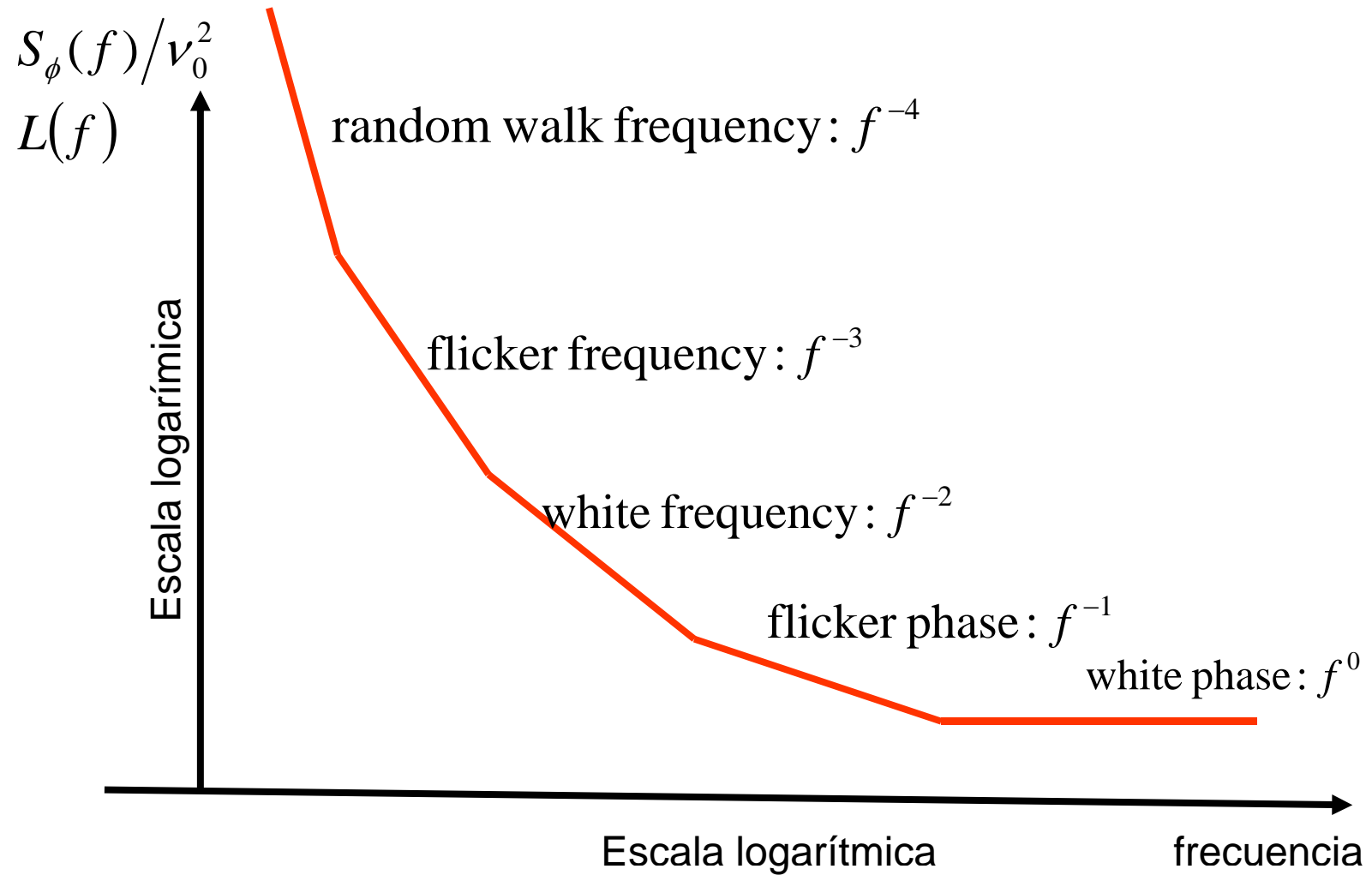
$$S_{\phi}(f)$$



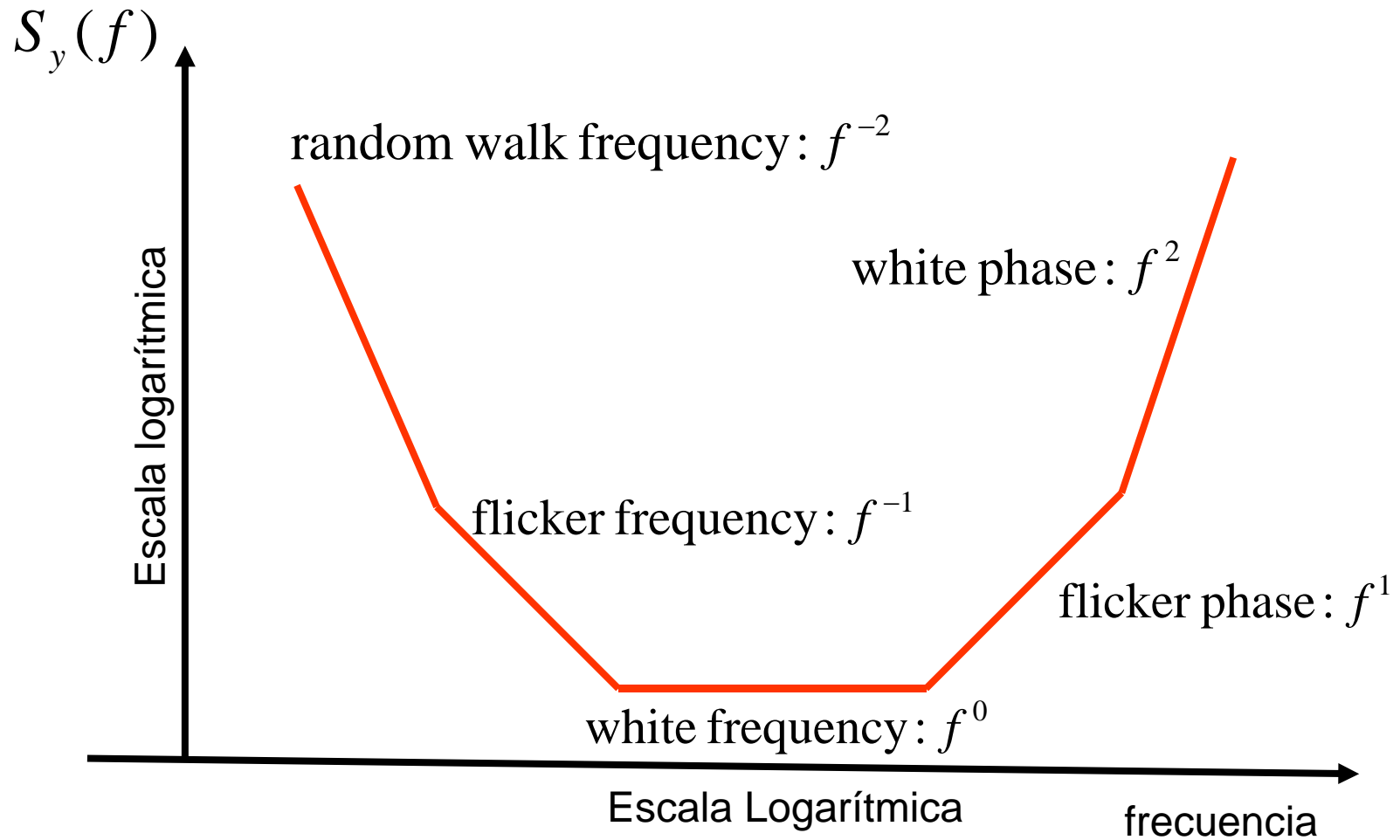
Tipos comunes de ruido en osciladores

Tipo de ruido	$S_{\phi}(f)/\nu_0^2$	$S_y(f)$
Blanco de fase	$h_2 f^0$	$h_2 f^2$
"Flicker" de fase	$h_1 f^{-1}$	$h_1 f^1$
Blanco de frecuencia	$h_0 f^{-2}$	$h_0 f^0$
"Flicker" de frecuencia	$h_{-1} f^{-3}$	$h_{-1} f^{-1}$
"Random Walk" de frecuencia	$h_{-2} f^{-4}$	$h_{-2} f^{-2}$

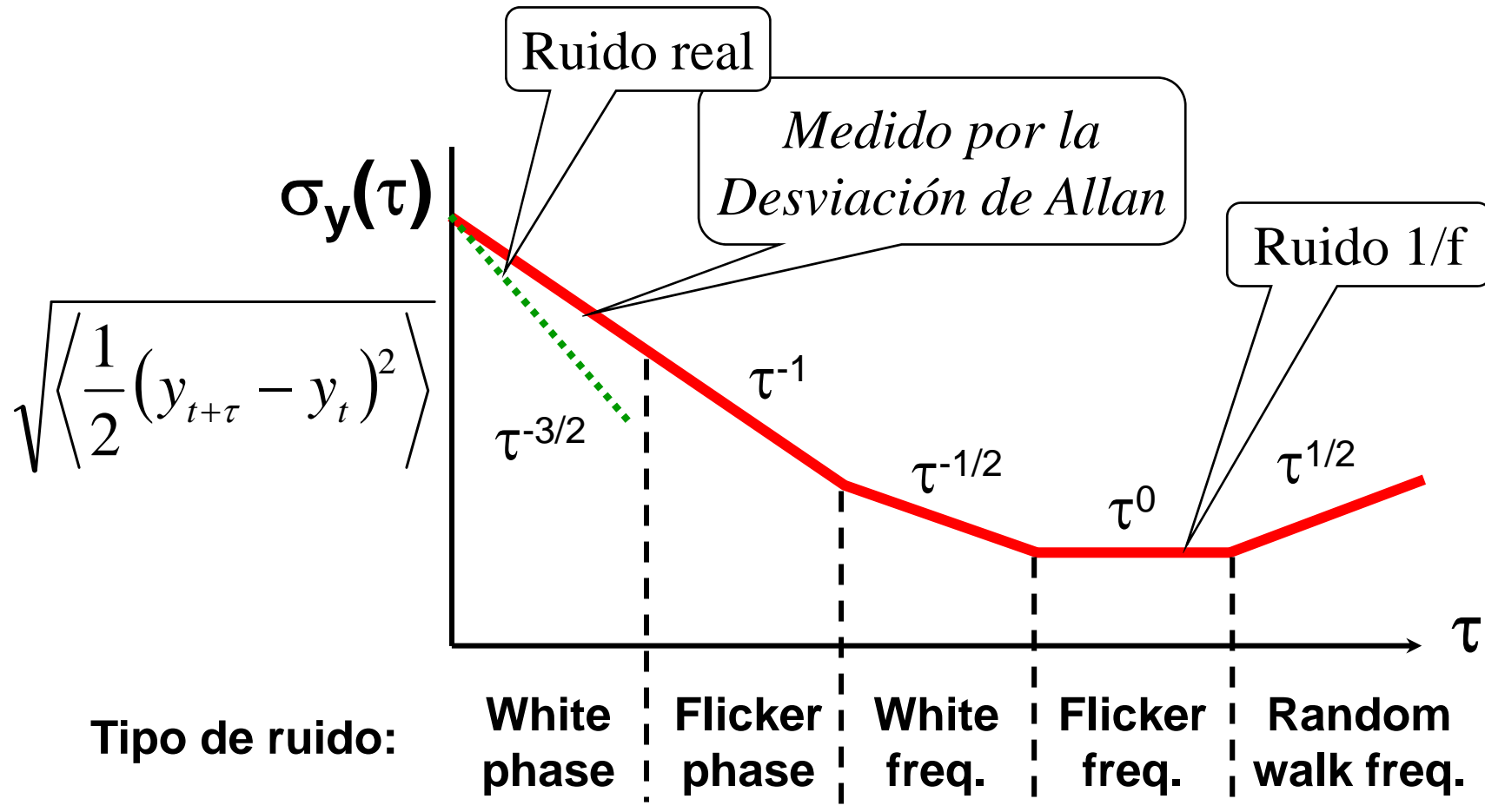
Tipos de ruido en dominio de la frecuencia



Tipos de ruido en dominio de la frecuencia



Ruido en el dominio del tiempo: $\sigma_y(\tau)$

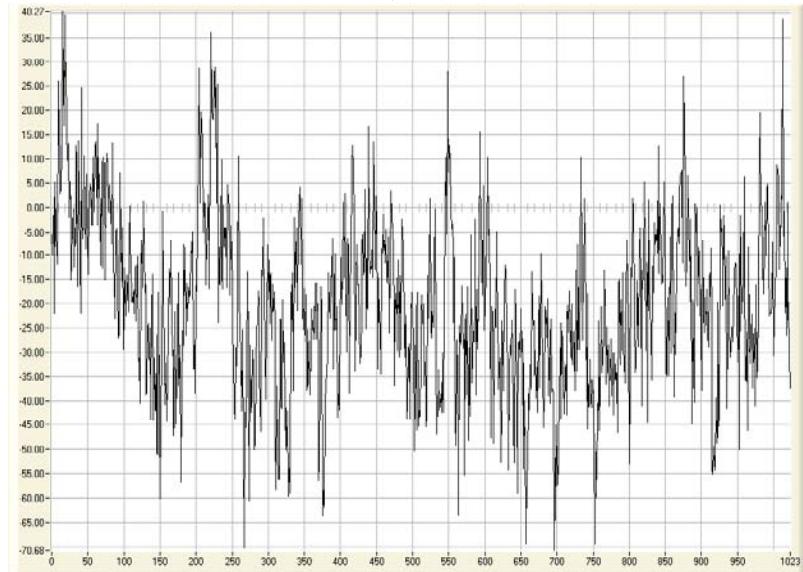
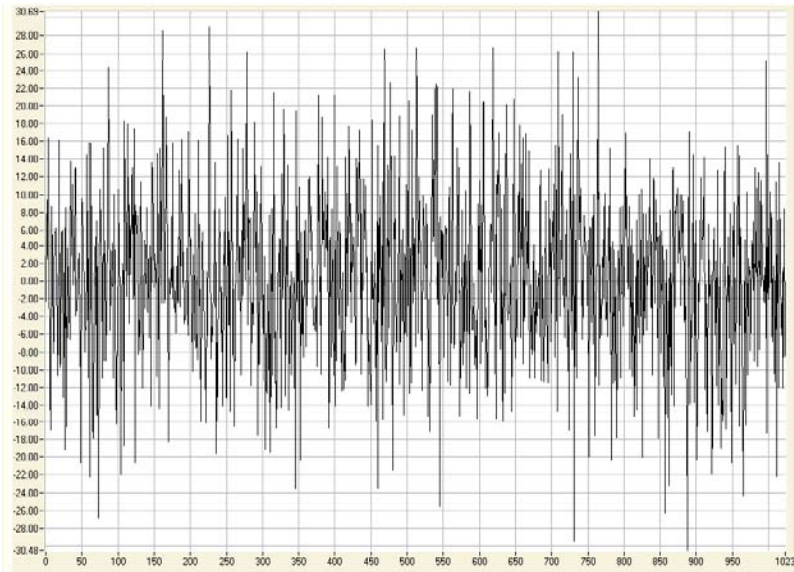
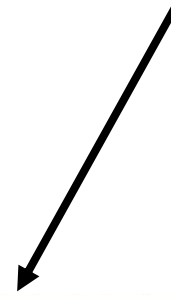
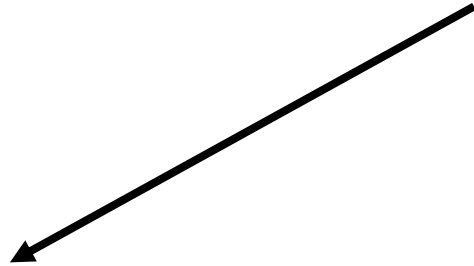


Análisis de frecuencia usando un analizador de espectros

- Ventajas
 - Buen detector de señales de modulación parásitas
 - Fácil de usar para altas frecuencias
 - Puede discriminar entre ruido blanco de fase y flicker de fase.
- Desventajas
 - No muy bueno medir ruidos con frecuencias cercanas a la de la portadora

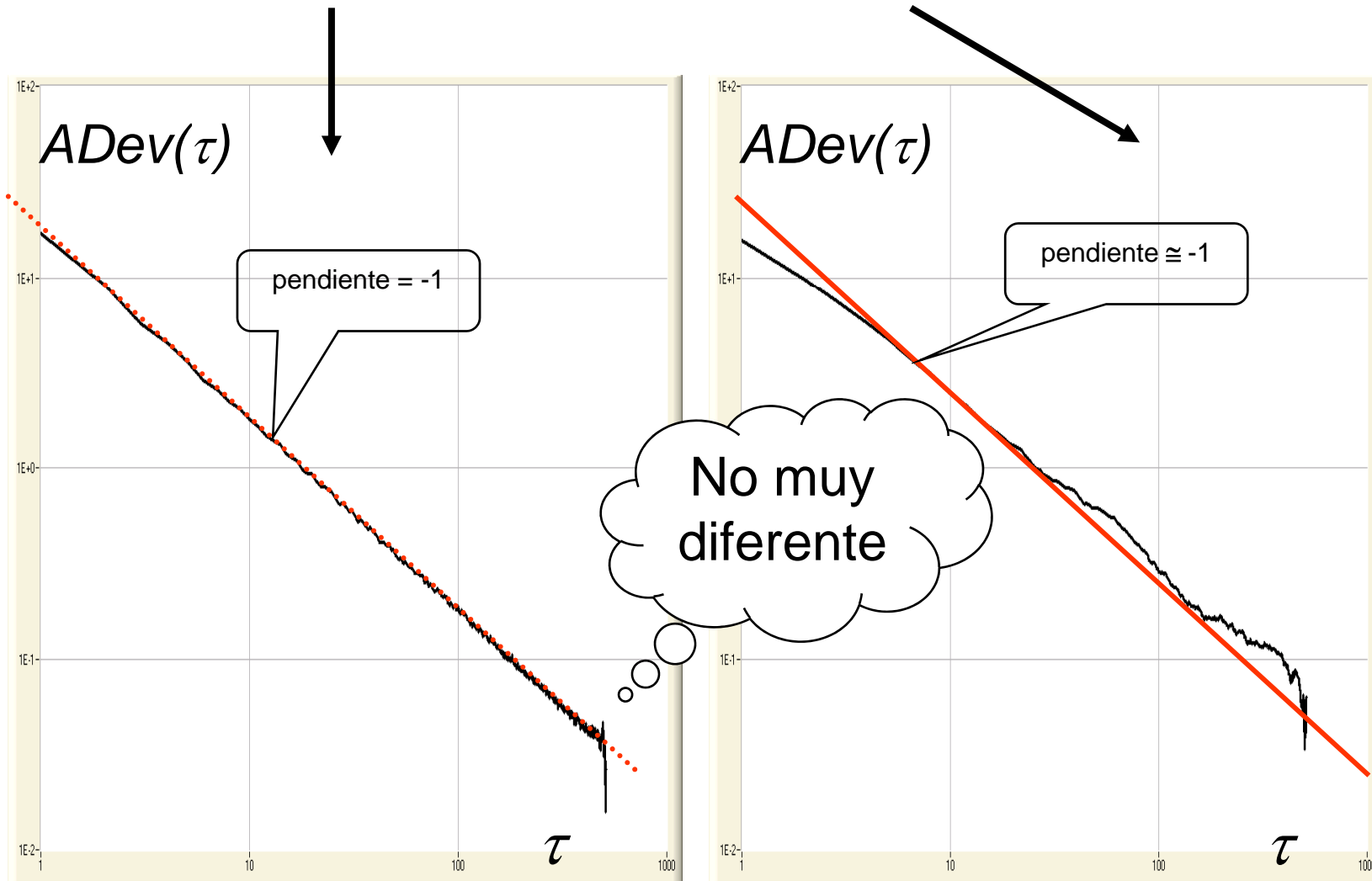
Algunos ejemplos de diferencias entre el análisis de mediciones en el dominio del tiempo y de la frecuencia

Ruido de fase blanco vs flicker



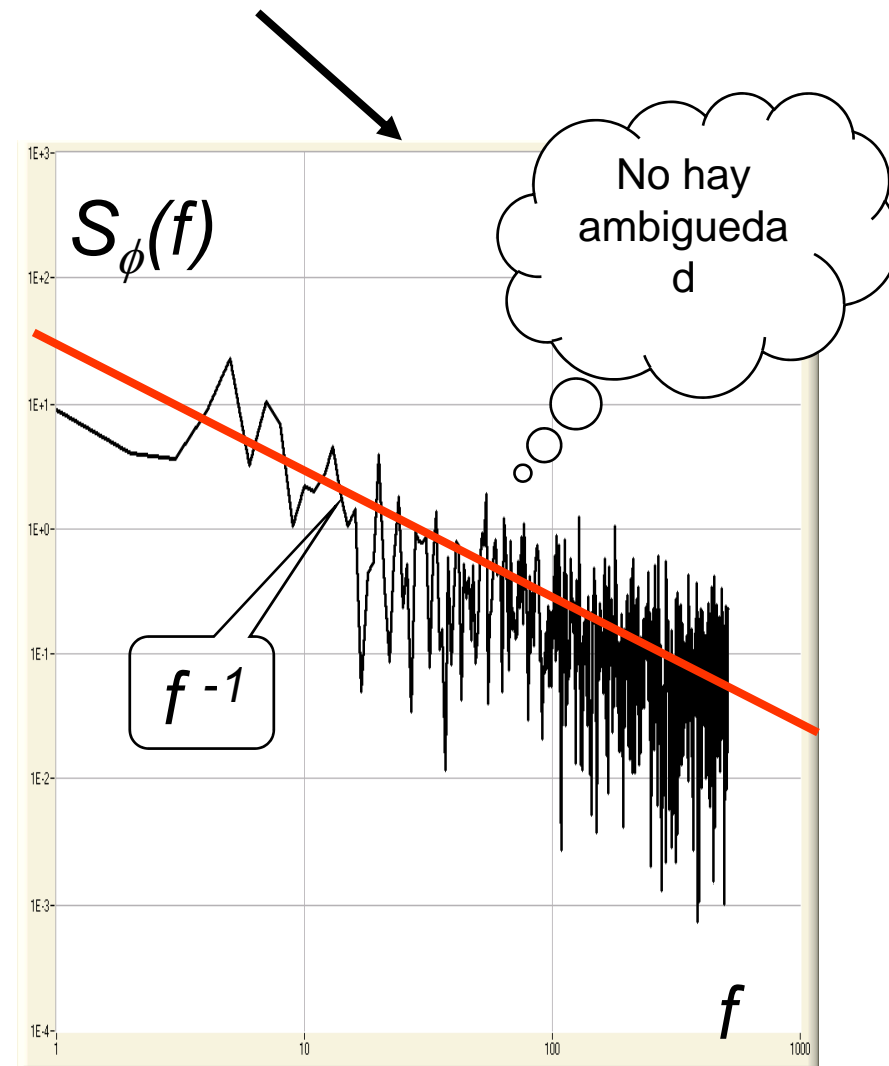
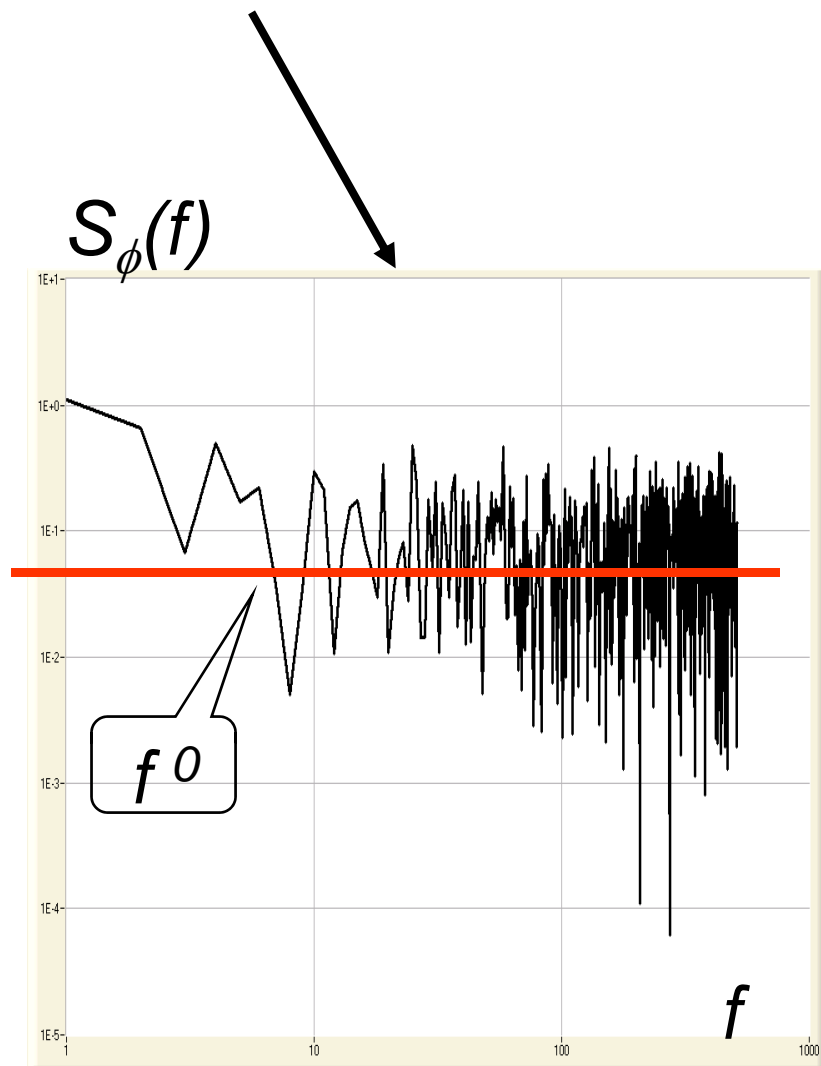
Dominio del tiempo

Blanco de fase vs Flicker de fase



Dominio del tiempo

Blanco de fase versus flicker de fase



Dominio de la frecuencia

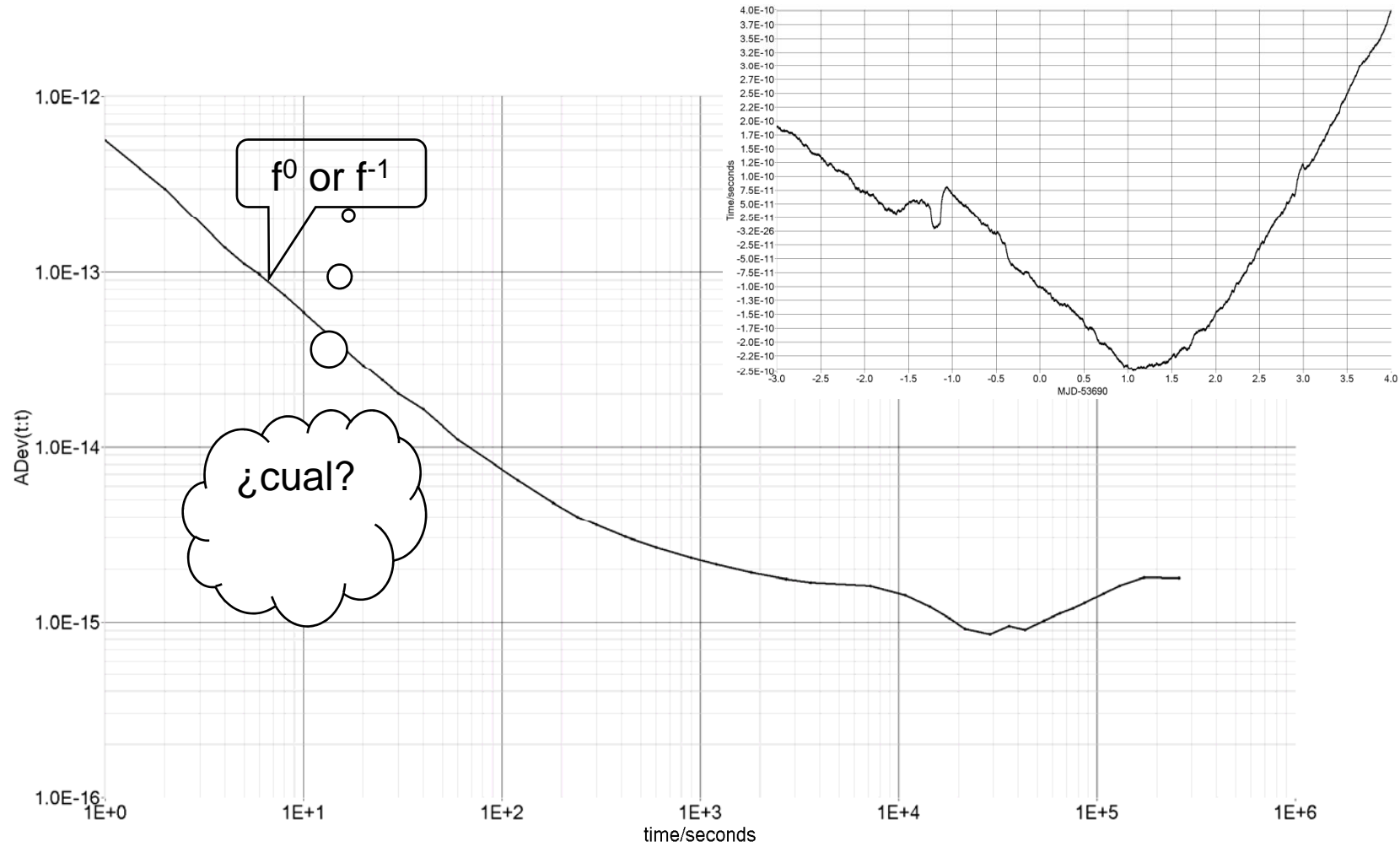
Ruido de fase blanco y flicker

- Estan usualmente presentes para la misma escala de tiempo y son difíciles de separar
- ADev no distingue entre ambos.
- Con la FFT se puede fácilmente detectar la presencia de ruido blanco de fase, el cual está usualmente presente en los osciladores para tiempos de promediación cortos.

Máser de hidrógeno

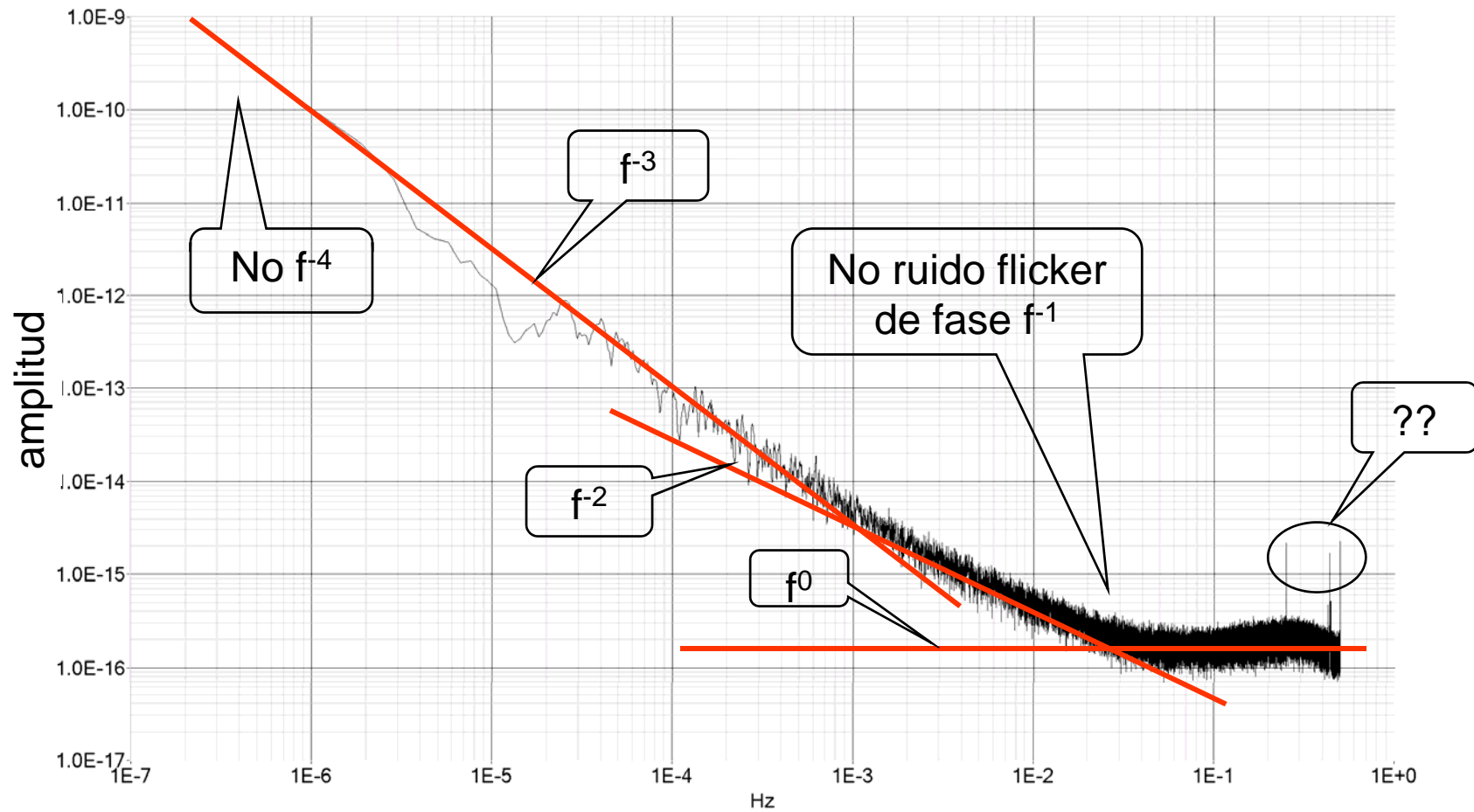
- Caso de un máser de hidrógeno “enfermo”
- Presenta exceso de ruido de fase blanco o flicker.
- ADev revela la presencia de ruido a tiempos cortos más alto que lo normal pero no distingue entre ruido blanco y flicker.
- La aplicación de la FFT a las mediciones de diferencia de fase revela el tipo de ruido presente en el máser.

Máser de hidrógeno



Dominio del tiempo

Máser de hidrógeno



Dominio de la frecuencia

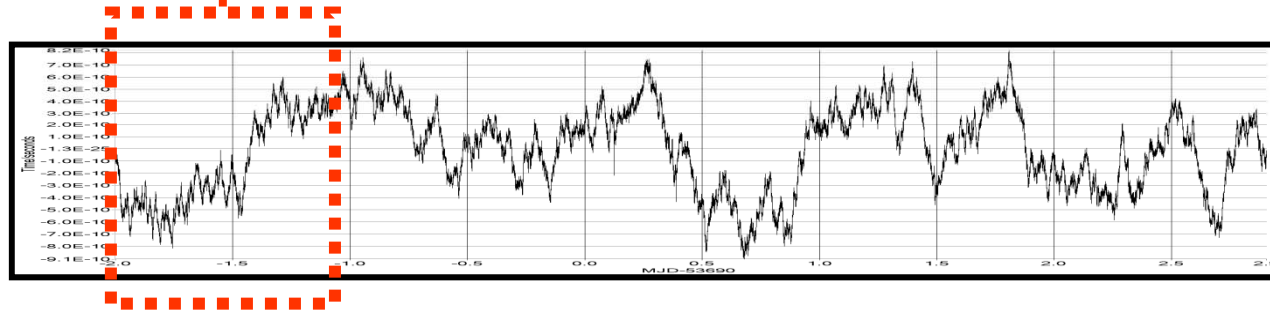
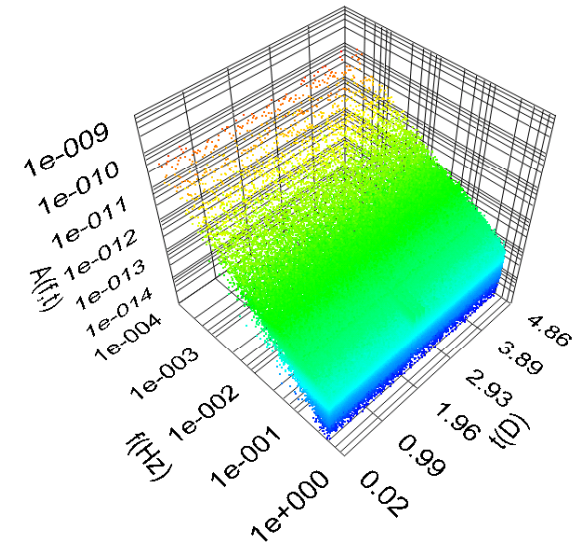
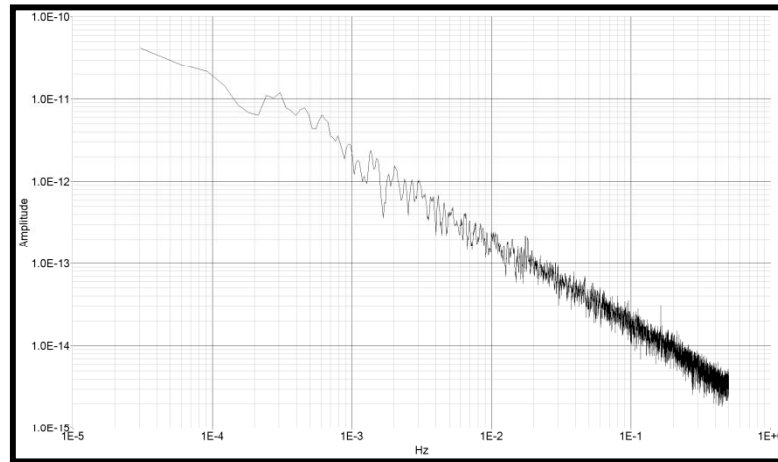
Máser de hidrógeno

- El análisis en el dominio de la frecuencia revela el tipo de ruido que afecta el desempeño del oscilador.
- El análisis en el dominio de la frecuencia revela adicionalmente la presencia de una señal parásita.
 - La señal parásita se debe a un ciclo de operación de 4 segundos en el comparador de fases

Otra manera de analizar las mediciones: la FFT móvil

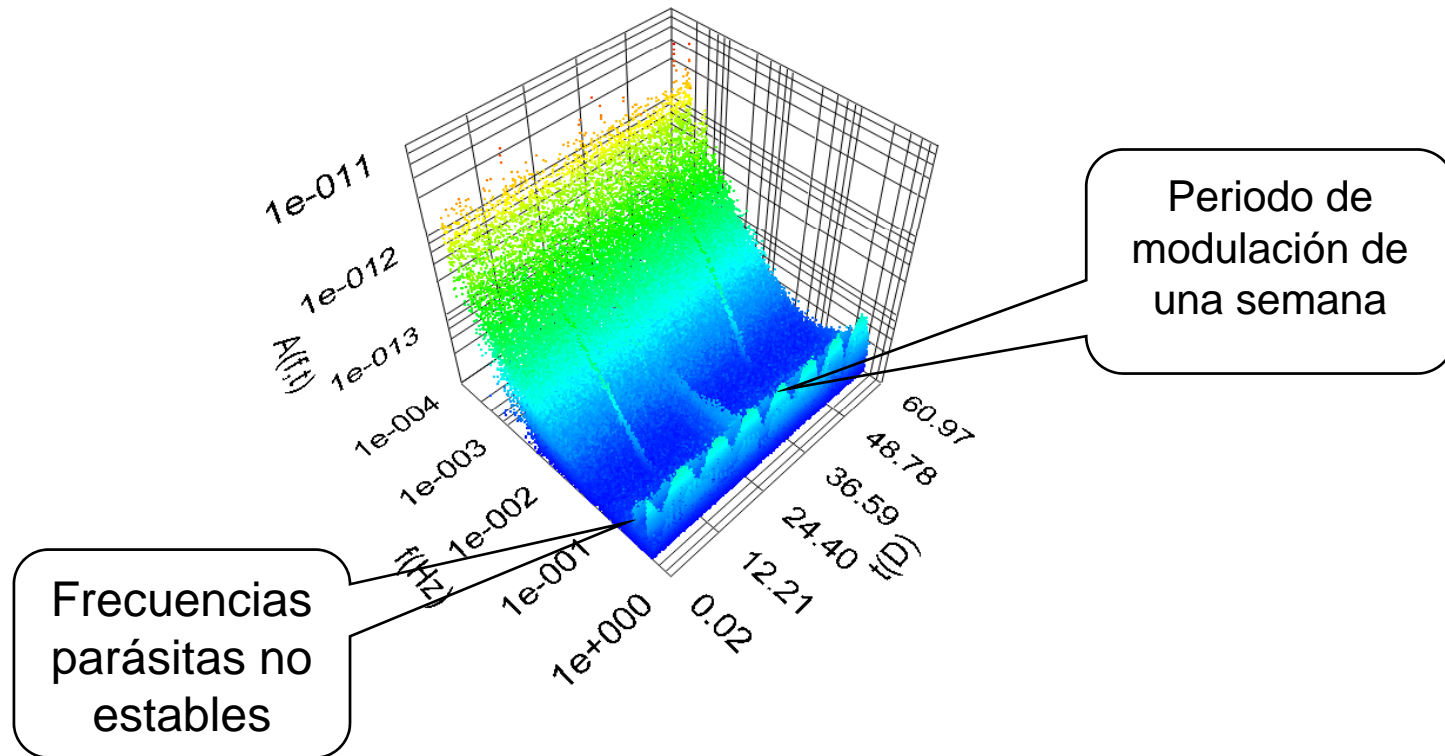
- Fácil de implementar
- Puede revelar la presencia de problemas intermitentes

La FFT móvil

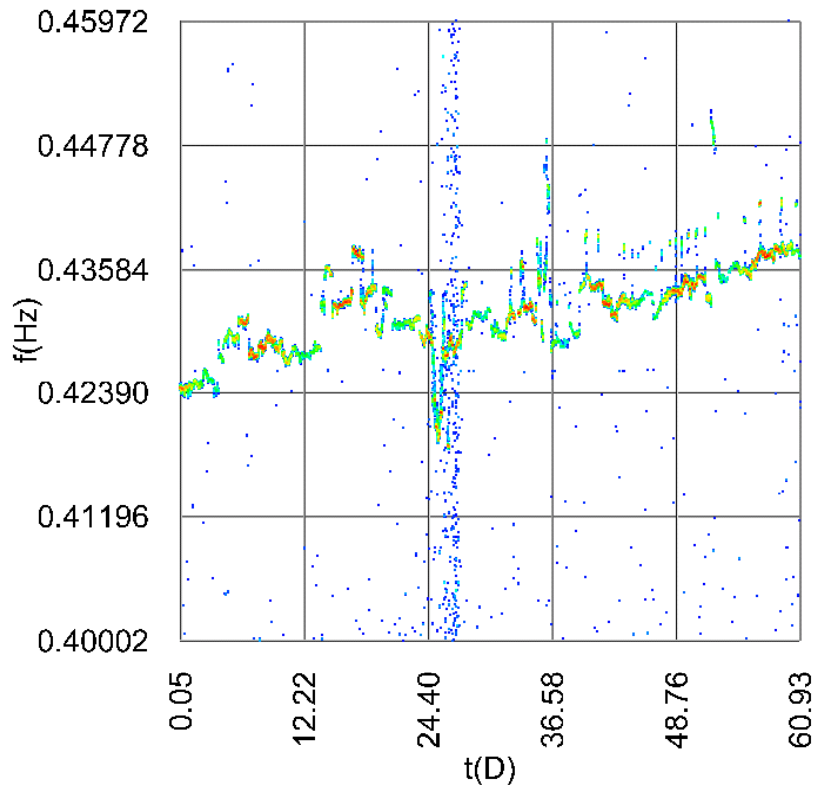


La FFT móvil

La FFT móvil aplicada a mediciones de diferencia de fase para un periodo de 6 días entre las señales de dos máseres de hidrógeno revela la presencia de señales parásitas anormales.



Señales parásitas



Se encuentra que las señales parásitas se generan en un punto entre el máser y el comparador de fases.

Existen tres amplificadores de distribución entre el máser y el comparador de fases.

La amplitud de modulación de una semana indica que las señales parásitas tienen su origen en las actividades normales dentro del edificio donde está ubicado el laboratorio

Conclusiones

- La aplicación de métodos de medición en el dominio de la frecuencia en paralelo con los métodos de medición en el dominio del tiempo constituye una muy ventajosa forma de caracterizar el desempeño de osciladores.
- Ambos métodos se complementan mutuamente.
- No perder la oportunidad de analizar los resultados de medición desde todos los ángulos posibles.