

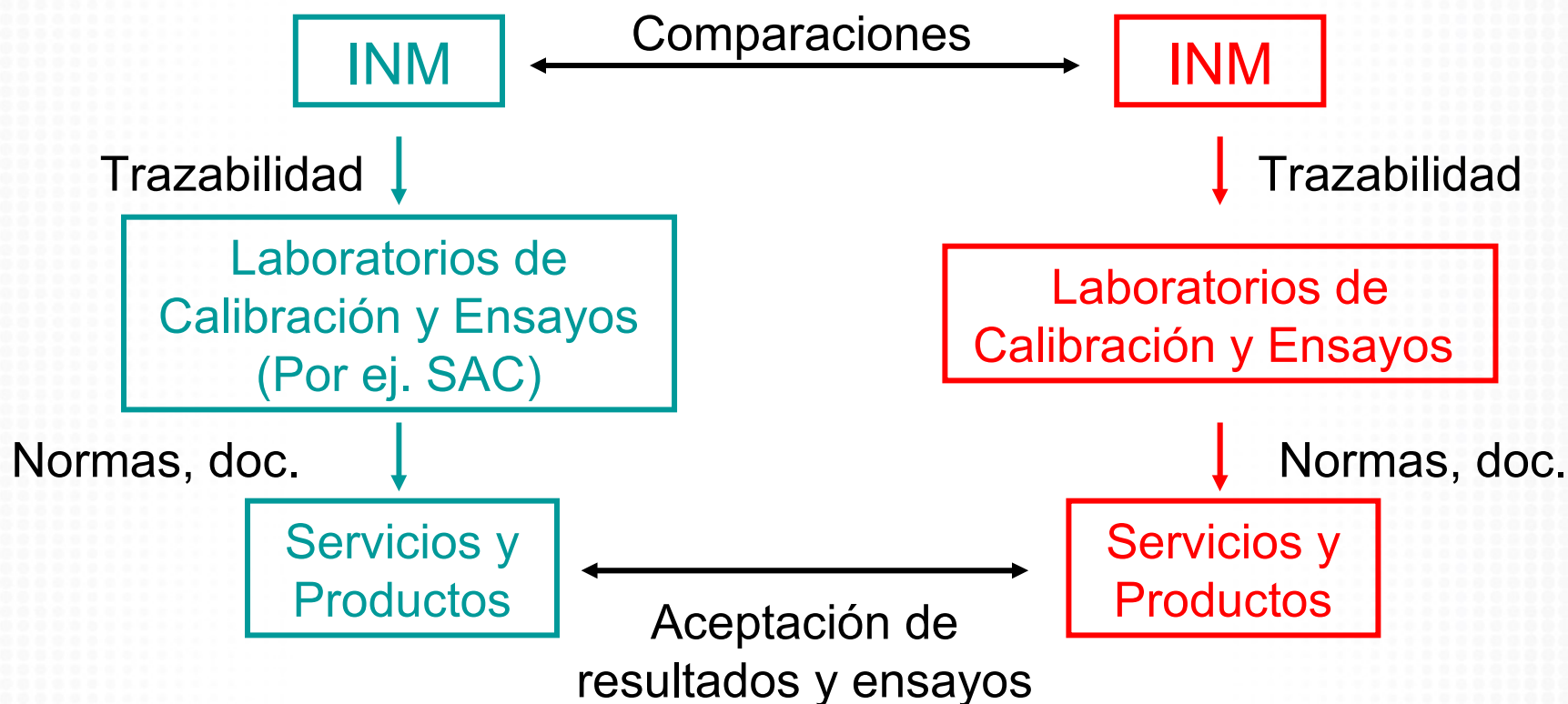
CALIBRACIÓN EN FRECUENCIA DE LÁSERES ESTABILIZADOS

Resumen: se implementó un sistema de medición a partir del cual se logró calibrar láseres estabilizados **en frecuencia** con una incertidumbre dos ordenes mejor que la que obtenía cuando estos mismos se calibraban en longitud de onda.

Equipo responsable:

G. Mingolla, J. Álvarez, L. Álvarez,
S. Ilieff, E. Beer, y **K. Bastida.**
Física y Metrología – UT: Óptica.

Marco del Proyecto: mayor confiabilidad de productos





El metro en el SI



Un metro se define como la distancia que recorre la luz en vacío, en un intervalo de tiempo de $1/299792458$ s.

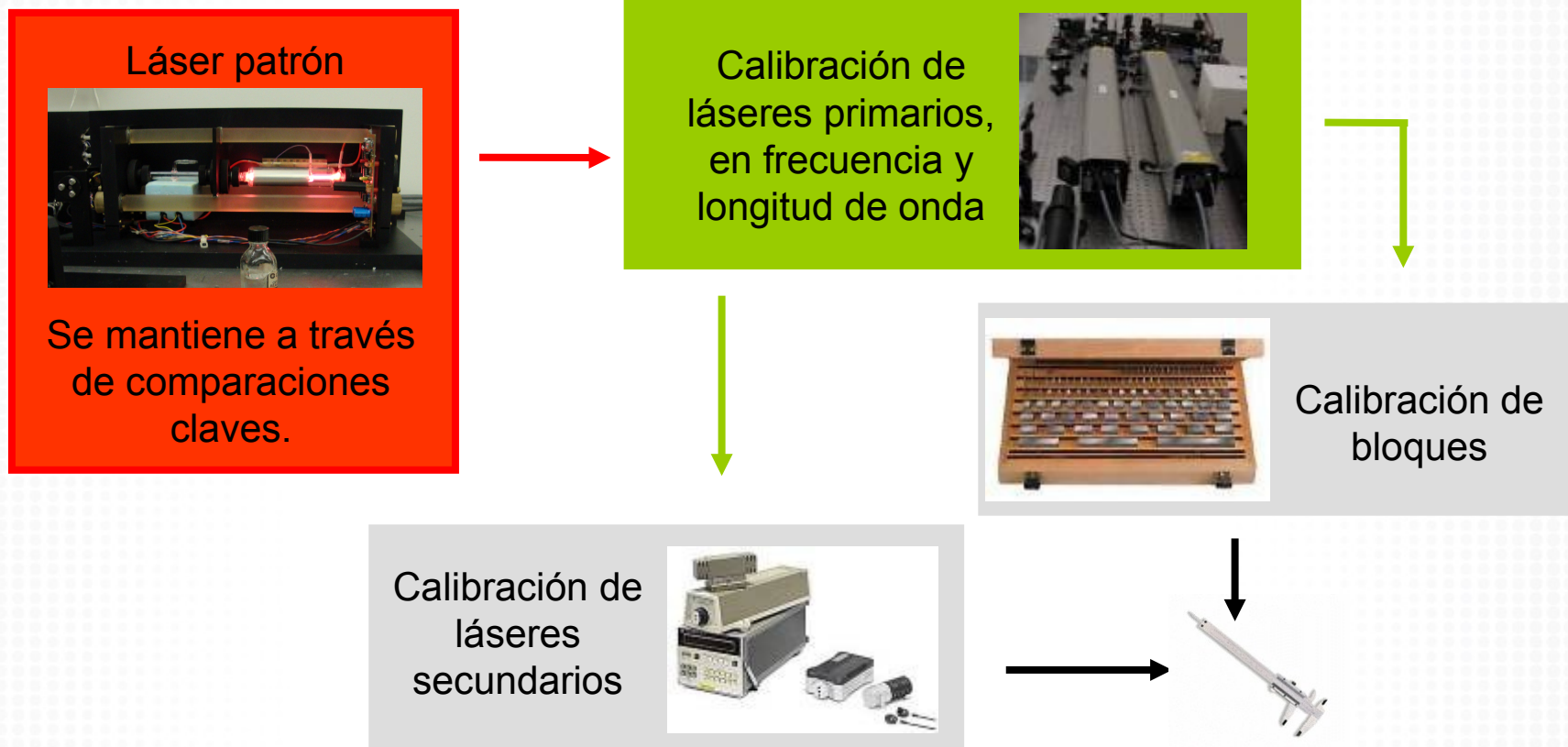
Por lo tanto, por definición, la velocidad de la luz en vacío es de 299792458 m/s



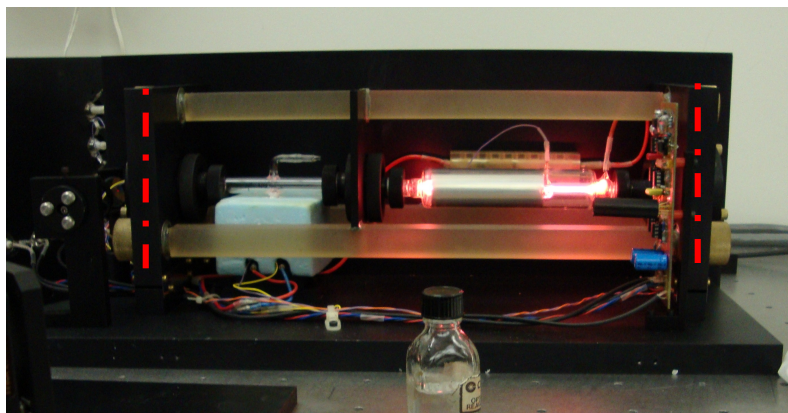
$$C_0[m/s] = \lambda_0[m].f[s^{-1}]$$

Donde f es la frecuencia, λ_0 la longitud de onda en el vacío, y C_0 la velocidad de la luz en vacío.

Mantenimiento, realización y diseminación del metro patrón SI Argentino



Metro SI Argentino: He-Ne estabilizado con celda de I_2



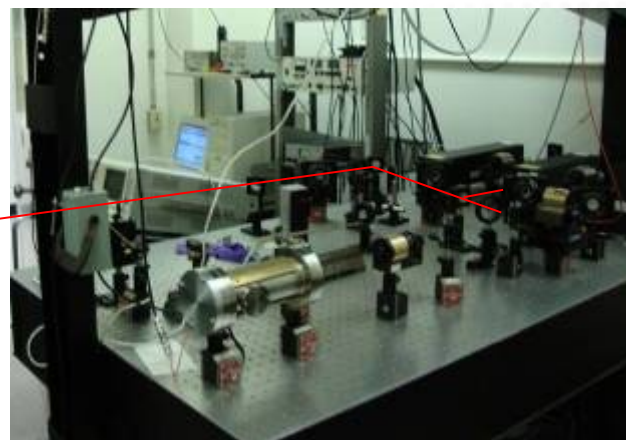
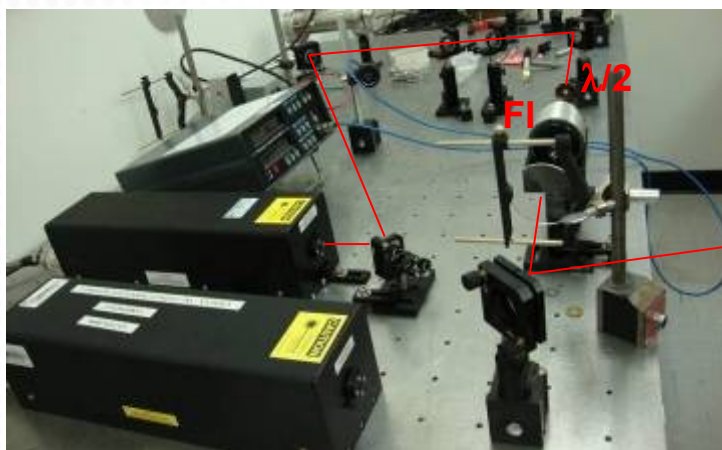
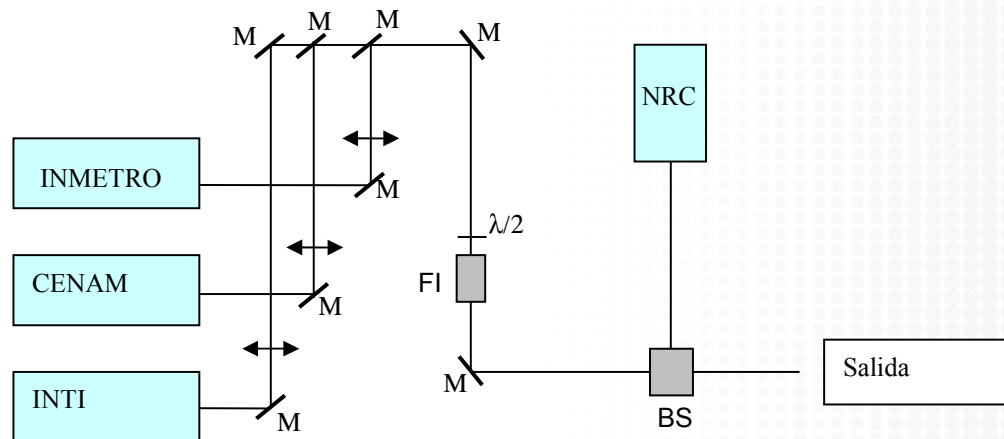
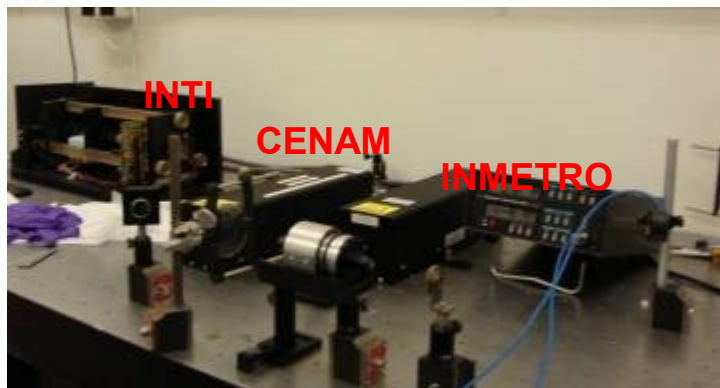
Celda de I_2



Tubo de He-Ne



Comparación CCL-K11, Septiembre, 2009



Metro SI Argentino: Resultados

Estabilidad	Temperatura
modulación	f vs Potencia

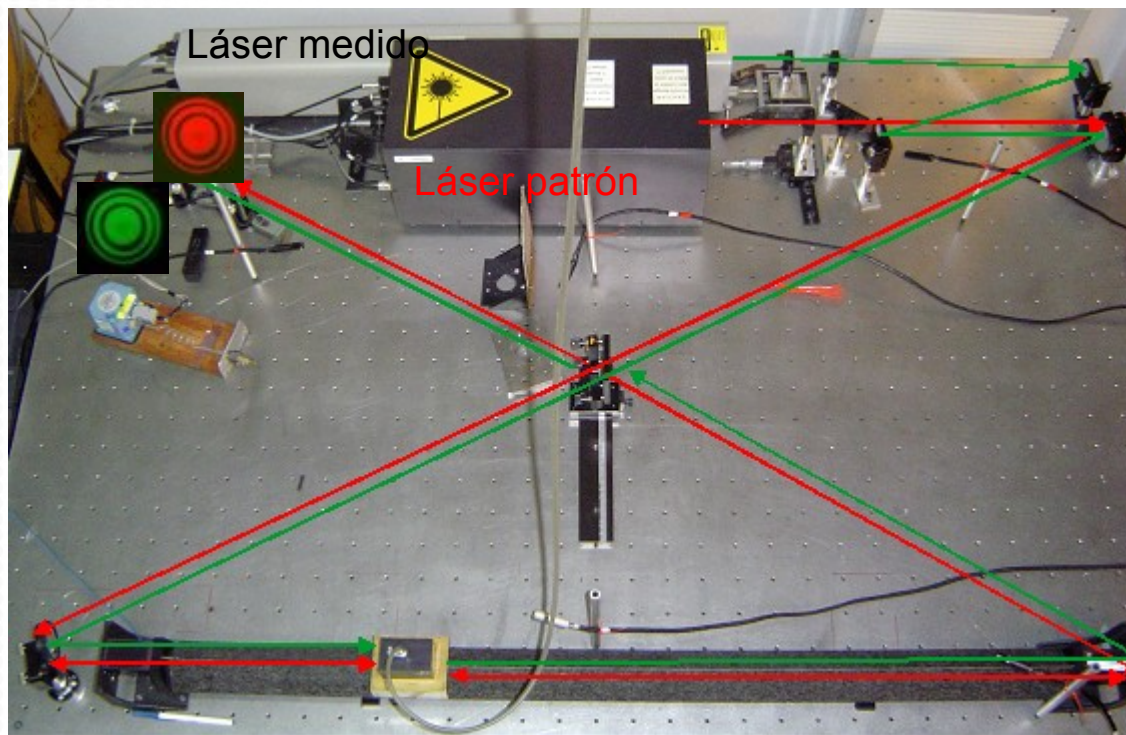
- parámetros de sensibilidad
- Estabilidad del láser
- Frecuencia

$$\frac{u_{Vieja}}{f_{Vieja}} = 2 \cdot 10^{-11}$$

$$\frac{u_{Nueva}}{f_{Nueva}} = 8 \cdot 10^{-13}$$

$$\frac{\Delta f}{f} = 8 \cdot 10^{-12}$$

Calibración en longitud de onda



$$\lambda_{0V} = \frac{N_R}{N_V} \frac{n_V}{n_R} \lambda_{0R}$$

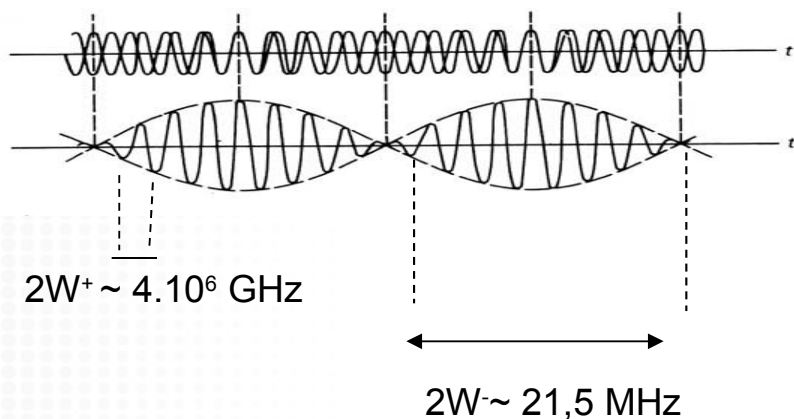
λ_0 la longitud de onda en el vacío, n el índice de refracción en el aire y N el número de franjas.

$$L = N_R \lambda_R = N_V \lambda_V$$

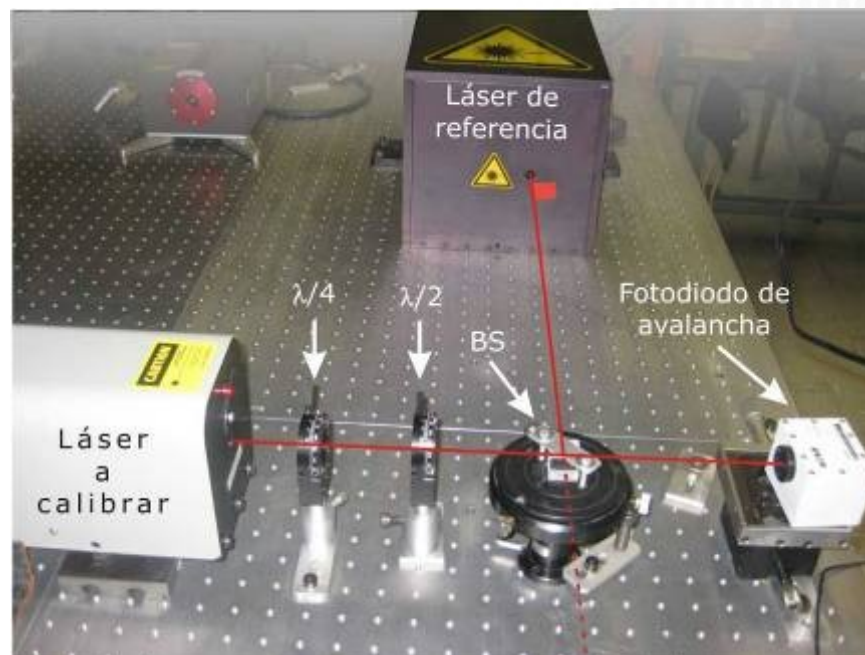


Calibración en frecuencia

Superposición de dos ondas de frecuencia w_1 y w_2

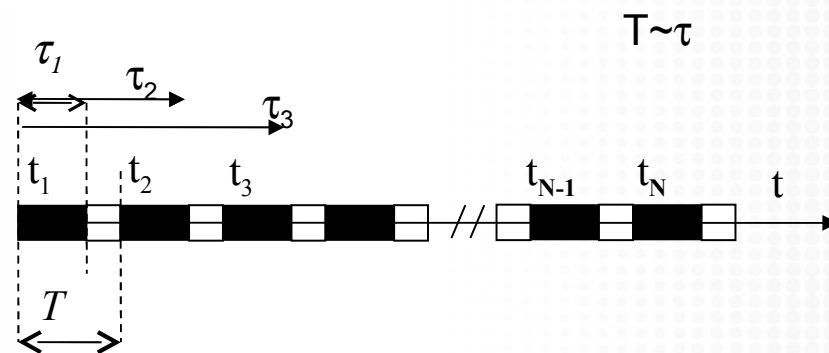
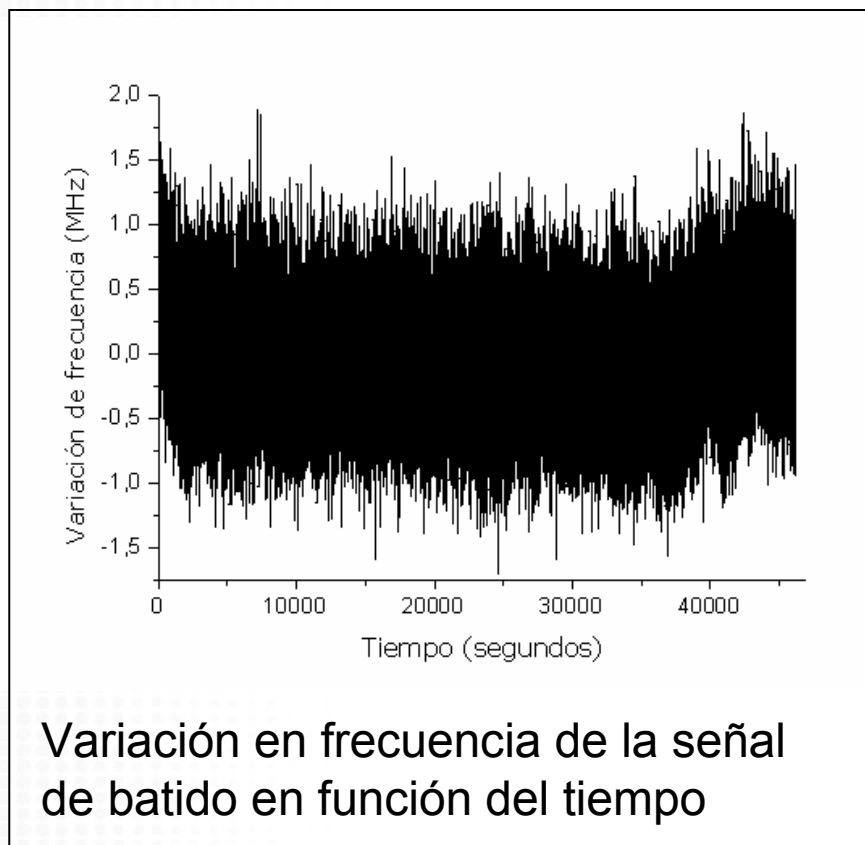


$$E = 2E_0 \cdot \text{Cos}(k^- x - w^- t) \cdot \text{Cos}(k^+ x - w^+ t)$$



k es la frecuencia espacial, w la frecuencia temporal, $2w^- = w_1 - w_2$ la frecuencia de batido, (frecuencia medida y trazable al reloj de Cs).

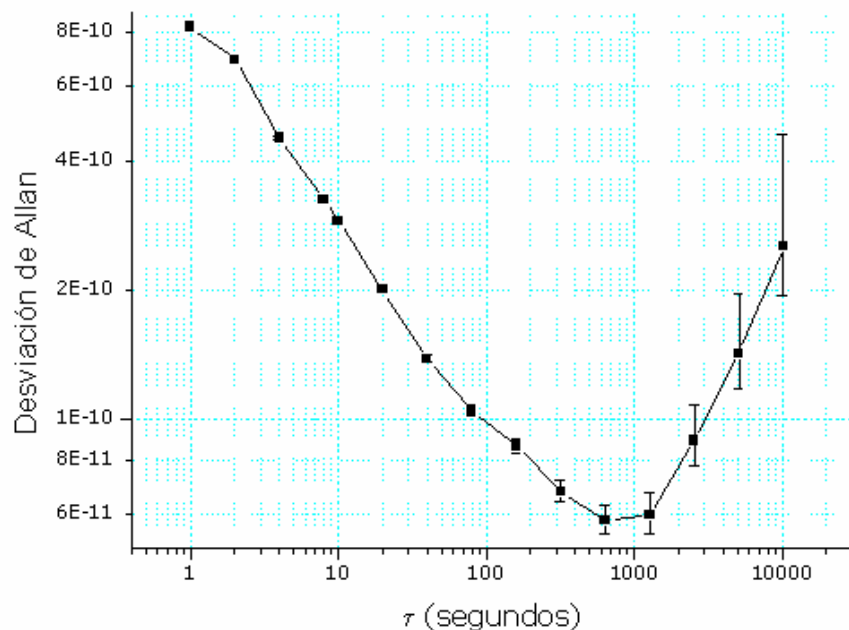
Varianza de Allan, Varianza Standard



$$\sigma_y^2(\tau) = \frac{1}{2(N-1)} \sum_{i=1}^{N-1} (y_{i+1} - y_i)^2$$

y_i es la i -ésima frecuencia promediada en el intervalo τ , con $\tau = m\tau_0$ el intervalo de observación, y $m = 2^N$ el máximo número de cálculos posibles

Medición de la estabilidad de un láser



Varianza de Allan

$\sigma_y(\tau)$	$\sigma_y(\tau_{Cs})$	$\sigma_y(\tau_{Ref})$	τ (s)
$8.3 \cdot 10^{-10}$	$< 1.2 \cdot 10^{-11}$	$9.3 \cdot 10^{-13}$	1
$2.9 \cdot 10^{-10}$	$< 8.5 \cdot 10^{-12}$	$3.5 \cdot 10^{-13}$	10
-	-	$1.4 \cdot 10^{-13}$	100
$8.6 \cdot 10^{-11}$	$< 2.7 \cdot 10^{-12}$	-	160

$$\sigma_y(\tau) > \sigma_y(\tau_{Cs}) \quad \text{y} \quad \sigma_y(\tau) > \sigma_y(\tau_{Ref}) \quad \forall \tau$$

Desviación de Allan $\sigma_y(t)$ relativa en función del tiempo de muestreo.

Resultados

- Con el método descrito, “calibración en frecuencia” se logró determinar la frecuencia de un láser estabilizado con una incertidumbre relativa combinada del orden de 1 parte en 10^{10} , mejor en dos ordenes que con el método interferométrico. El hecho se debe a que la frecuencia de un láser (magnitud derivada del tiempo) se puede medir con mayor exactitud que la longitud de onda.
- Este resultado nos permitió cerrar la cadena de trazabilidad en metrología dimensional dentro del país.
- Permitió además agregar un nuevo servicio como es la calibración de láseres estabilizados incluyendo análisis de estabilidad. Servicio que se necesita no solo en el país sino en la región.
- El método es además más robusto que la calibración en longitud de onda, por lo que demanda menos tiempo del operador.