

Patrón primario de frecuencia de haz térmico bombeado ópticamente, CsOP-2.

DIVISIÓN DE TIEMPO Y FRECUENCIA

Resumen

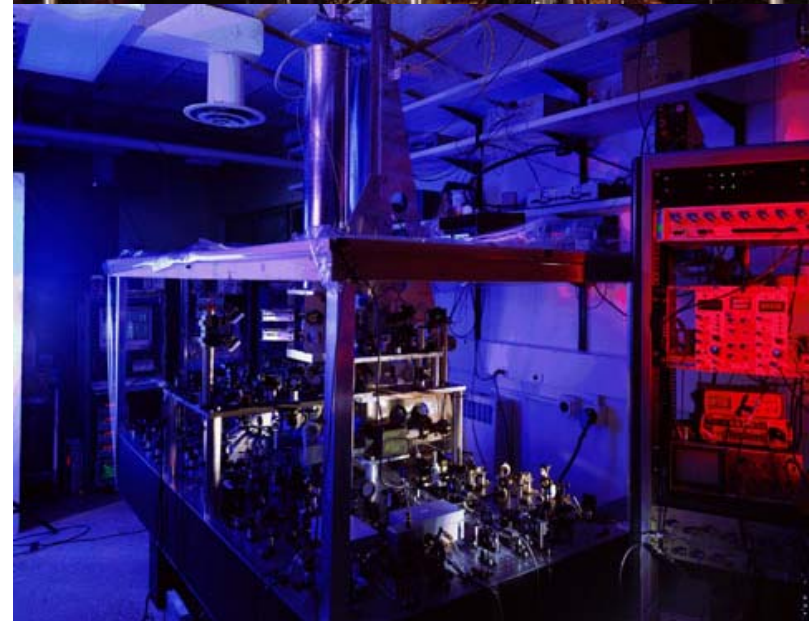
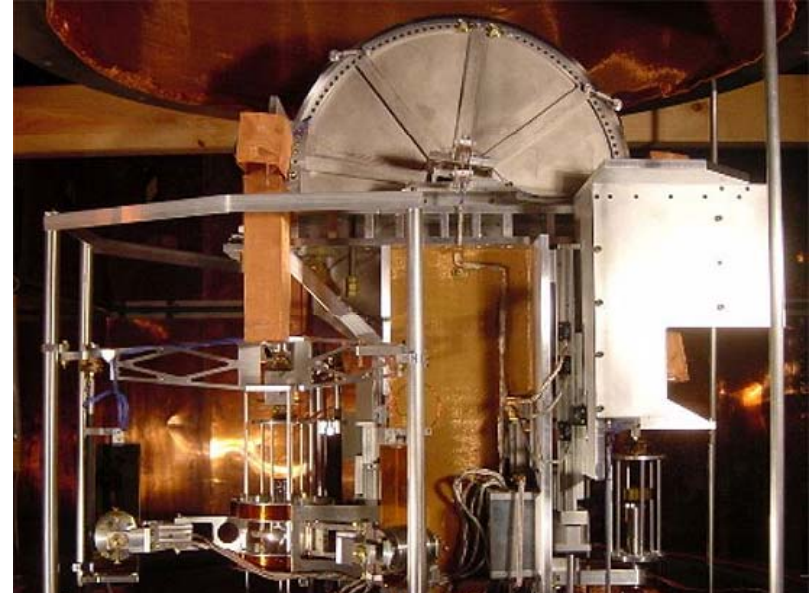
Con el objetivo de realizar la unidad de tiempo del Sistema Internacional de Unidades, con una exactitud de partes en $10E14$, se ha diseñado y construido en la división de Tiempo y frecuencia del CENAM un nuevo patrón atómico de haz térmico de cesio. Actualmente este nuevo patrón se encuentra en etapa de evaluación de efectos sistemáticos. Finalizada esta evaluación, el CsOP-2 contribuirá de manera importante a la generación del UTC(CNM), con lo cual el CENAM incrementará la exactitud en los servicios de calibración y de disseminación de tiempo en beneficio de todas aquellas empresas y personas en general que demanden una alta exactitud en los sistemas de medición de tiempo y frecuencia.

CONTENIDO

- Introducción y motivación (componentes de un reloj)
- La cavidad de Ramsey
- Sistema de vacío (cámara y bombas de vacío)
- Blindajes magnéticos
- Bobina de campo C
- Hornos de cesio
- Resultados experimentales
- Conclusiones

Introducción

- Motivación
 - El desarrollo de patrones primarios, en general es motivado por la demanda de mayor exactitud de los mismos.



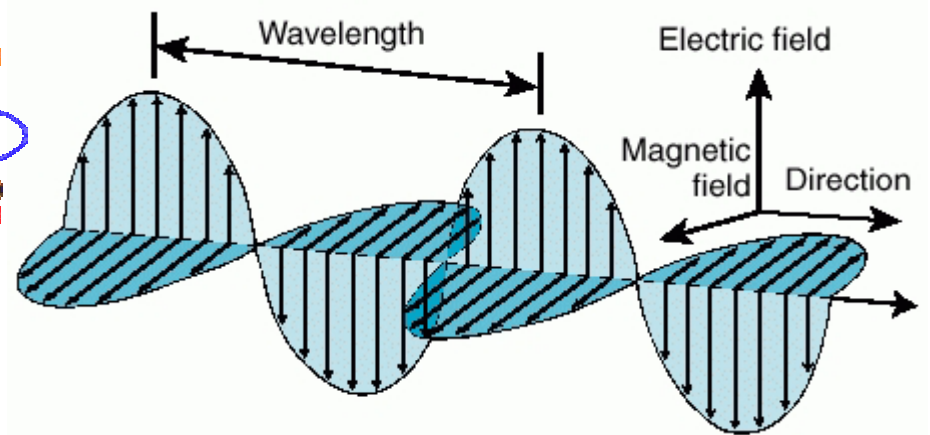
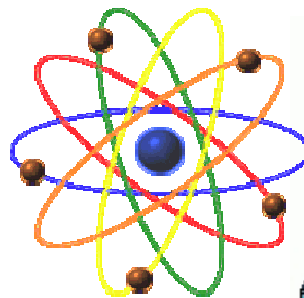
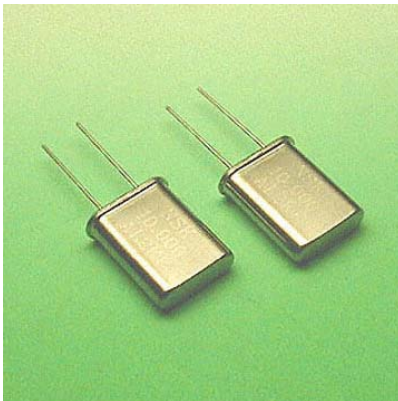
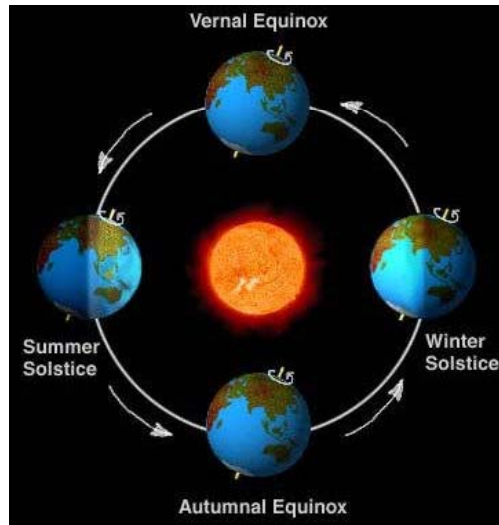
Componentes de un reloj

Contador

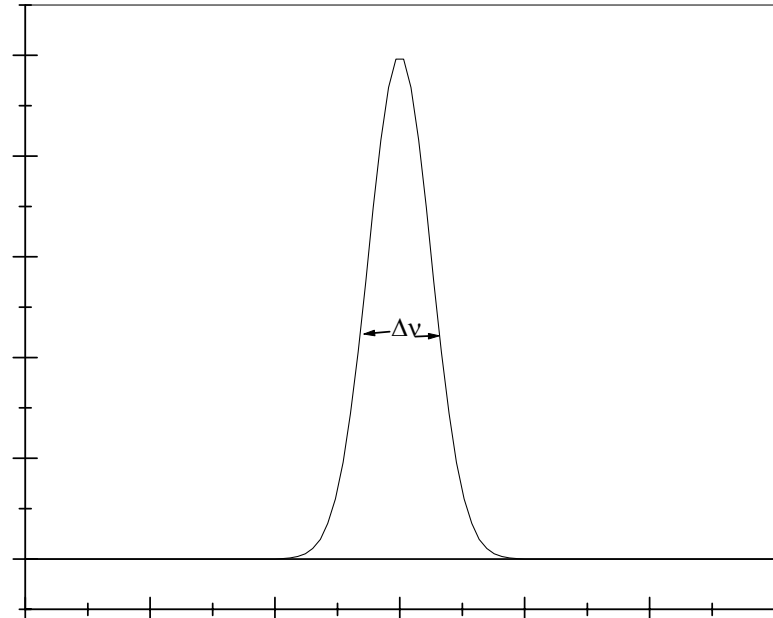
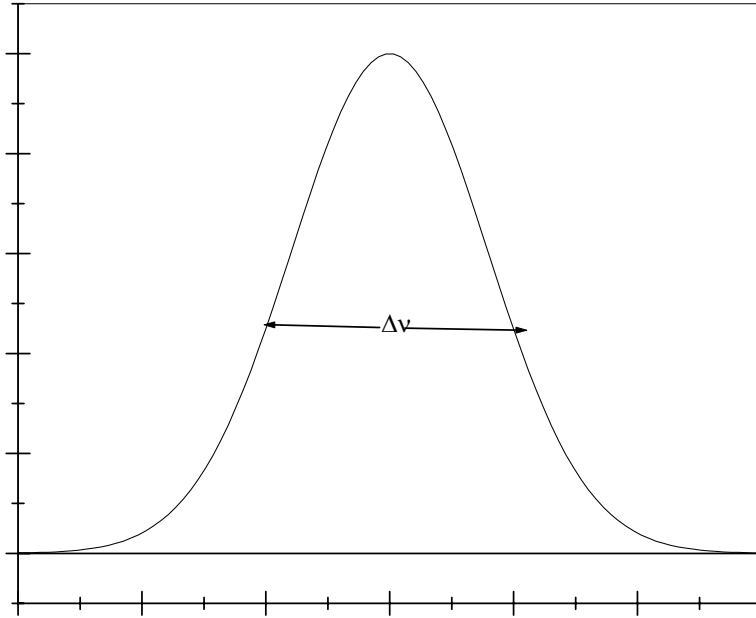


Oscilador

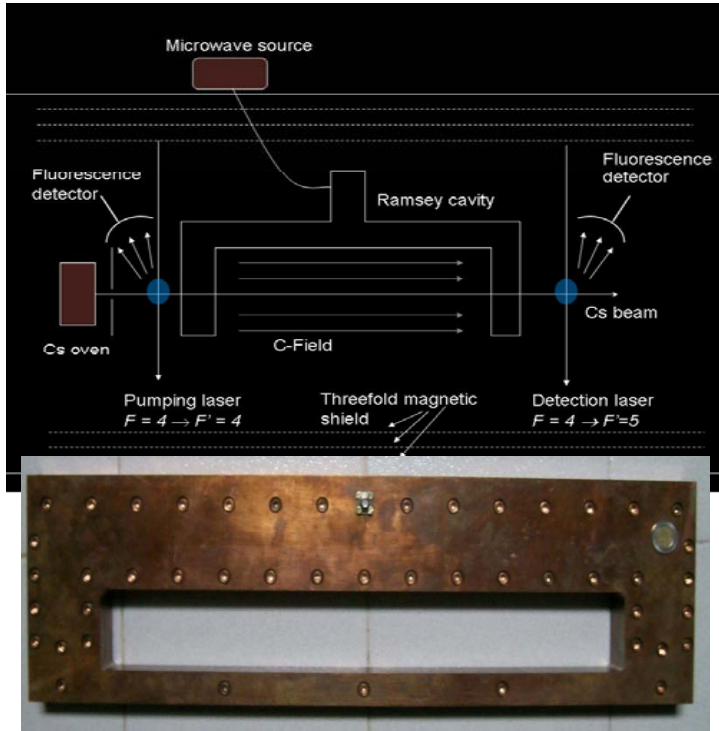
Distintos tipos de osciladores



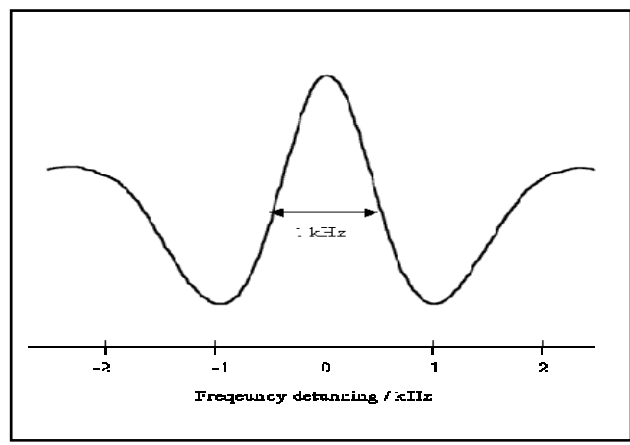
$$\Delta\omega\Delta T \geq 1/2$$



Cavidad de Ramsey para patrones primarios de haz térmico



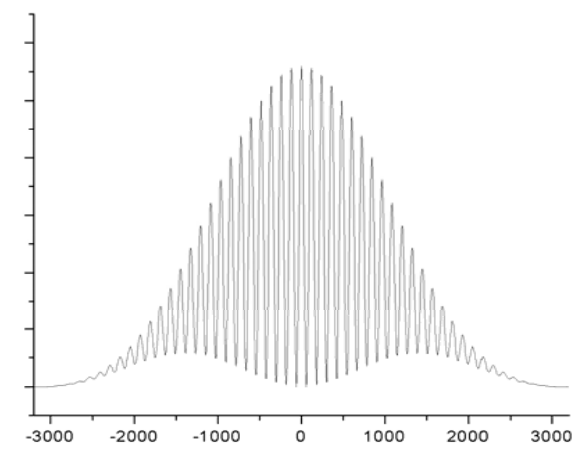
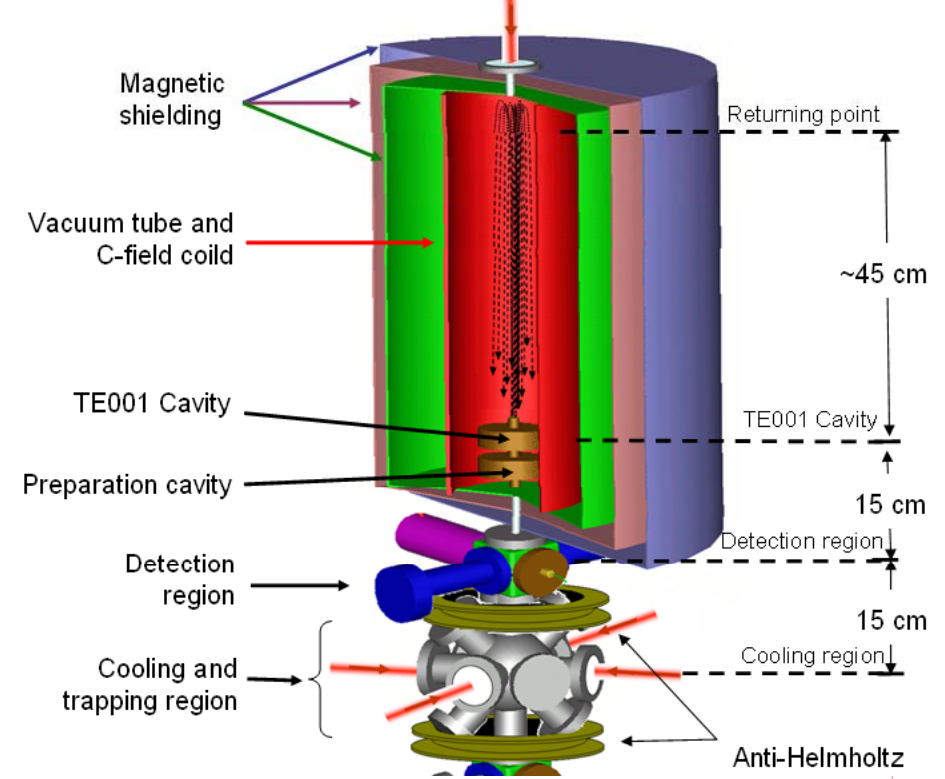
0,50m



$$\Delta\omega\Delta T \geq 1/2$$

aaa

Fuente de átomos

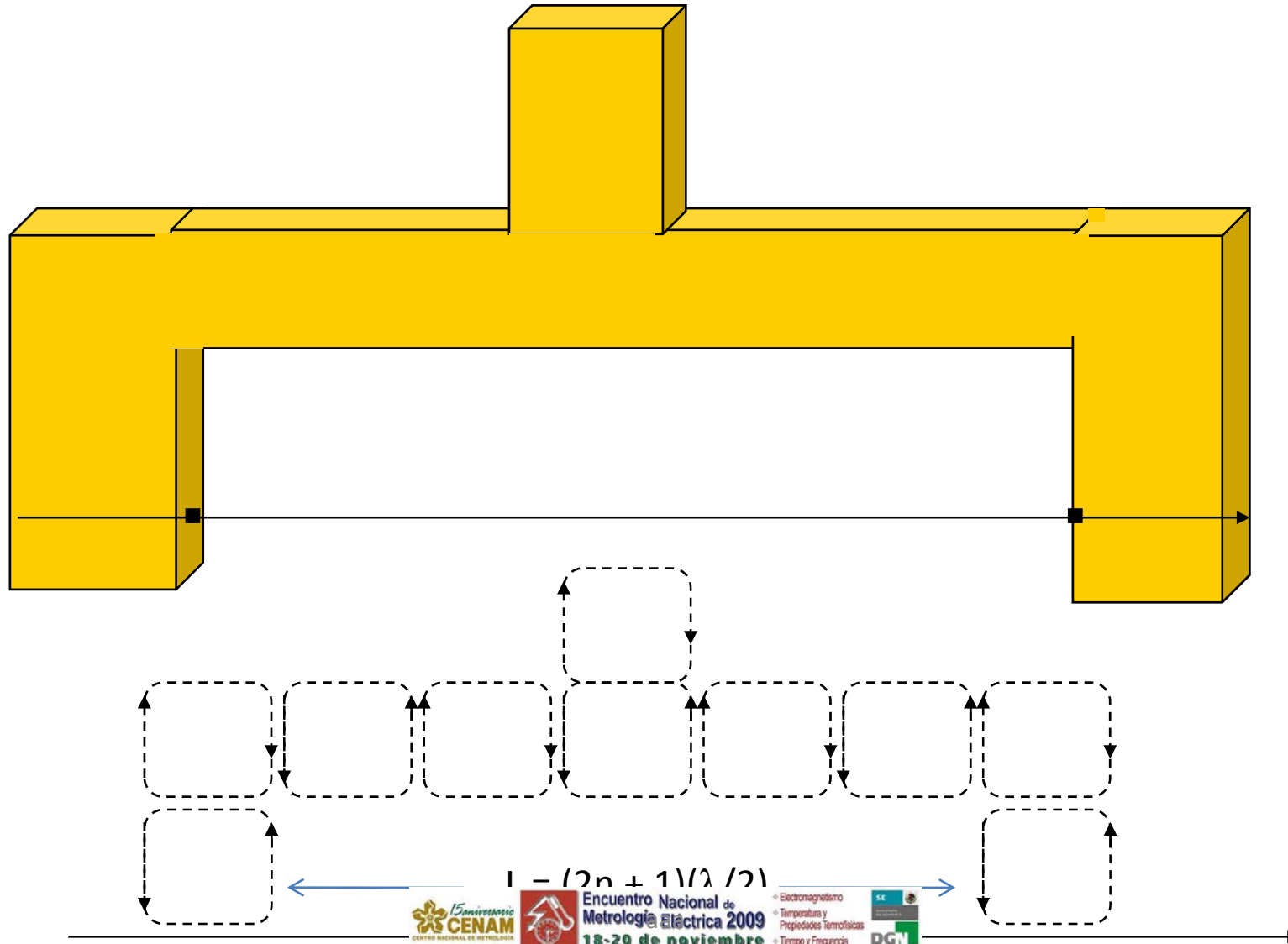


Cavidad de Ramsey

- La cavidad de Ramsey consiste en un bloque de cobre electrolítico el cual se ha maquinado en forma de herradura en su interior.
- Las dimensiones de la cavidad son tales que bajo una configuración tipo H, la cavidad esté en resonancia alrededor de 9,2 GHz.



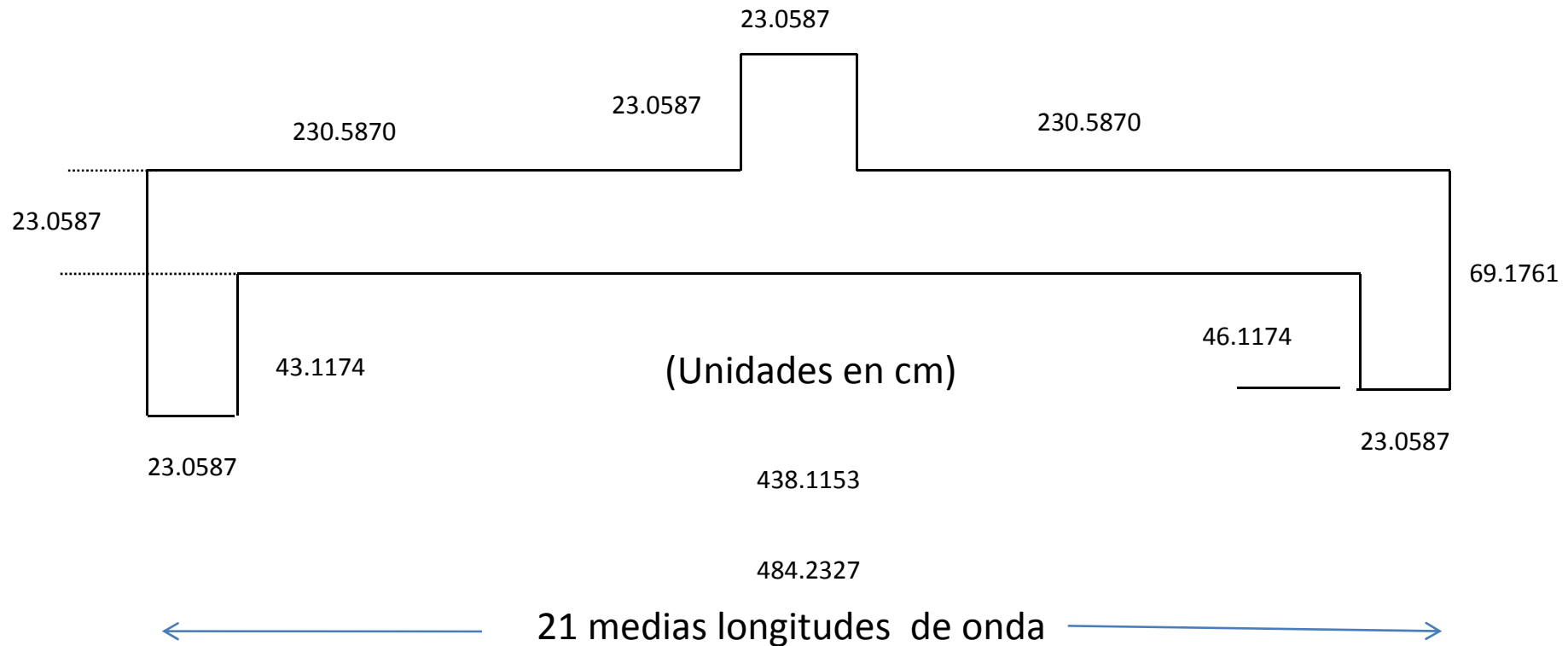
Cavidad tipo H



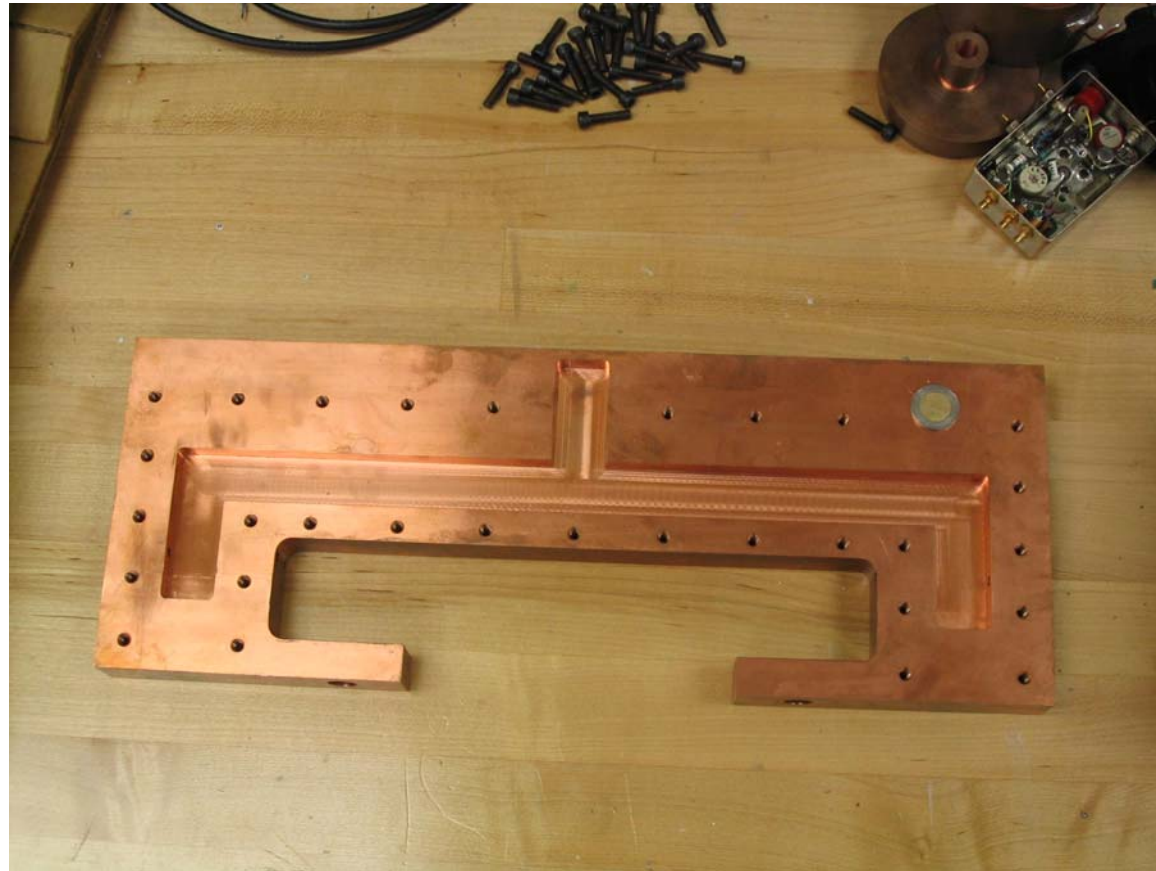
Diseño de la cavidad de Ramsey

$$\frac{1}{\lambda_g} = \frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_c}$$

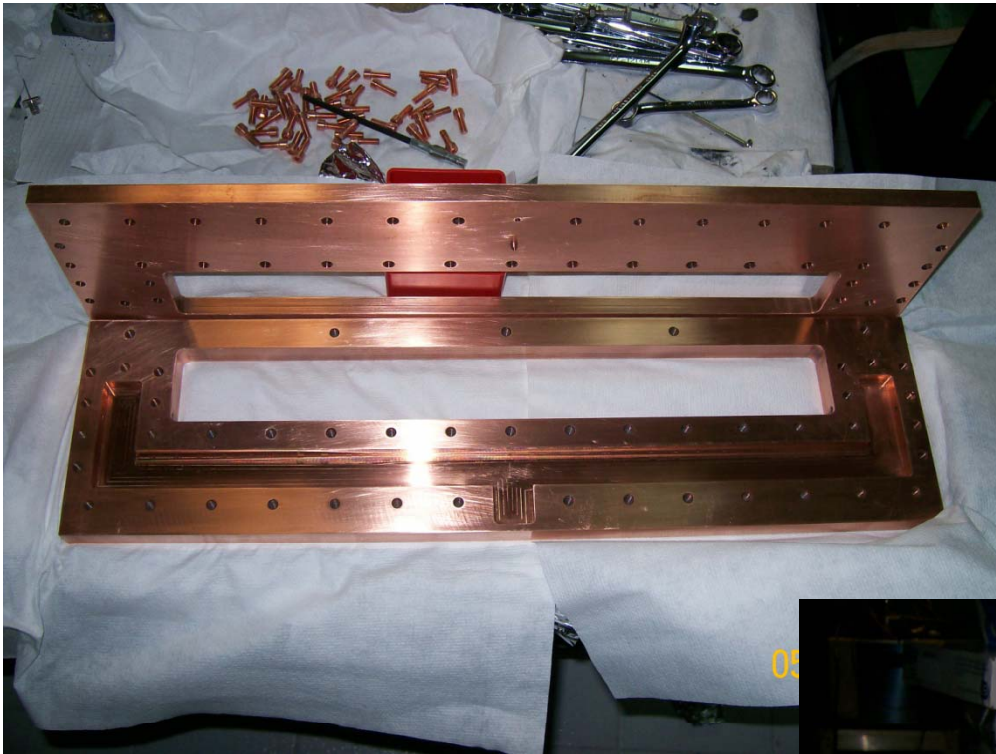
$$\lambda_c = 2a$$



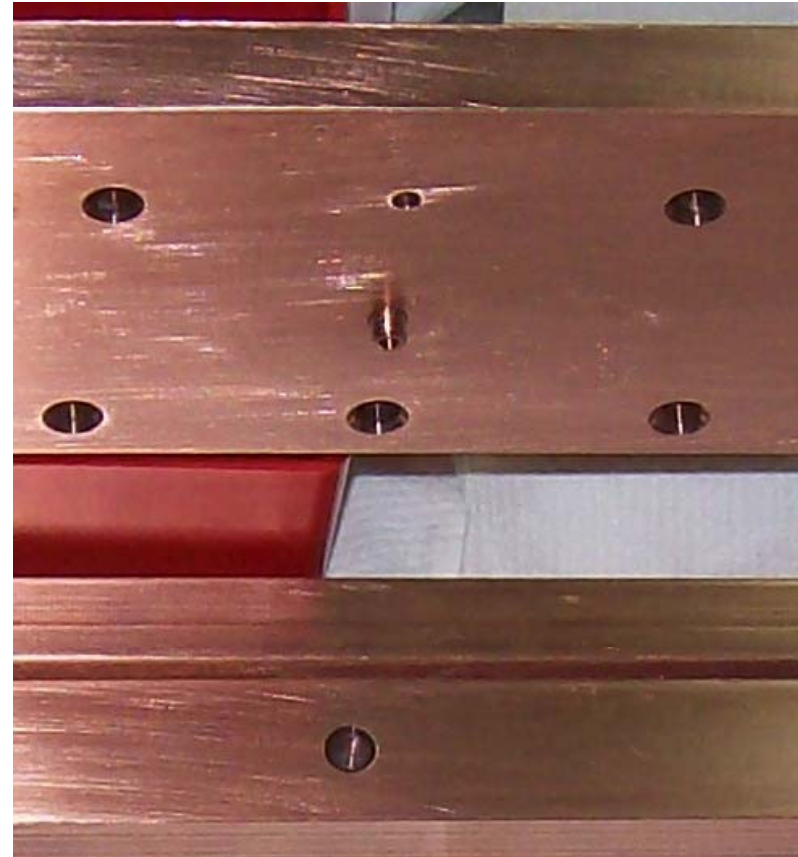
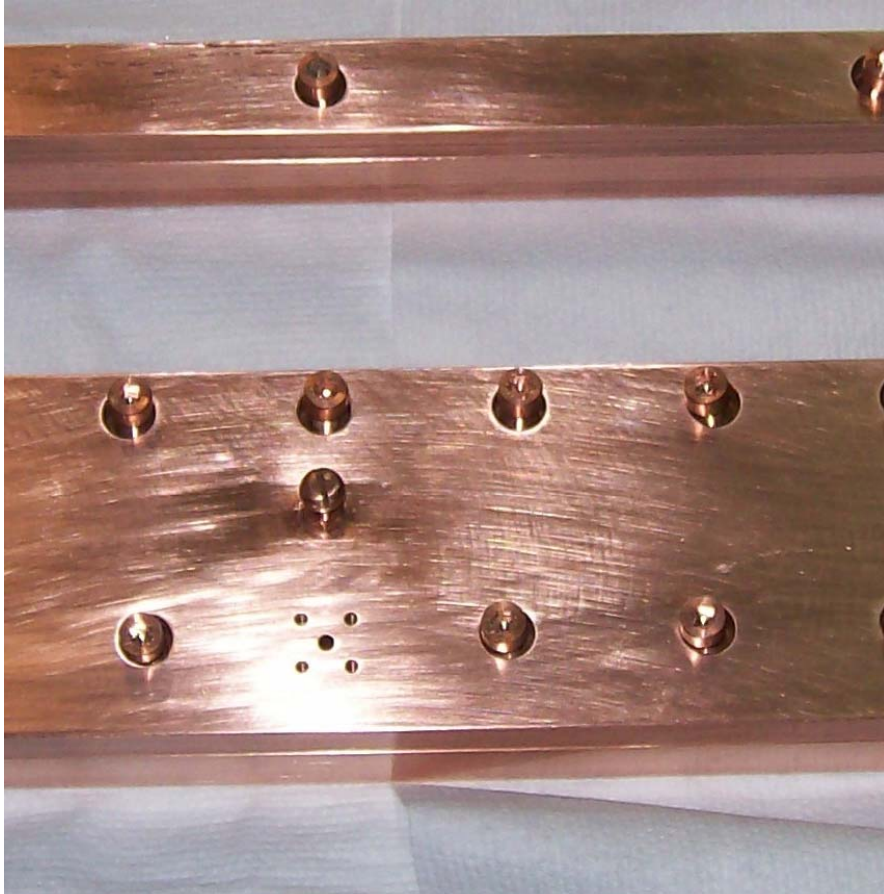
Primer diseño



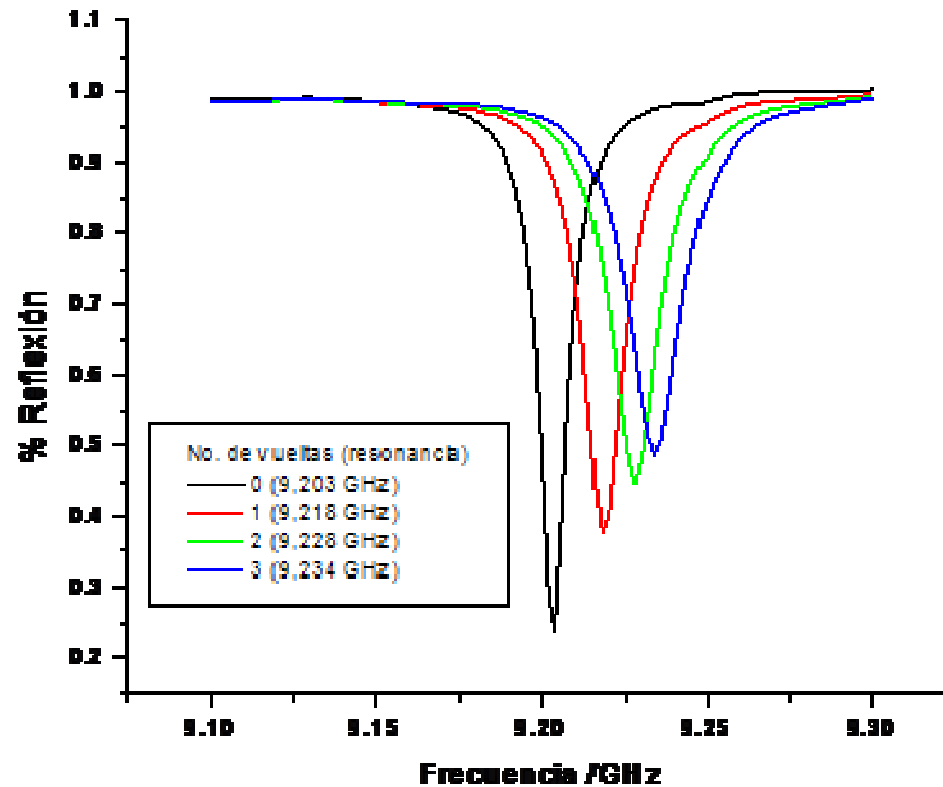
Diseño final



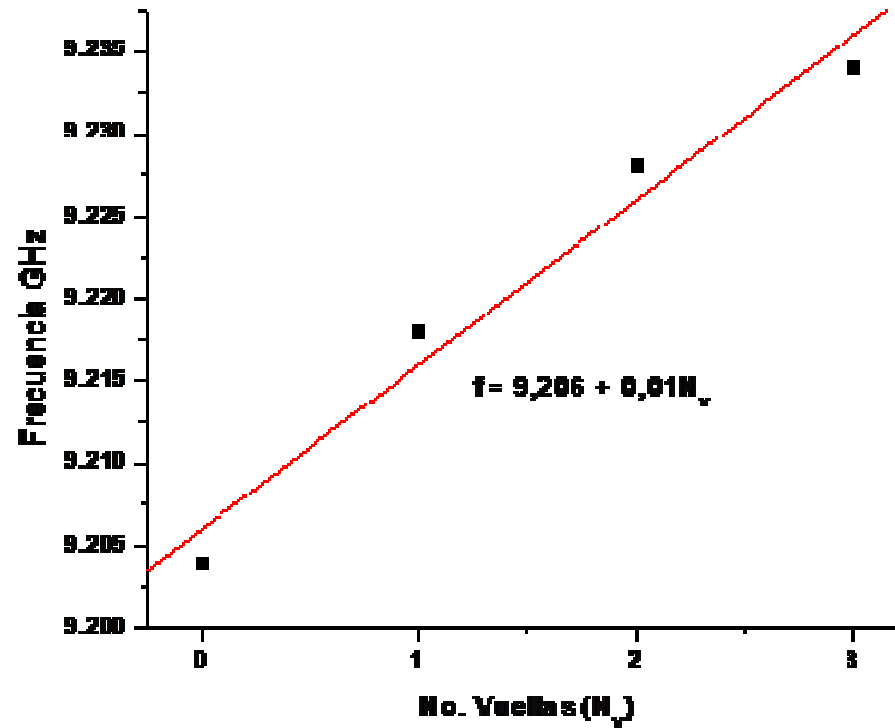
Tornillo de ajuste y alimentación



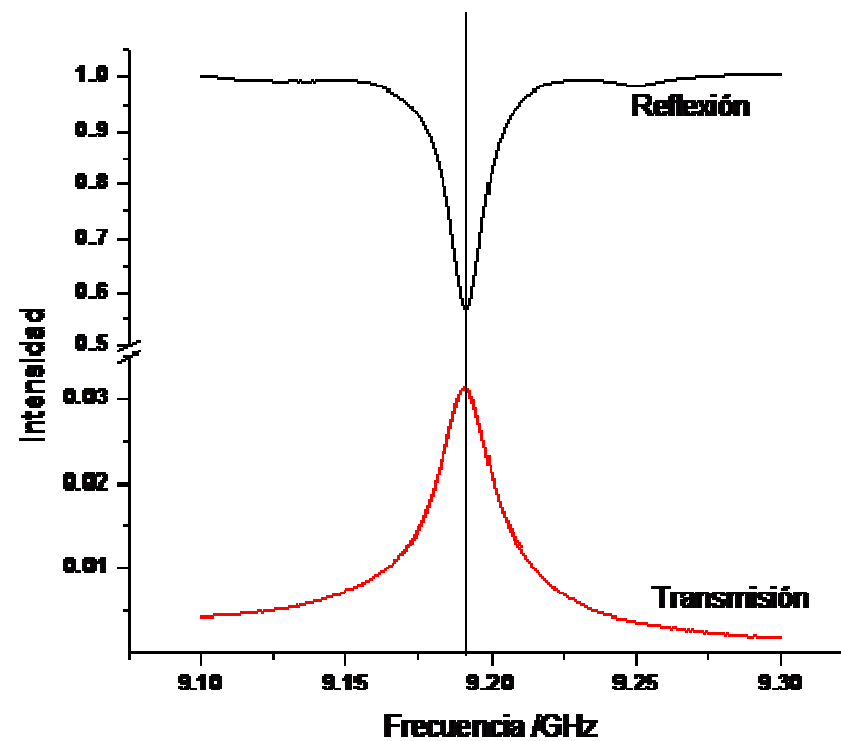
Sintonía de la cavidad



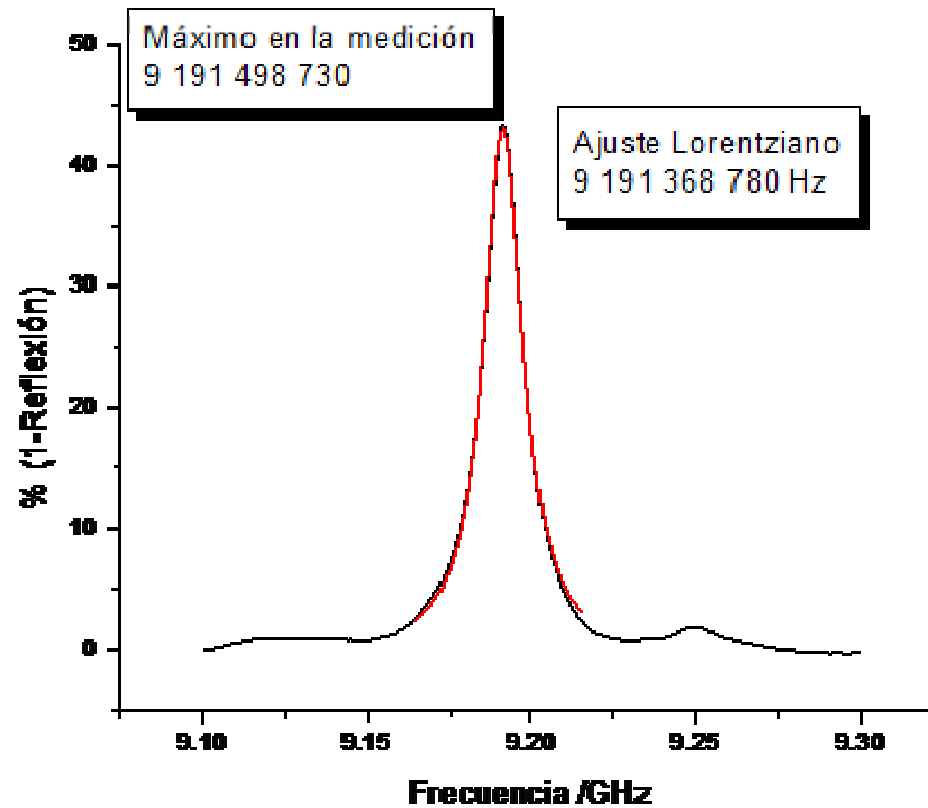
Relación No. de vueltas-resonancia



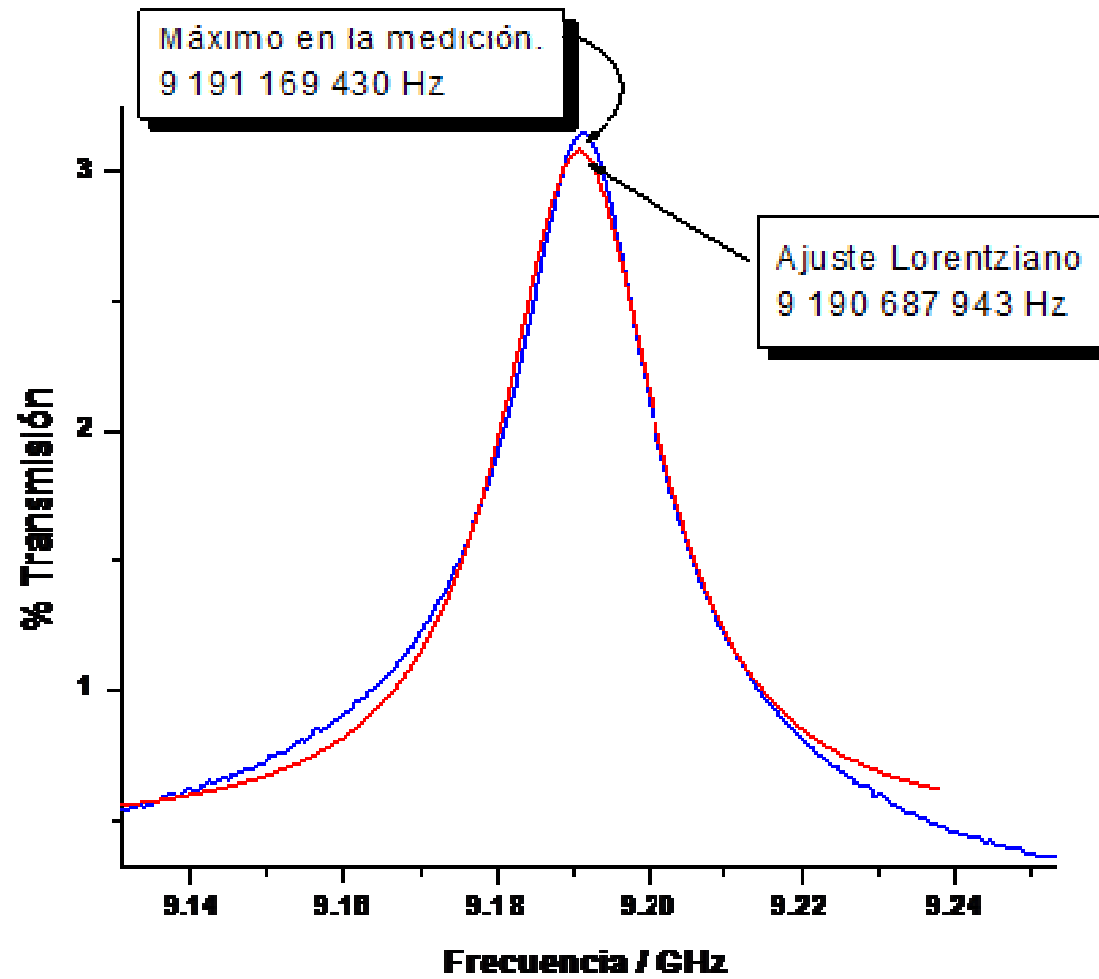
Transmisión y reflexión de la cavidad de Ramsey



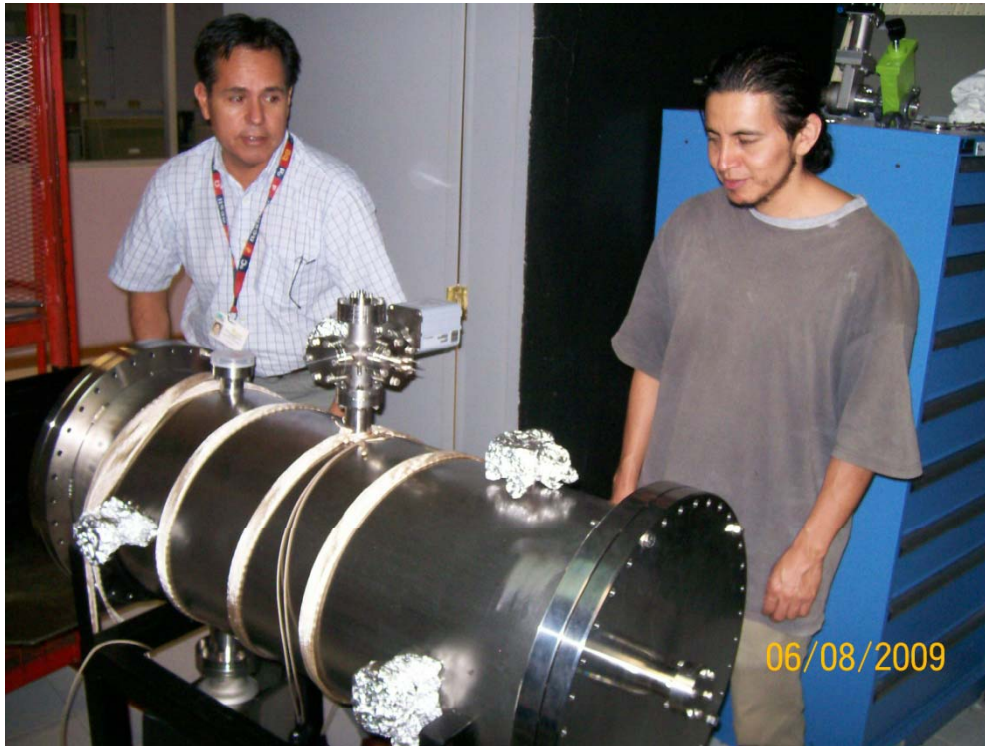
Transmisión



Reflexión



Cámara de vacío



Presión mínima alcanzada:

1,4 E-8 Torr =

Presión a 135°C en
Los hornos

1,8 E-8 Torr.

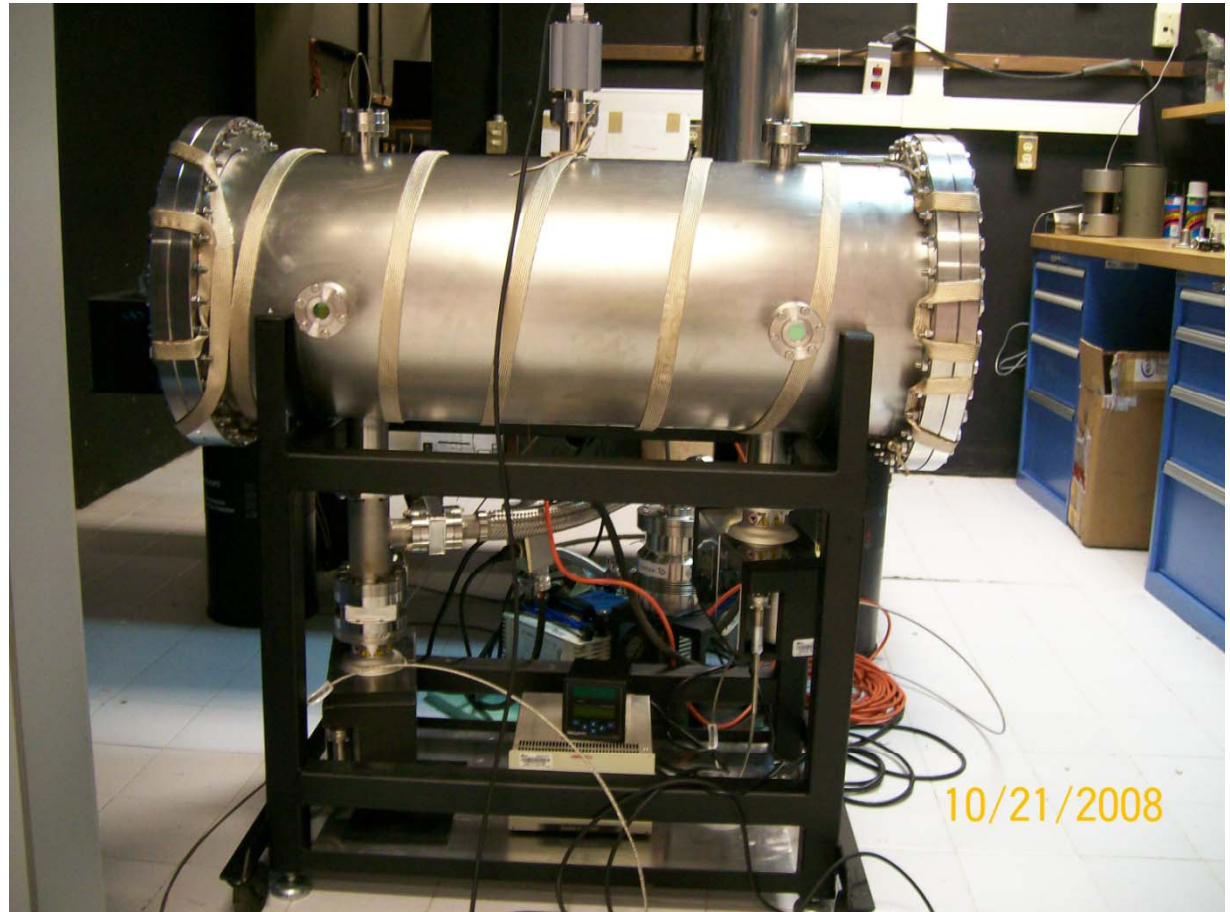
Camino Libre medio
De los átomos de cesio
A 100°C

C.L.M. 10 km

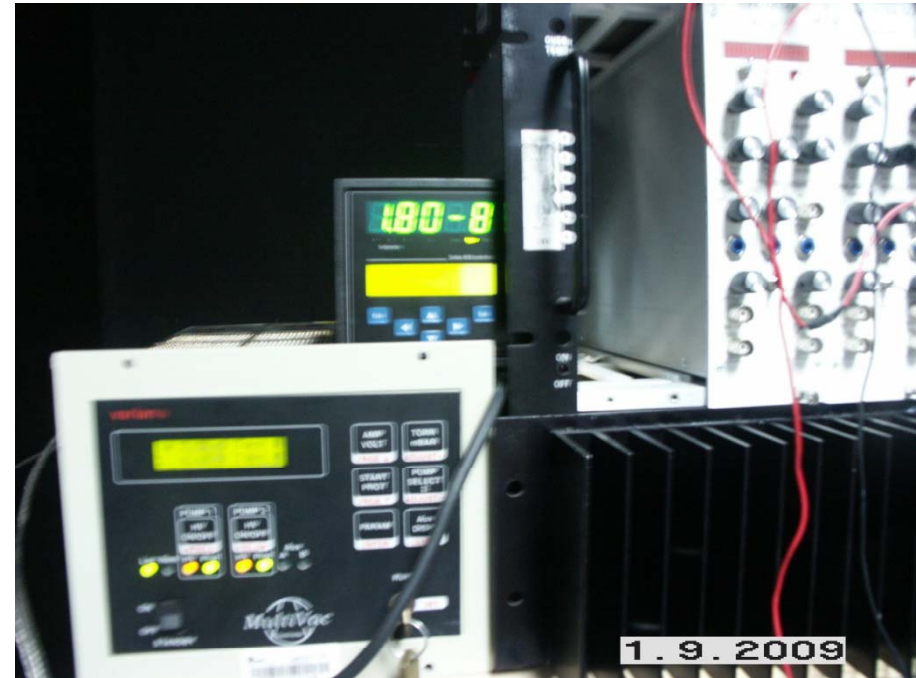
Bombas iónicas

Para alcanzar la presión base de $1,6 \text{ E-8 Torr}$, se usan un par de bombas iónicas.

Se ponen en operación una vez alcanzado un vacío “grosso” de $1,0 \text{ E-5 Torr}$, que se logra con una bomba turbo-molecular asistida por una bomba mecánica convencional.

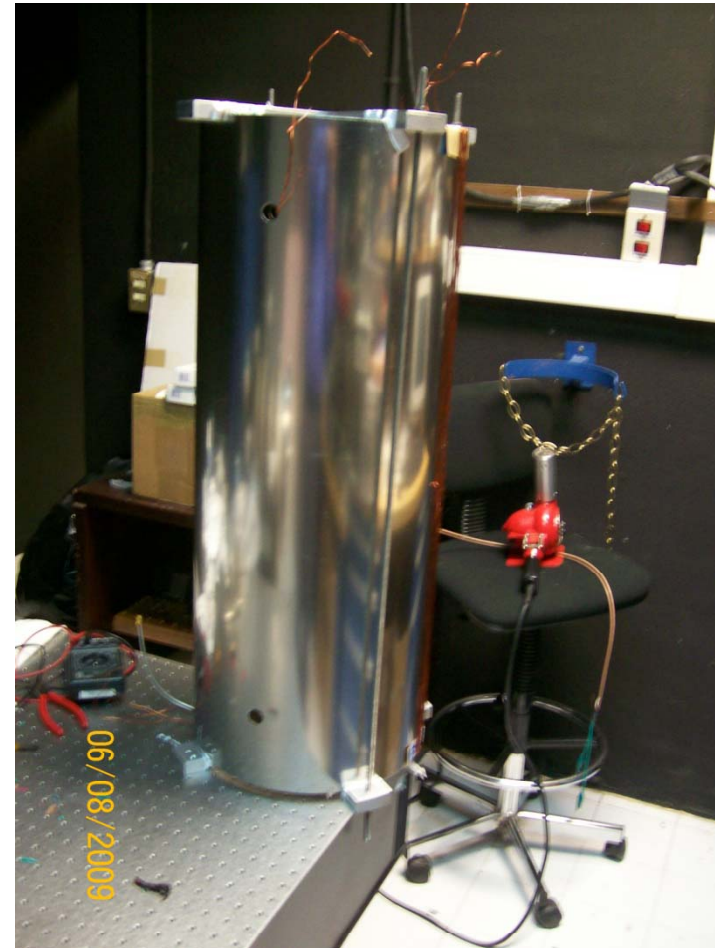


Vacío alcanzado

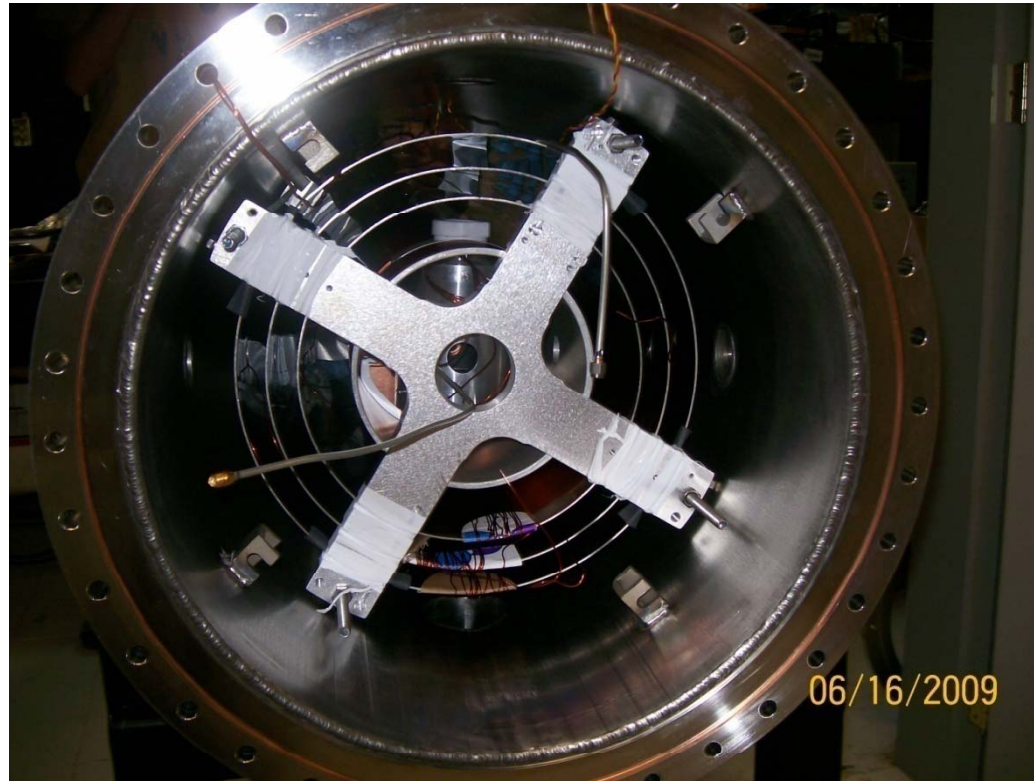


Blindajes magnéticos

El blindaje magnético está constituido por tres cilindros que se colocan concéntricos alrededor de la cavidad de Ramsey, fabricados con aleación de mu-metal.



Cilindros de blindaje



Demagnetización del blindaje



La demagnetización se logra al pasar una corriente alterna de 60 Hz, variando la tensión desde 5 hasta 25 Volts, durante 10 minutos.

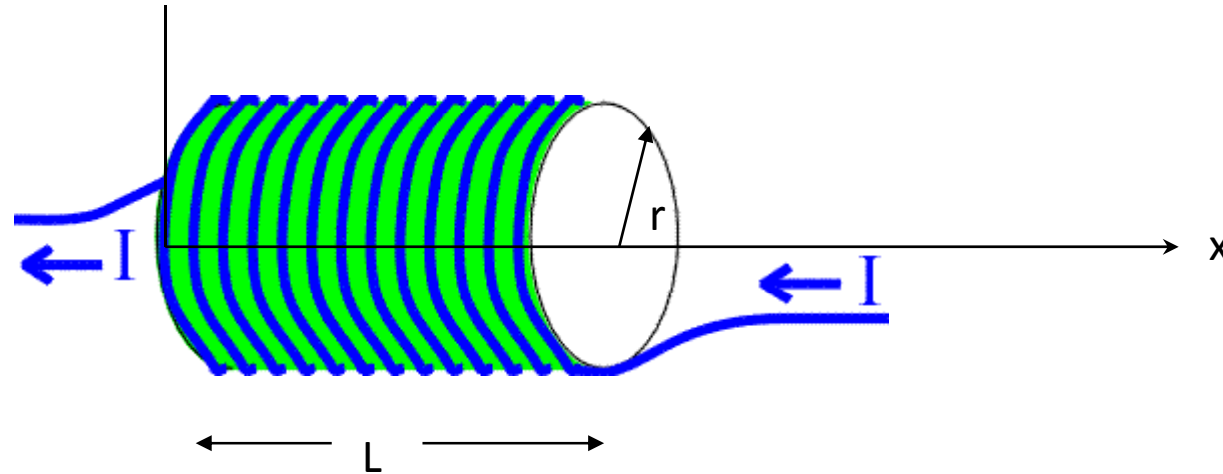
Bobina de campo C

La bobina de campo C
Consiste en un devanado
Sobre un cilindro de aluminio de
0,78 m de longitud dividido en
tres regiones, de tal manera que
se permita el paso de la luz en
las regiones de detección y
bombeo.

A su vez esto permite que en los
extremos del cilindro
se coloquen bobinas
compensadoras para lograr un
campo magnético lo mas
uniforme posible.



Campo de un solenoide



Campo magnético a lo largo del eje de un solenoide

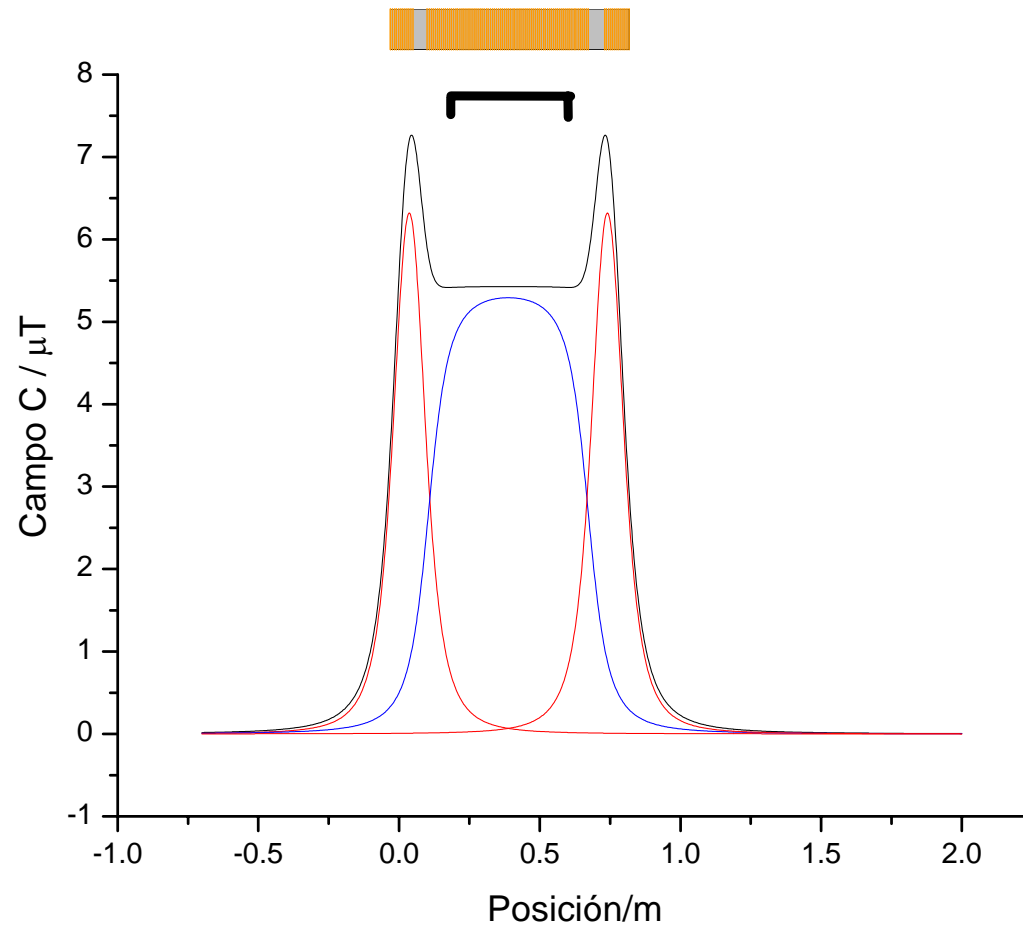
$$B = \frac{\mu_0 IN}{2L} \left[\frac{L-x}{\sqrt{(L-x)^2 + r^2}} - \frac{x}{\sqrt{x^2 + r^2}} \right]$$

$$\begin{aligned} L &= 0,60 \text{ m} \\ I &= 7E-3 \text{ A} \\ r &= 0,0752 \text{ m} \end{aligned}$$

En el centro de la bobina

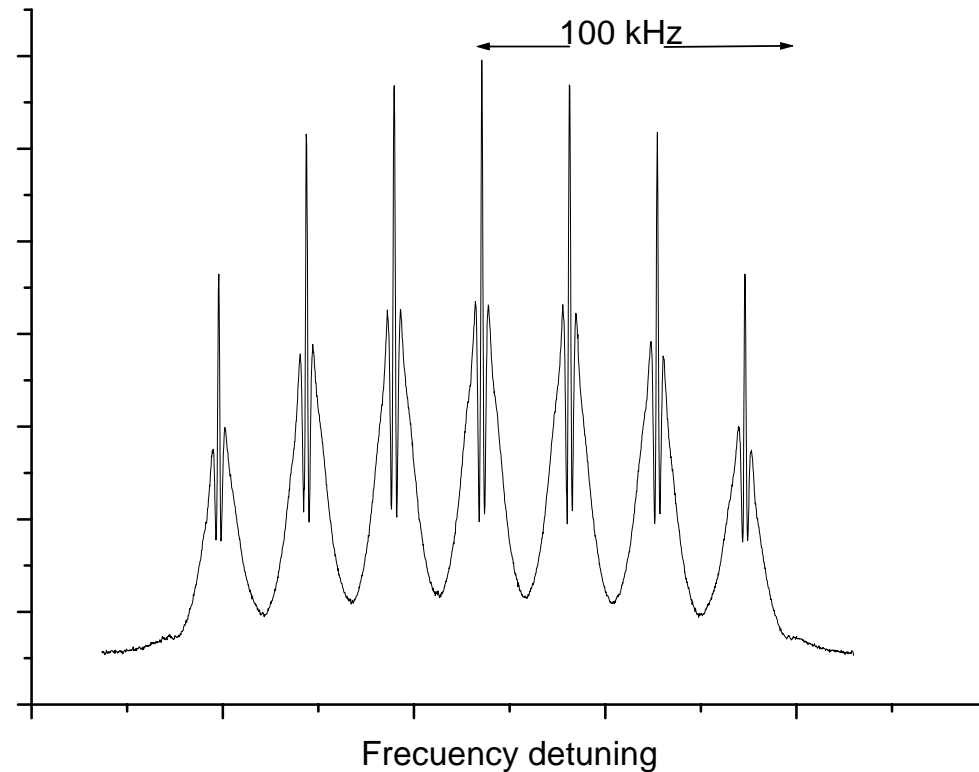
$$B = 7.6 E-6 \text{ T}$$

Bobina principal y compensadoras



Desdoblamiento Zeeman

Para lograr un desdoblamiento Zeeman adecuado se requiere
Tener una densidad de campo magnético a lo largo
Del eje axial del cilindro
De alrededor de $7\mu\text{T}$.



Efecto Zeeman

- De la ecuación de Breit Rabi podemos aproximar para campos pequeños y

$$m_F = 0$$

$$\delta E = E_{HFS} + \frac{1}{2E_{HFS}} [(g_J + g_I)\mu_B]^2 B_o^2$$

$$\nu = \nu_{HFS} + K_o B_o^2$$

$$K_o = \frac{1}{2\nu_{HFS}} \left(\frac{(g_j + g_I)\mu_B}{h} \right)^2$$

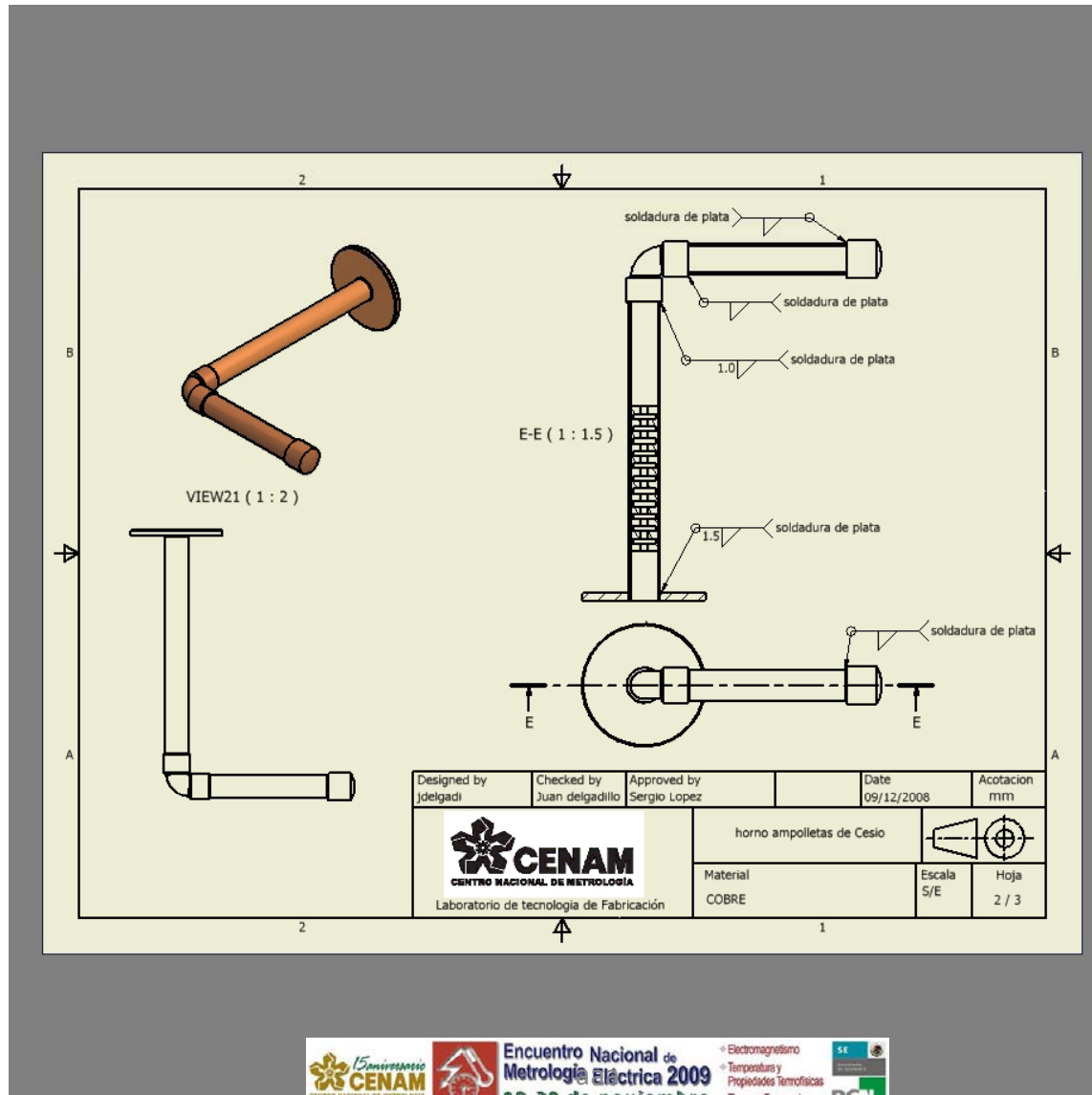
Para el Cs-133

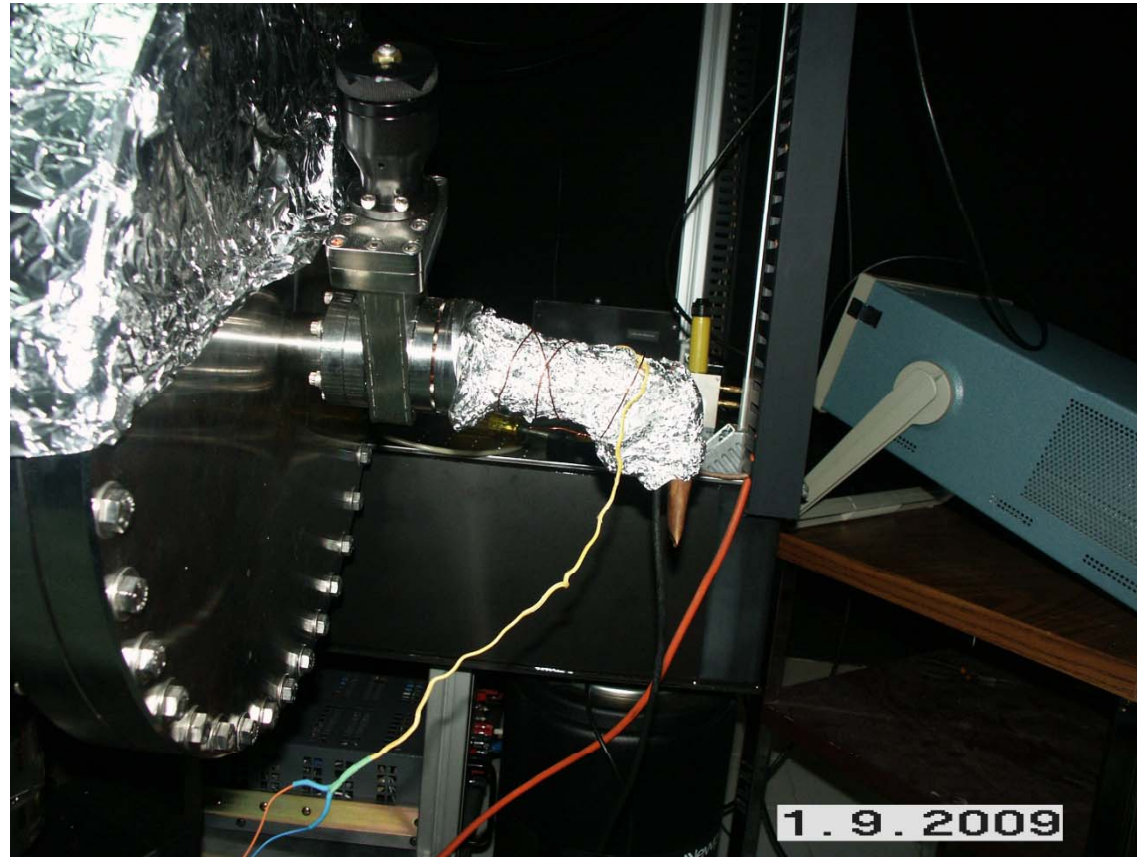
$$K_o = 4.2745E10 \text{ Hz } T^2$$

$$\nu_{HFS} - \nu = 2.4689 \text{ Hz}$$

aaa

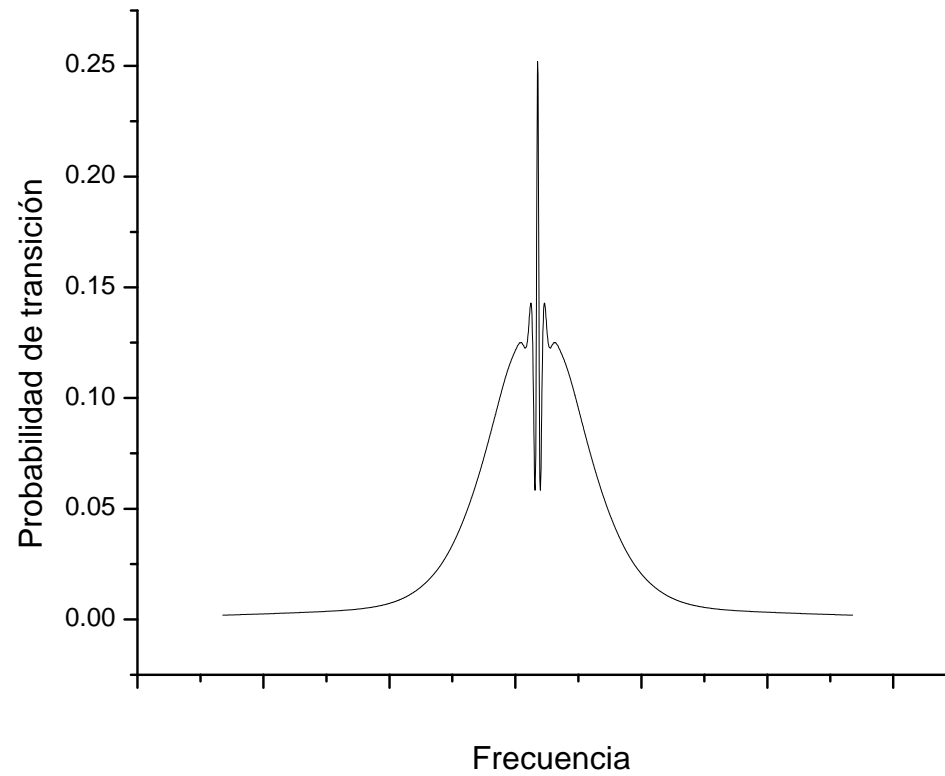
Hornos de cesio



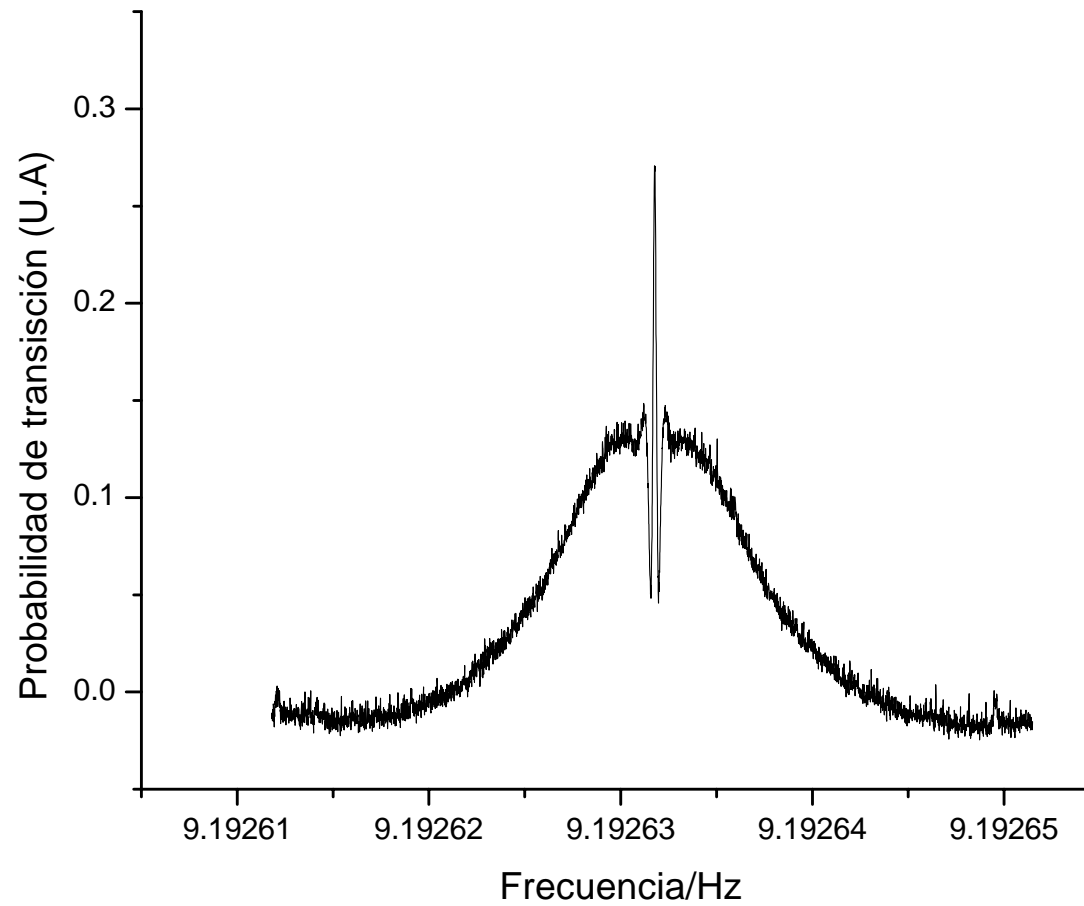


Resultados experimentales

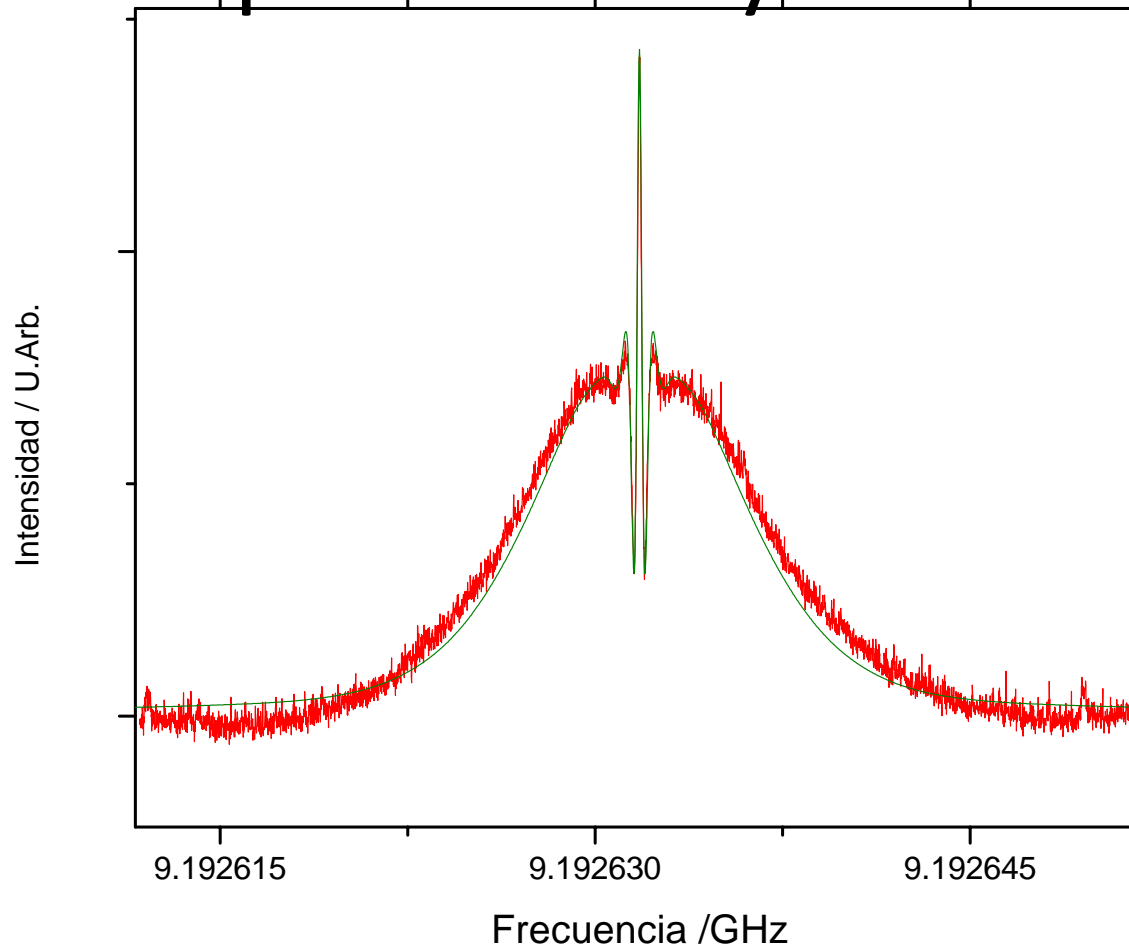
Curva teórica



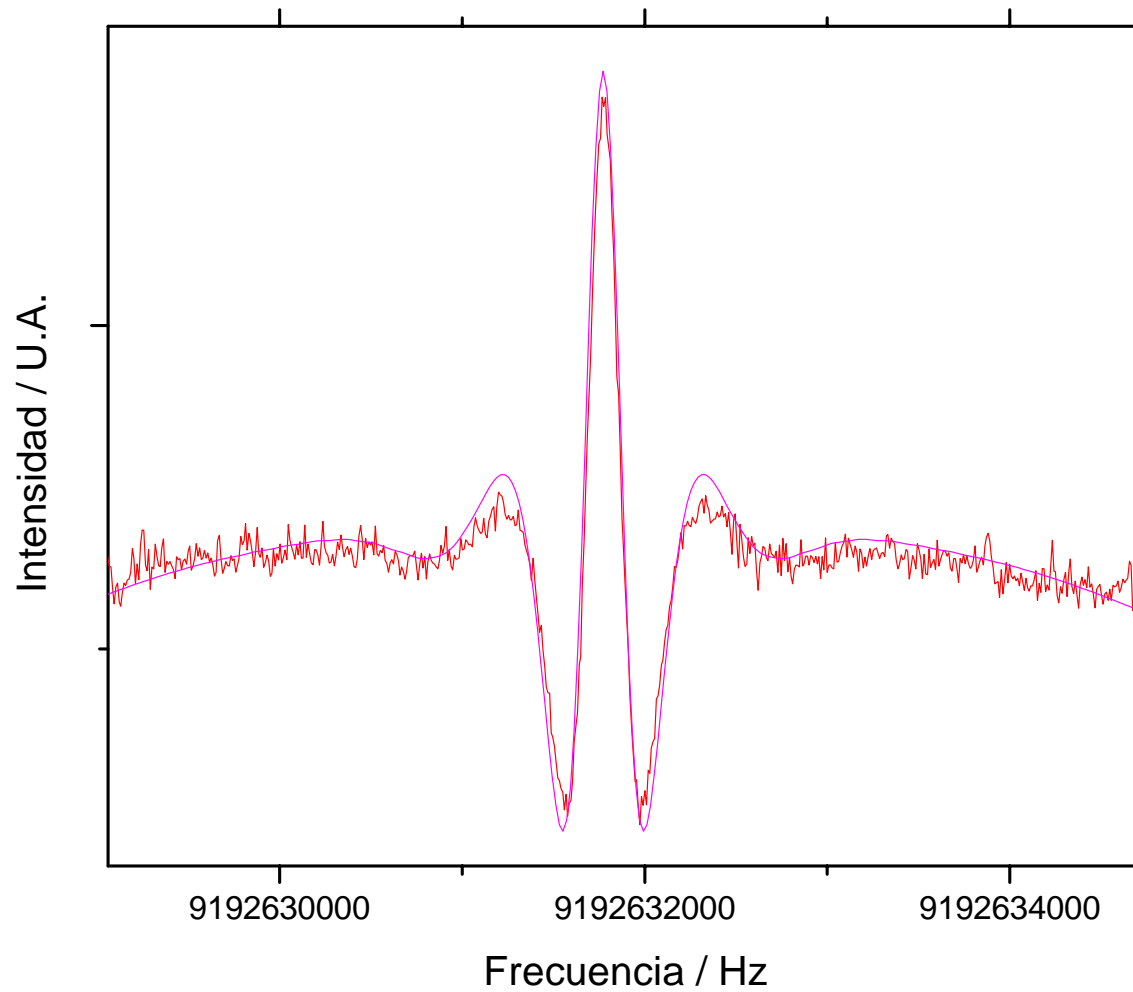
Curva experimental

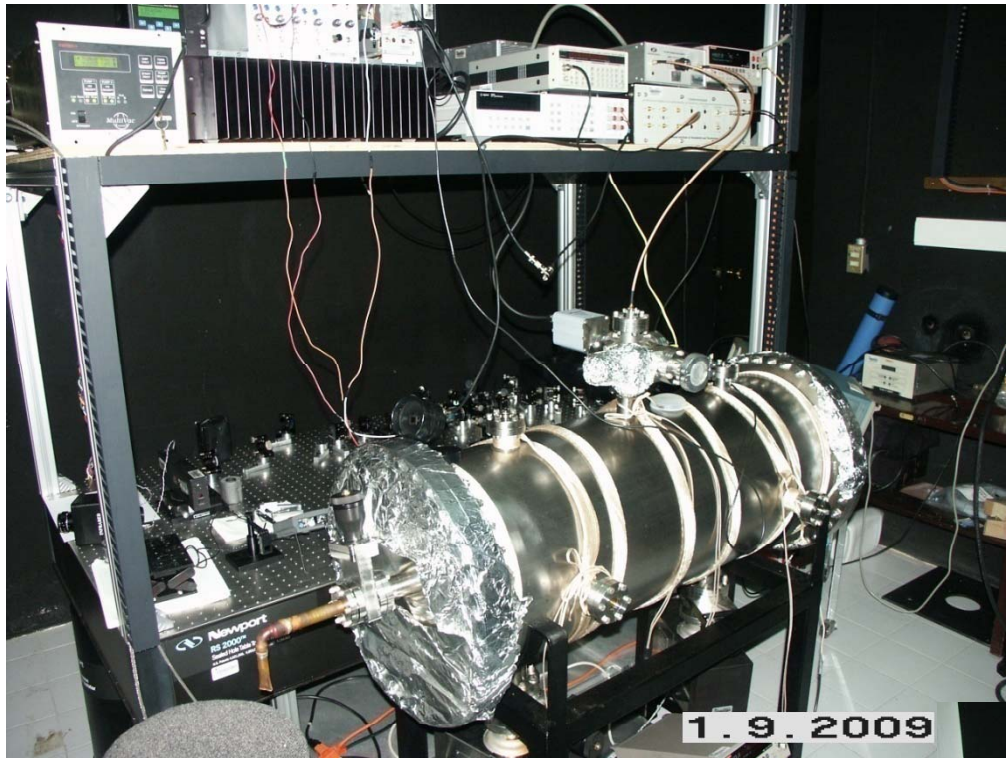


Comparación, pedestal de Rabi. Experimental y teórico

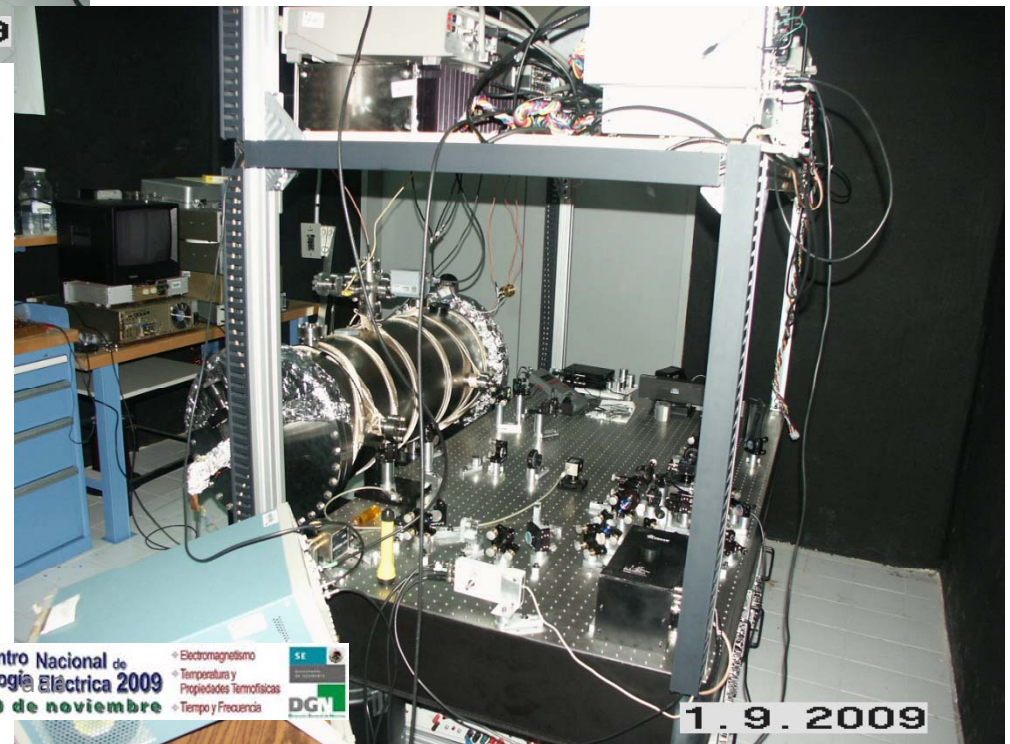


Línea central de Ramsey





Laboratorio de desarrollo de patrones primarios de frecuencia.
Reloj atómico de haz térmico con bombeo óptico



Conclusiones

- Se ha diseñado y construido exitosamente un reloj atómico de haz térmico, con bombeo óptico en la División de Tiempo y Frecuencia del CENAM, denominado CsOP-2.
- Se han registrado las siete líneas Zeeman, el pedestal de Rabi y la línea de Ramsey del CsOP-2.
- Se está trabajando en el sentido de mejorar el cociente señal a ruido.

AGRADECIMIENTOS

- A las autoridades del CENAM por la confianza y el apoyo del reloj atómico CsOP-2
- A toda el área eléctrica por el valioso apoyo en diferentes áreas para caracterizar algunos elementos del CsOP-2
- De manera especial a todos los miembros del laboratorio de fabricación (taller). Sin su participación este proyecto no habría llegado a su fin.
- A todos los miembros de la división de Tiempo y Frecuencia.