

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

DIVISIÓN DE TIEMPO Y FRECUENCIA

# Resumen

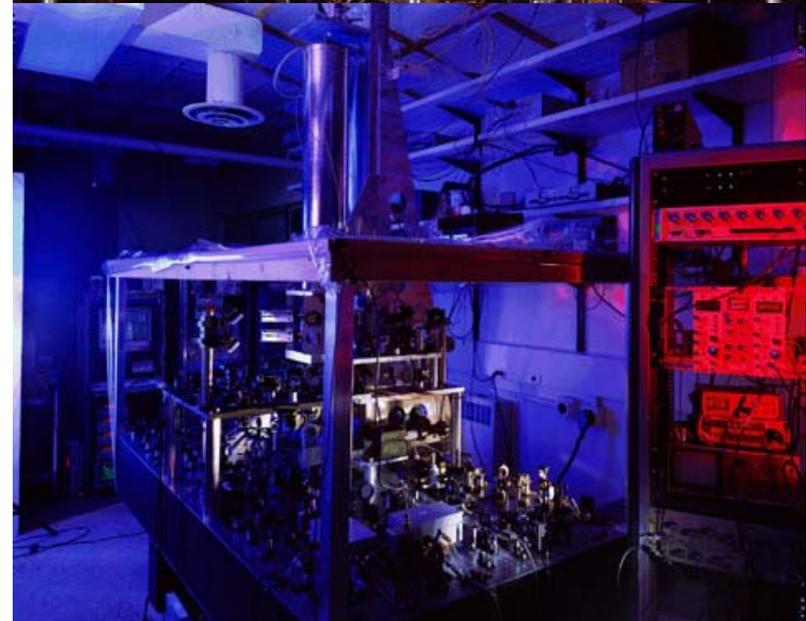
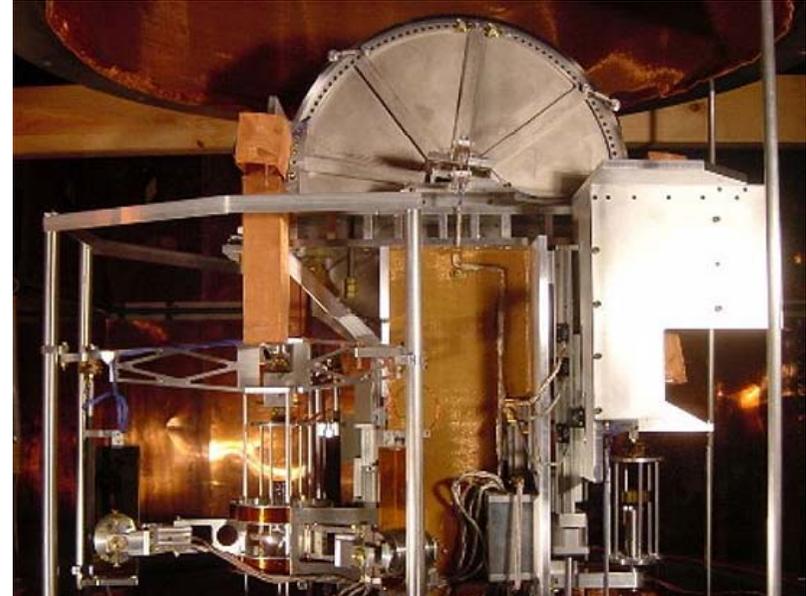
Con el objetivo de realizar la unidad de tiempo del Sistema Internacional de Unidades, con una exactitud de partes en  $10E14$ , se ha diseñado y construido en la división de Tiempo y frecuencia del CENAM un nuevo patrón atómico de haz térmico de cesio. Actualmente este nuevo patrón se encuentra en etapa 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

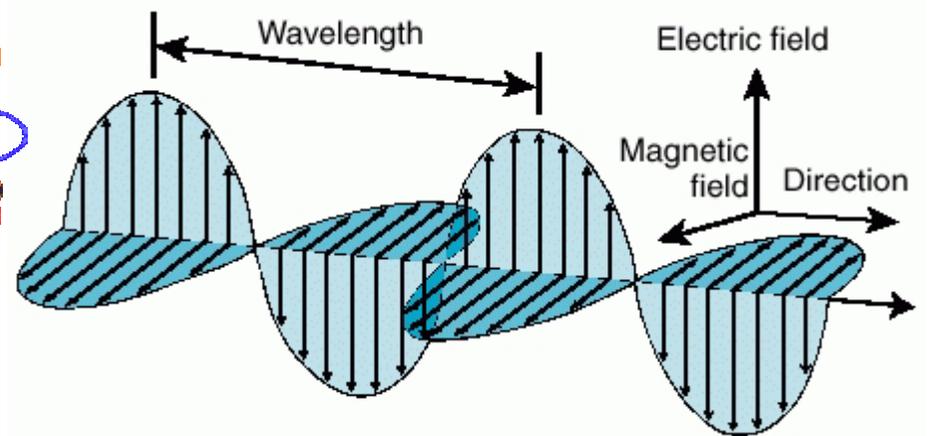
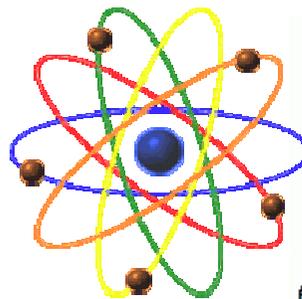
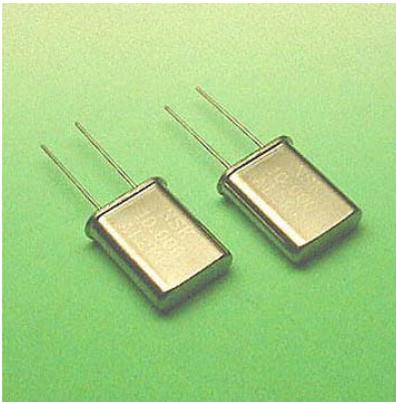
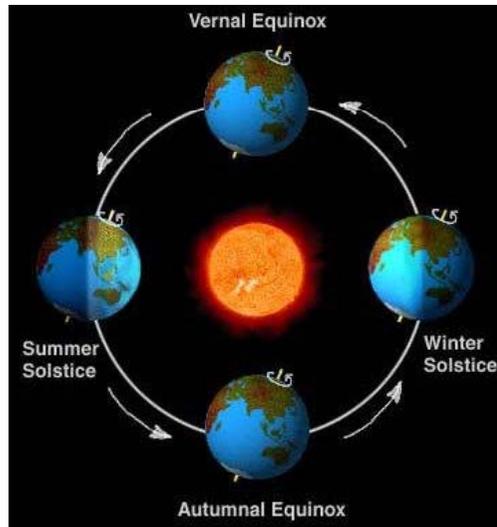
Contador



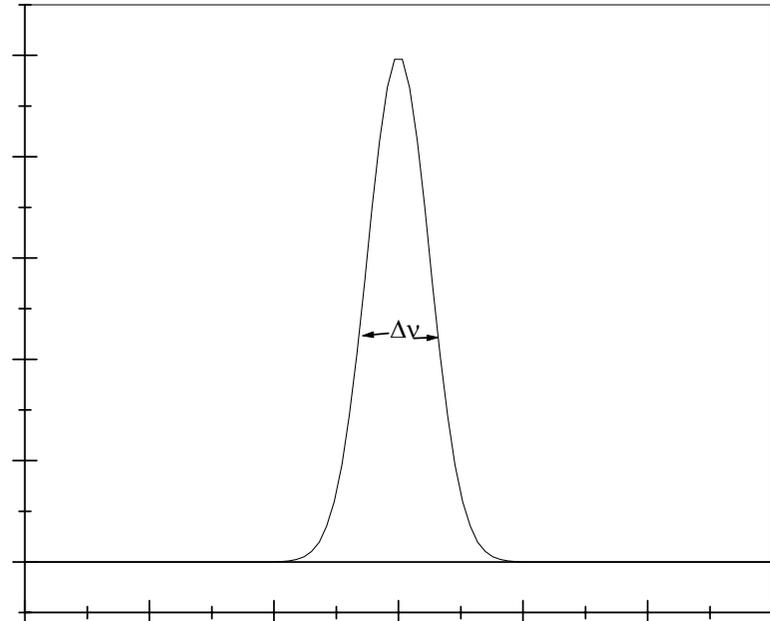
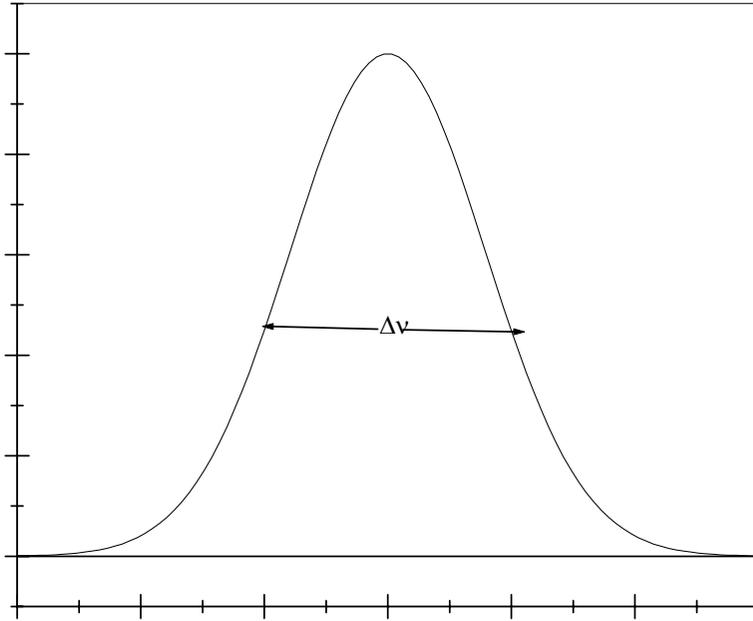
Oscilador



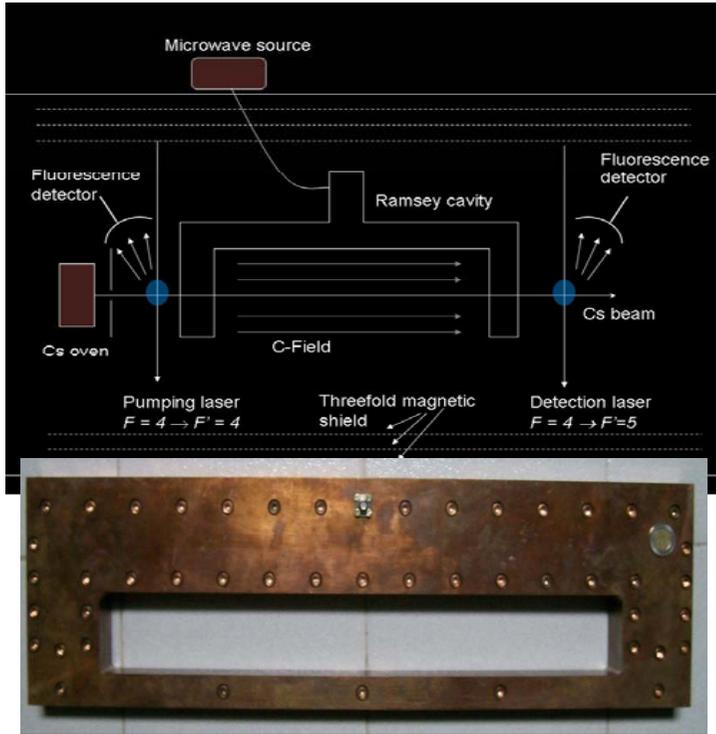
# Distintos tipos de osciladores



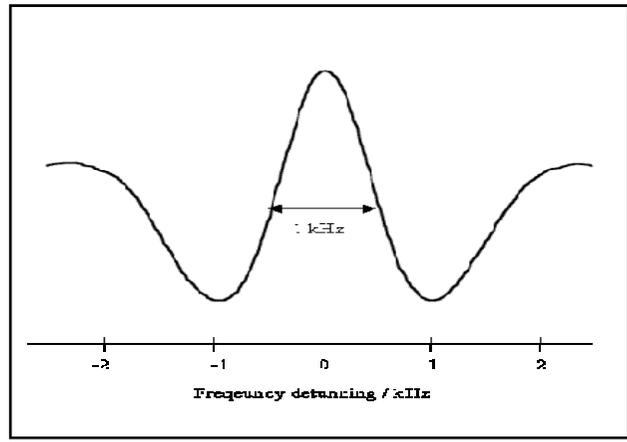
$$\Delta\omega\Delta T \geq 1/2$$



# Cavidad de Ramsey para patrones primarios de haz térmico



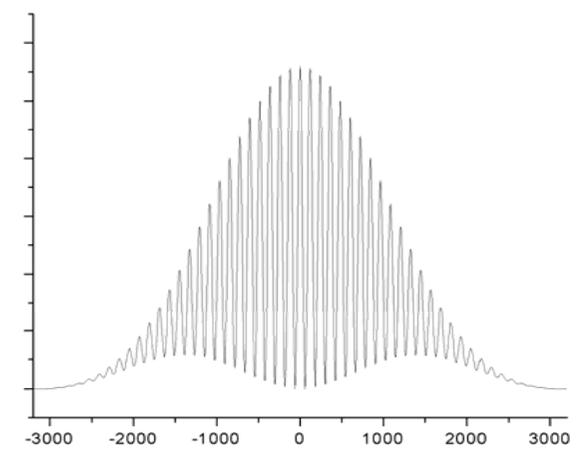
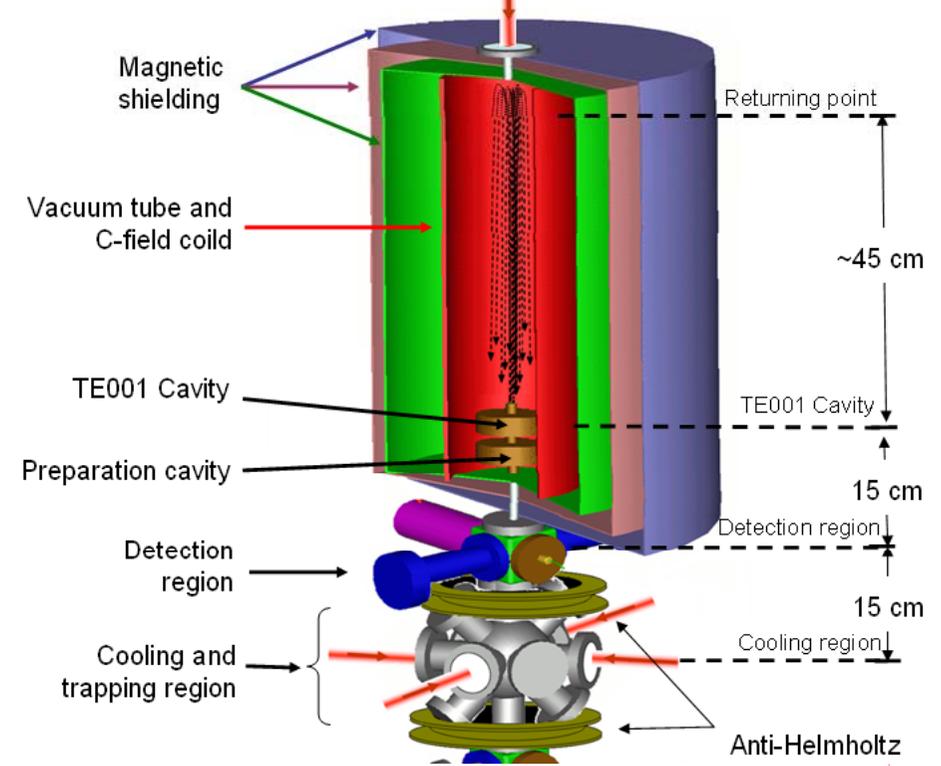
0,50m



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

aaa

## Fuente de átomos

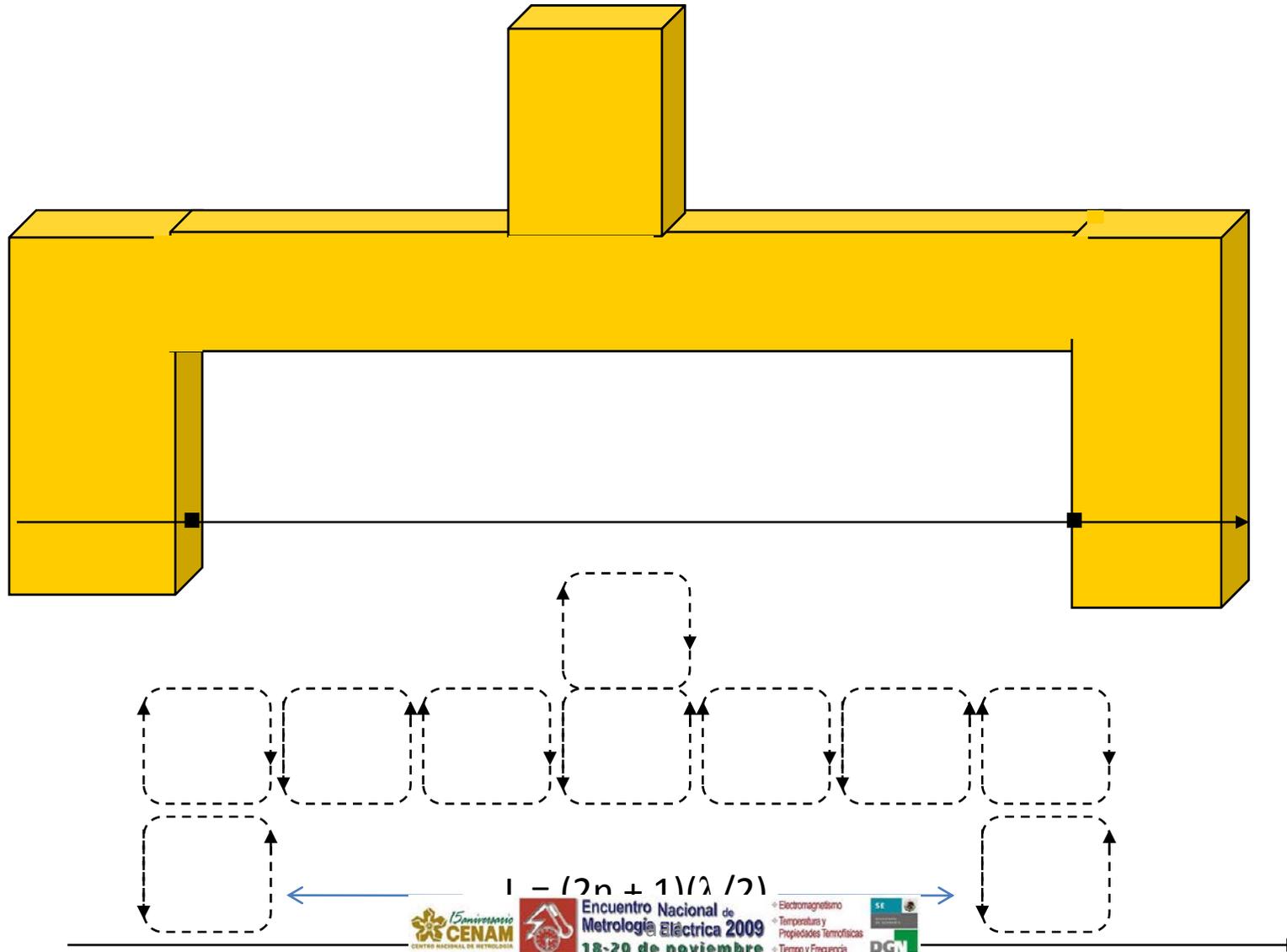


# Cavidad de Ramsey

- 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.



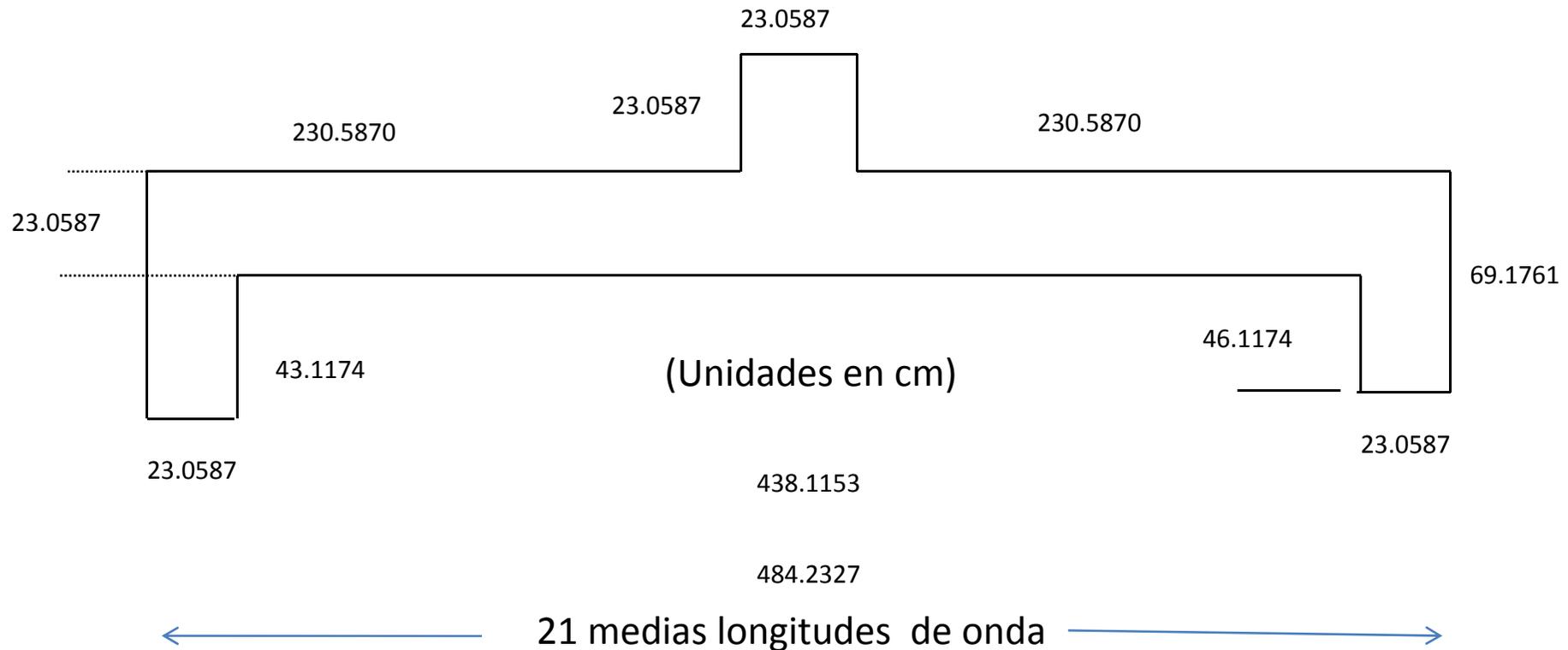
# Cavidad tipo H



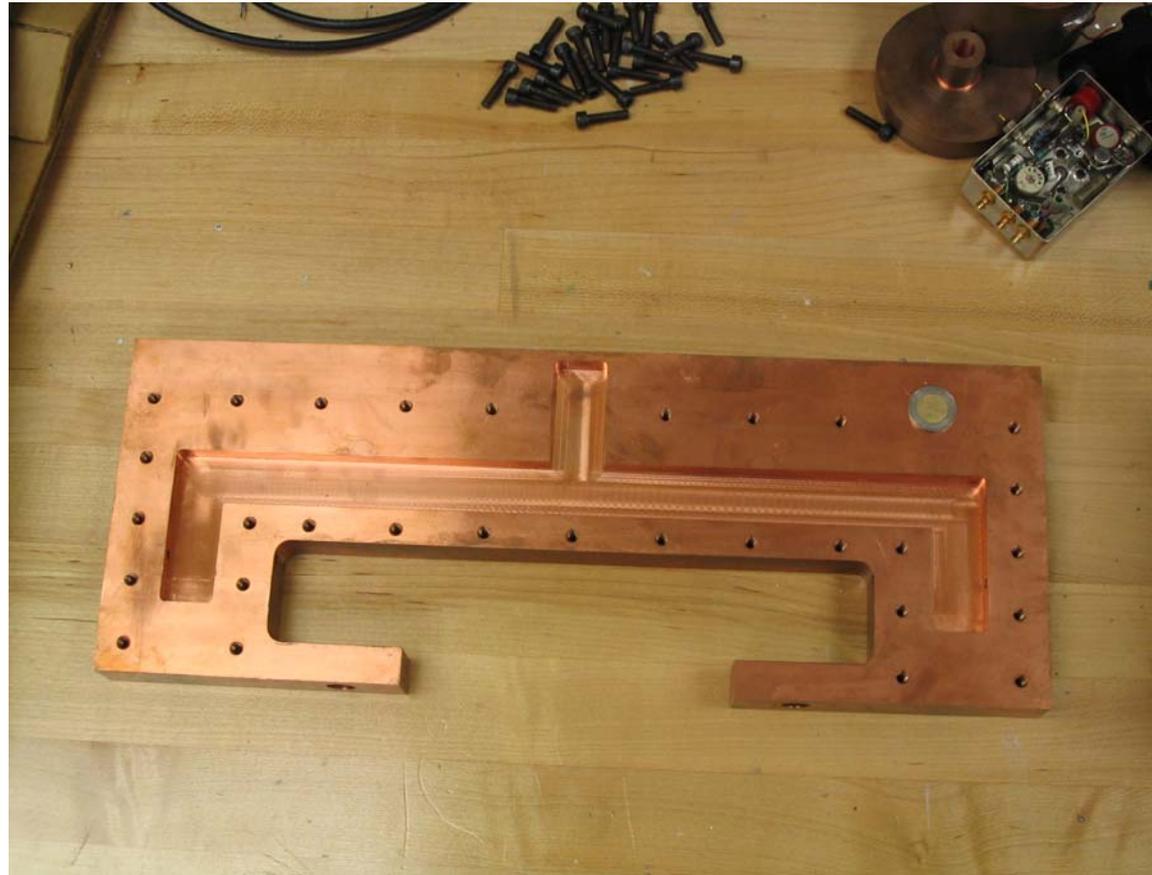
# Diseño de la cavidad de Ramsey

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

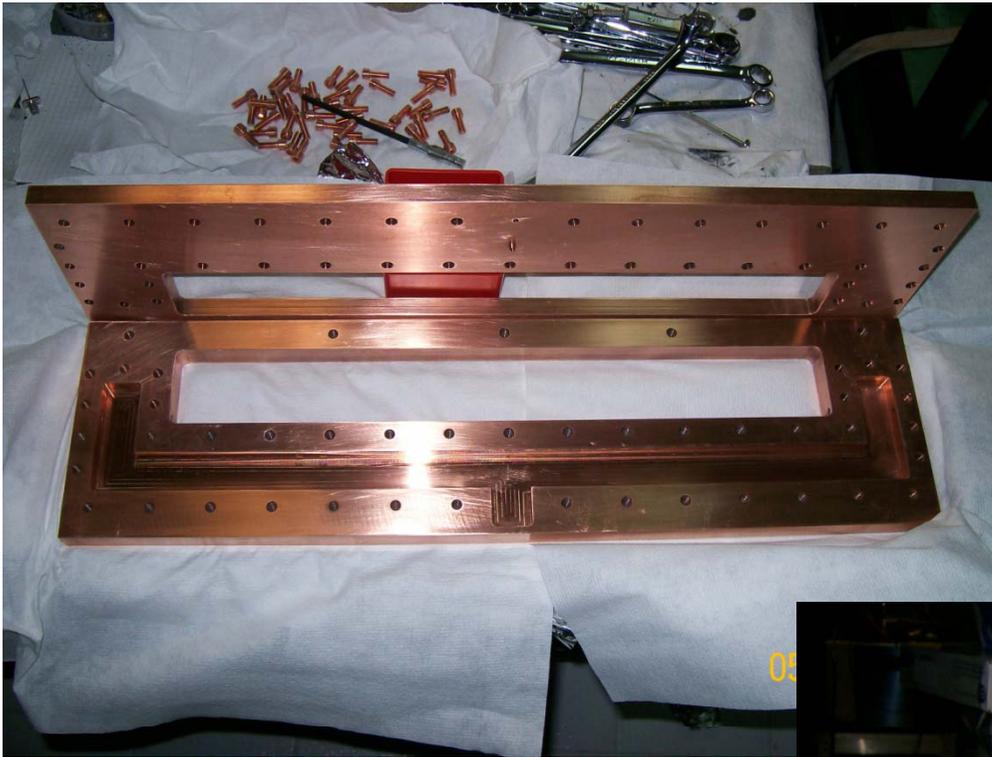
$$\lambda_c = 2a$$



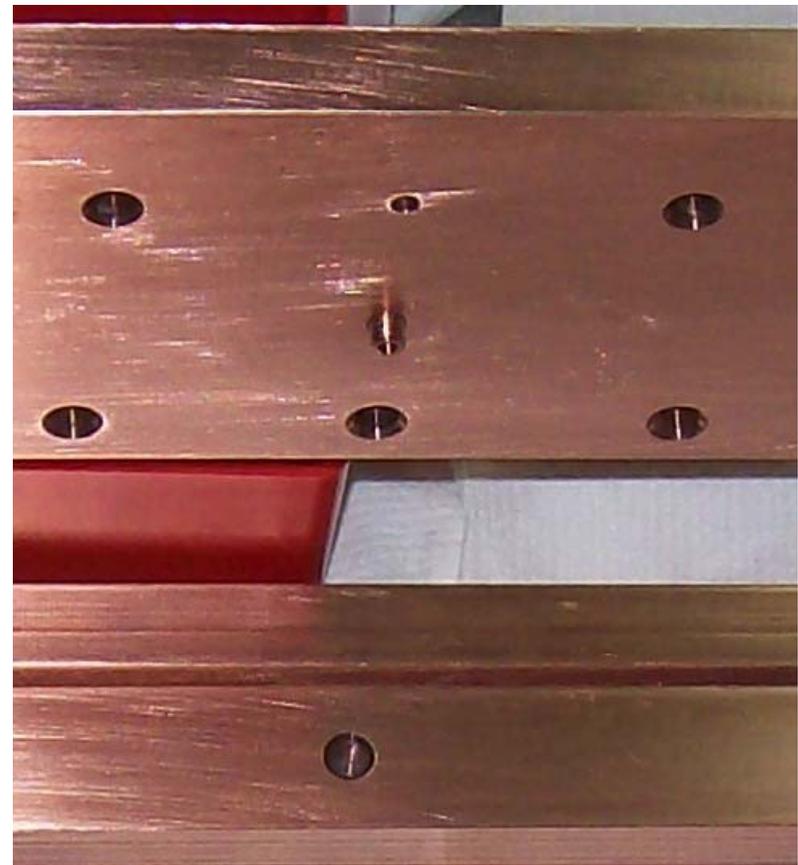
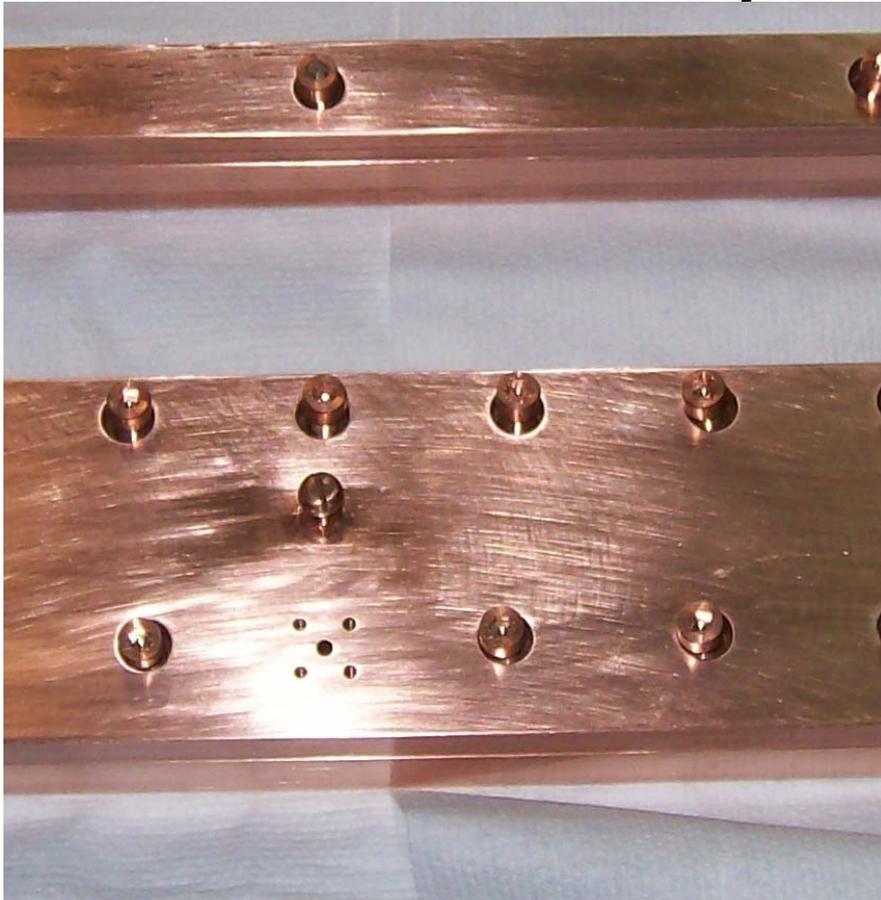
# Primer diseño



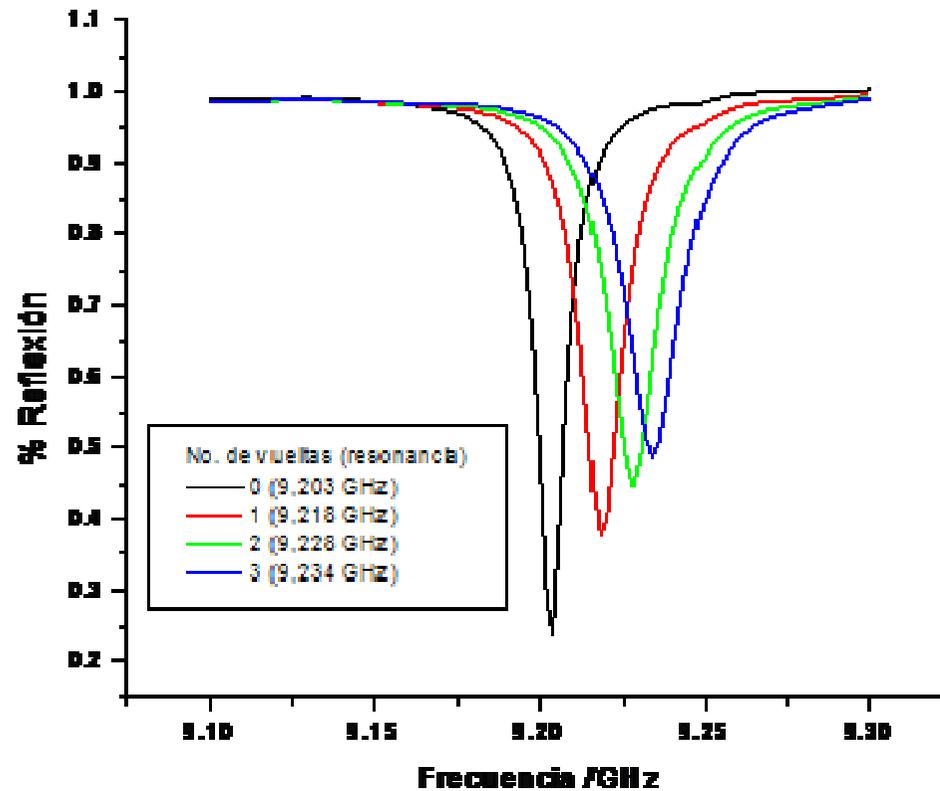
# Diseño final



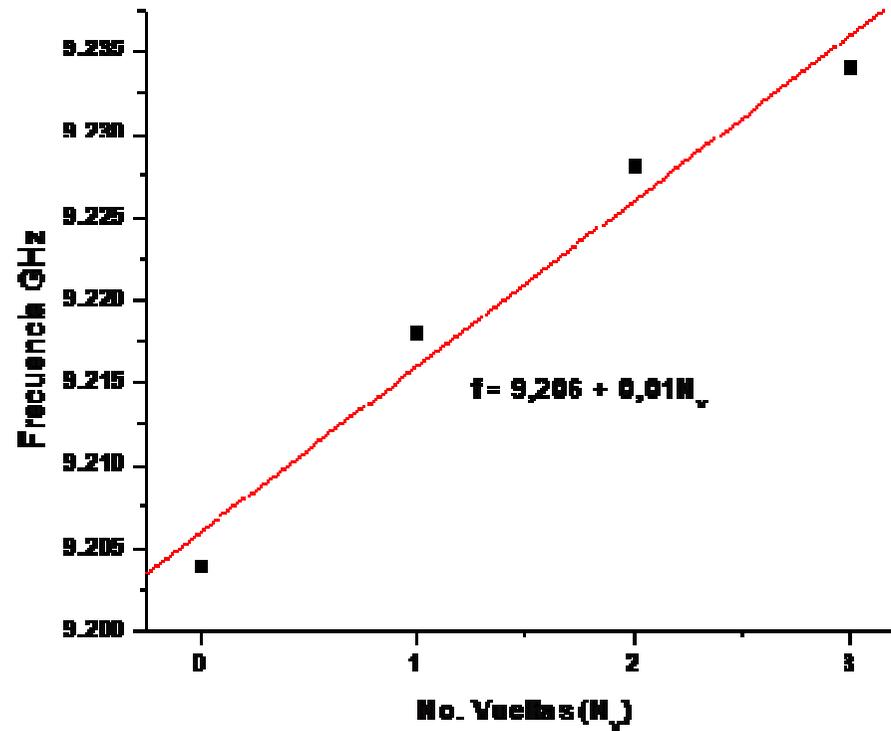
# Tornillo de ajuste y alimentación



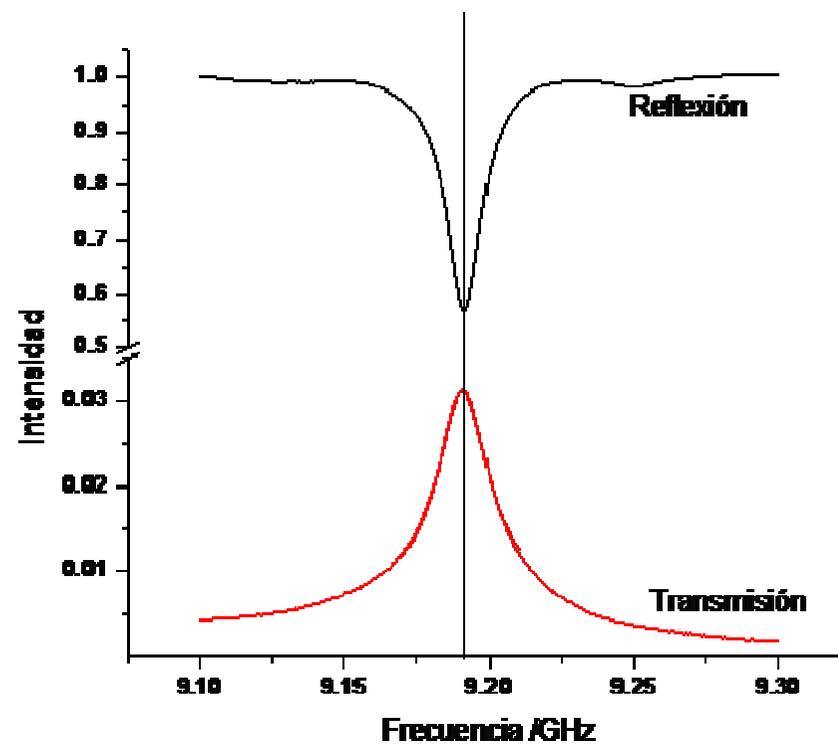
# Sintonía de la cavidad



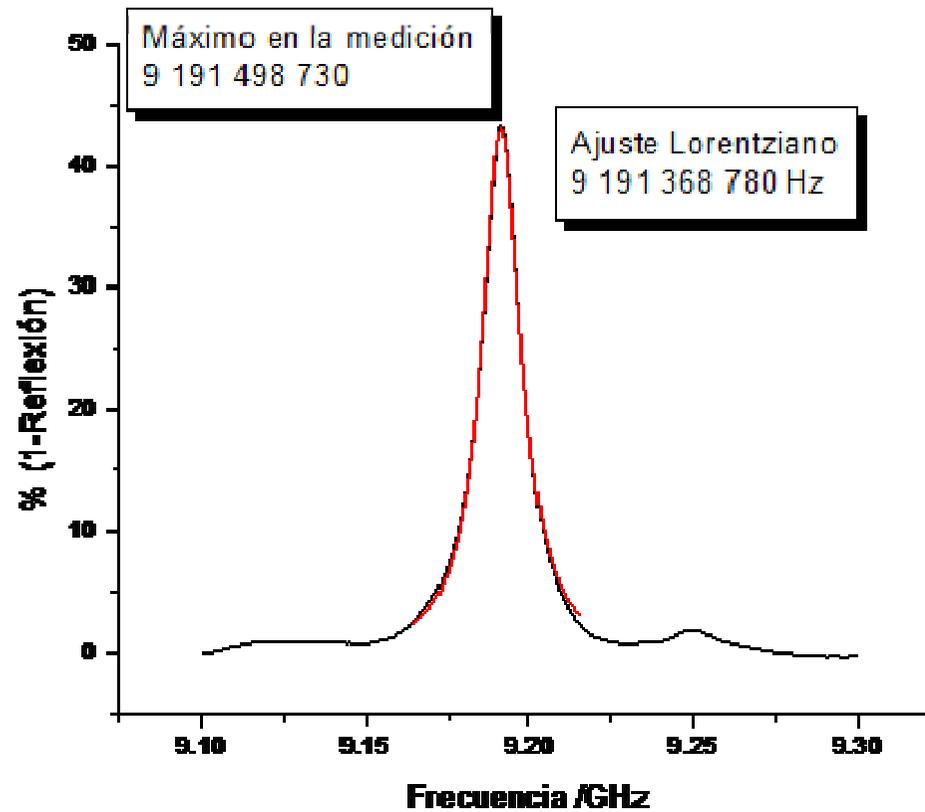
# Relación No. de vueltas-resonancia



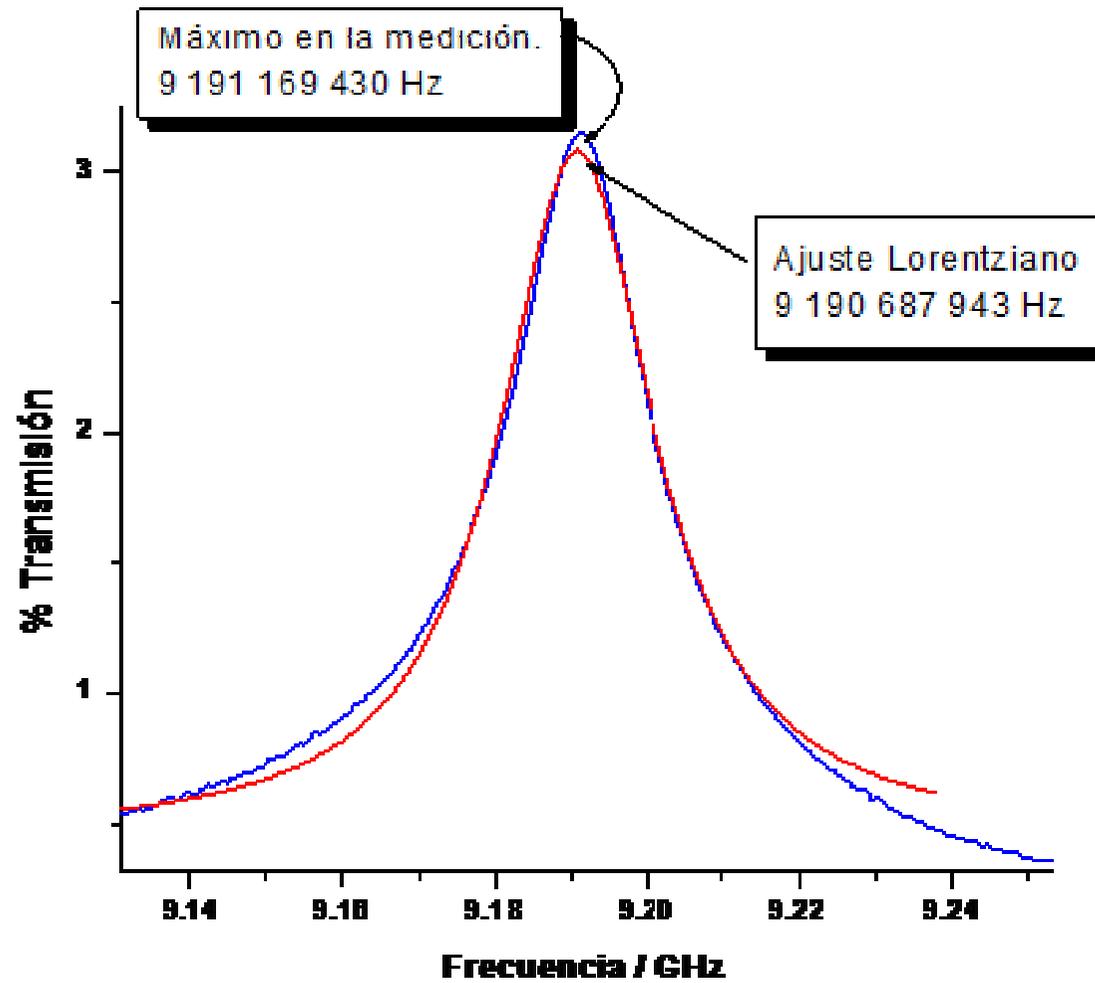
# Transmisión y reflexión de la cavidad de Ramsey



# 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.

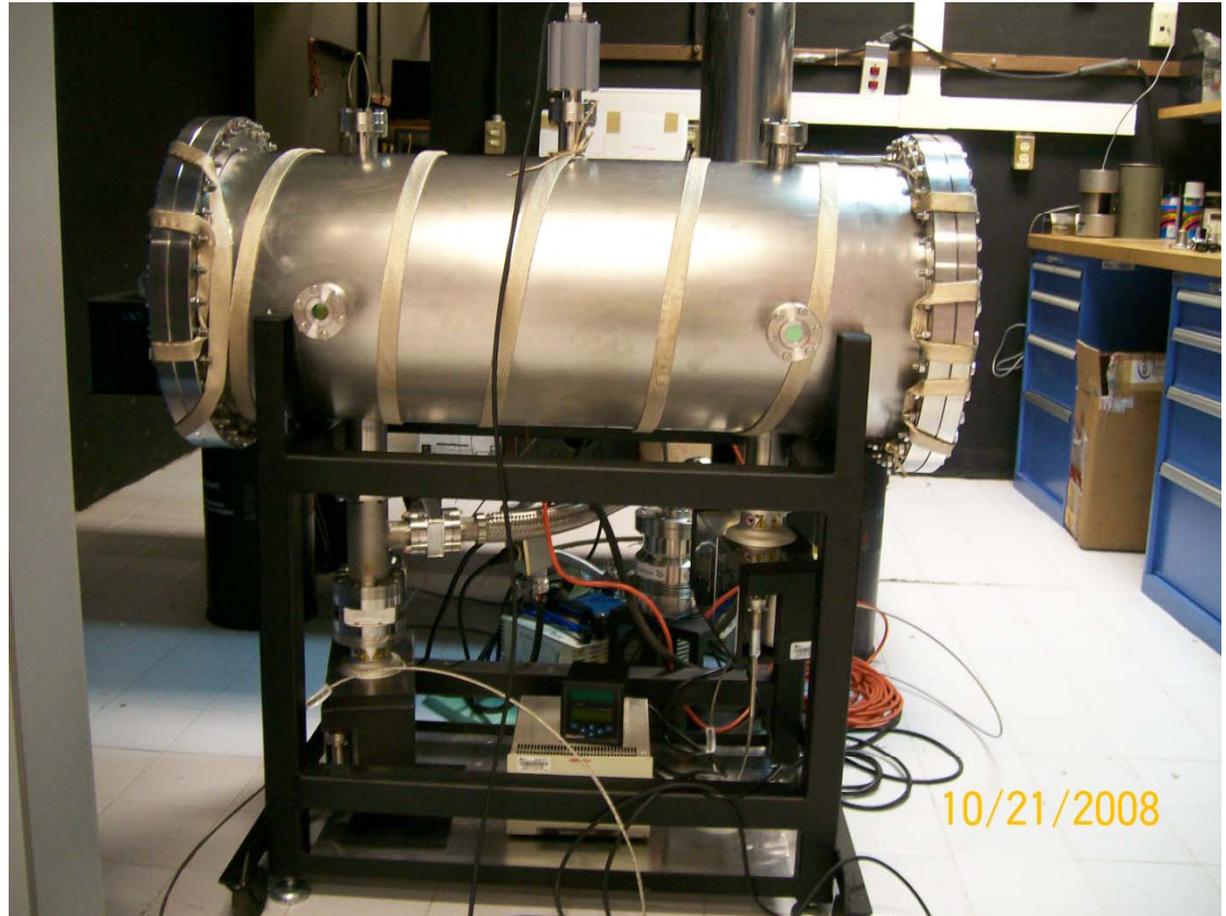
Camino Libre medio  
De los átomos de cesio  
A 100°C

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.

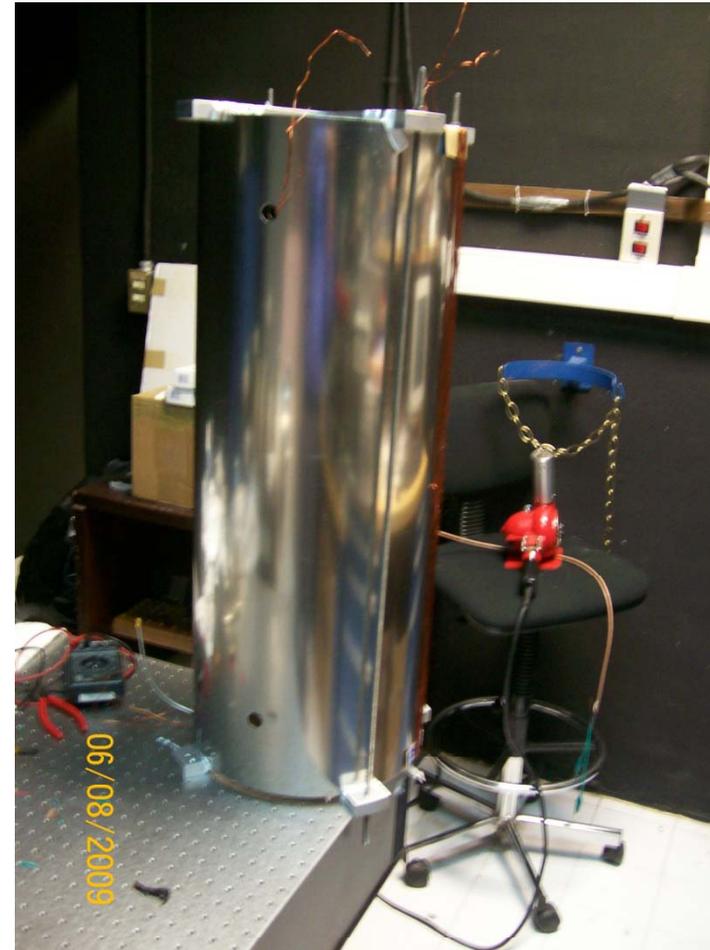


# Vacío alcanzado

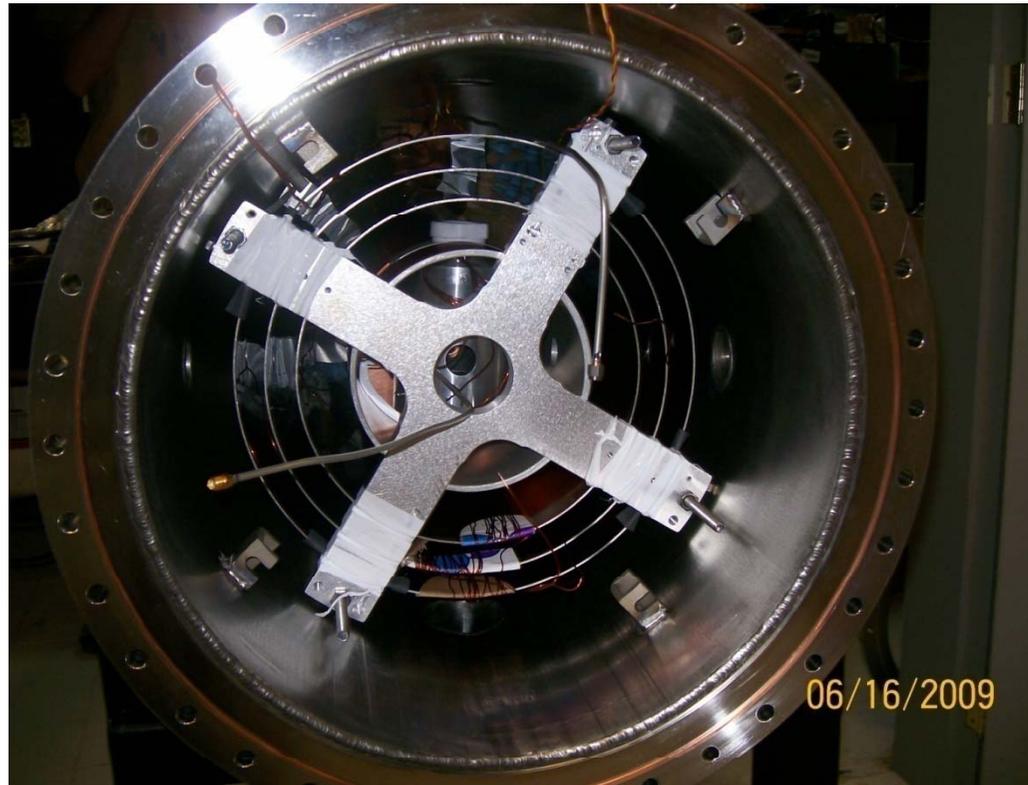


# Blindajes magnéticos

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.

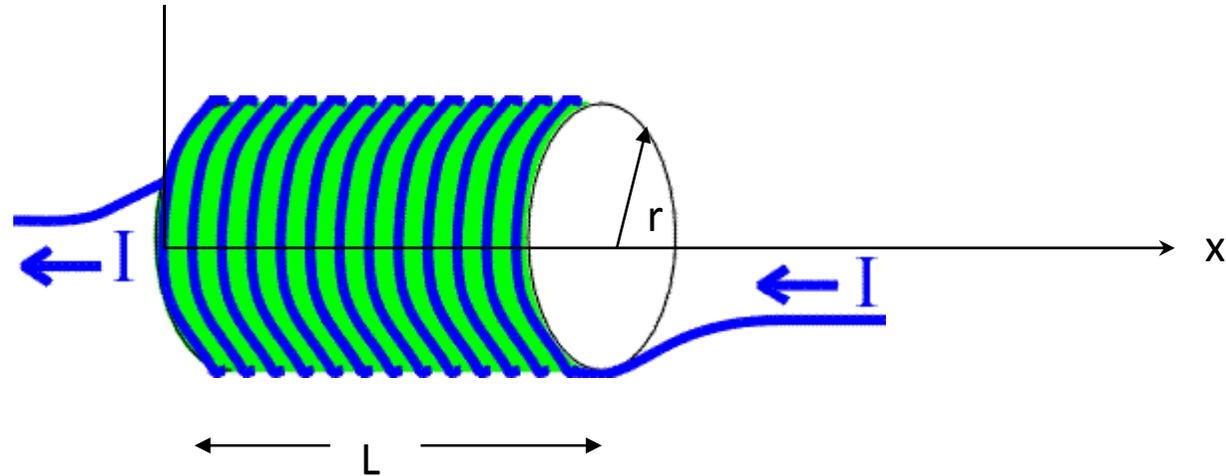
# Bobina de campo C

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

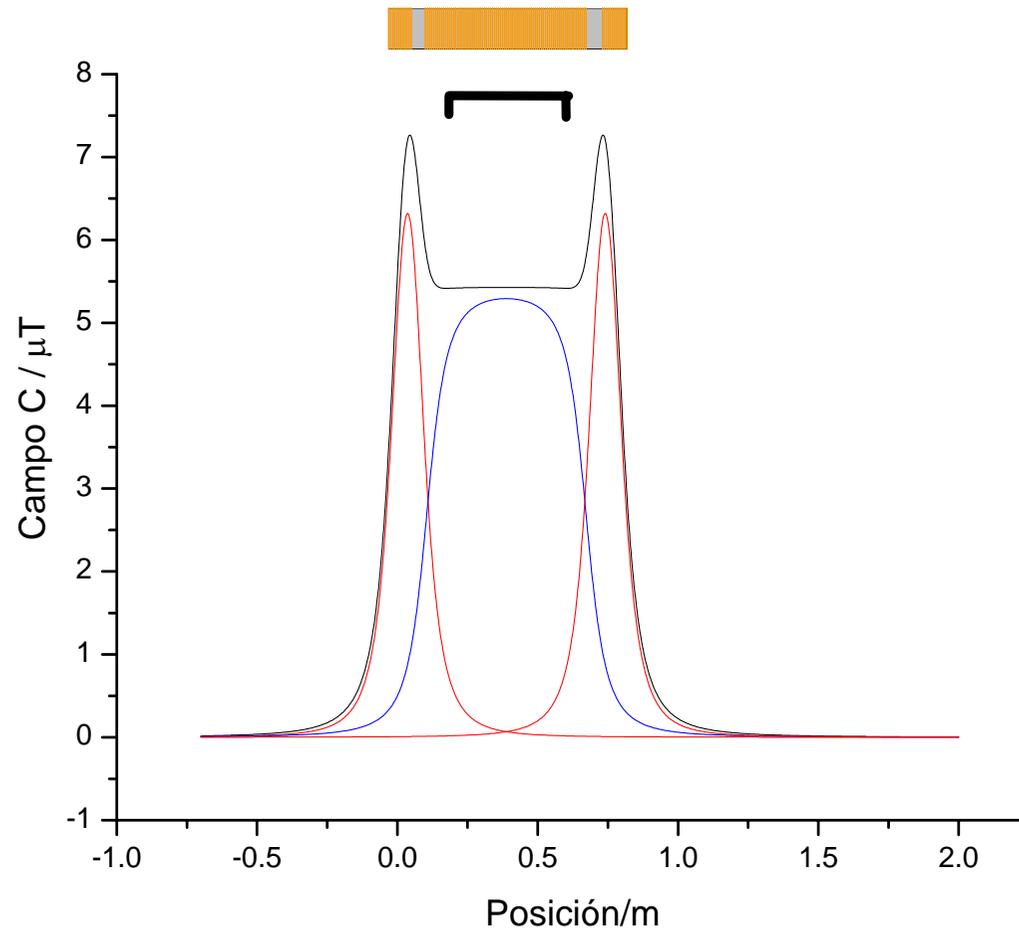
$$B = \frac{\mu_0 IN}{2L} \left[ \frac{L-x}{\sqrt{(L-x)^2 + r^2}} - \frac{x}{\sqrt{x^2 + r^2}} \right]$$

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

En el centro de la bobina

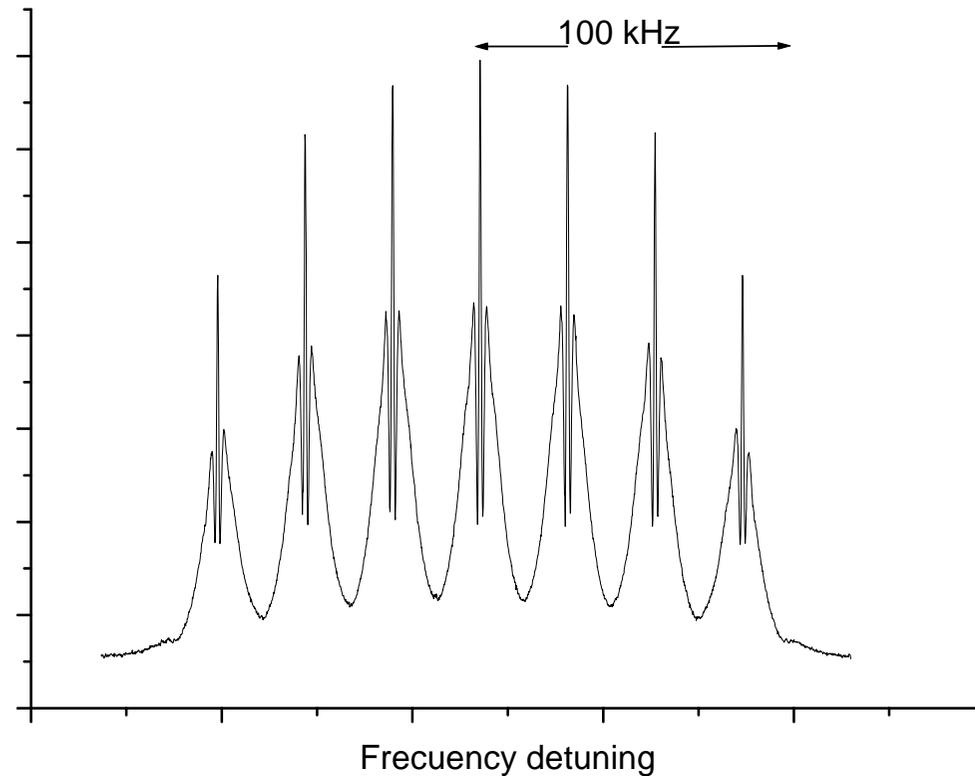
$$B = 7.6 E-6 \text{ T}$$

# 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

$$m_F = 0$$

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

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

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

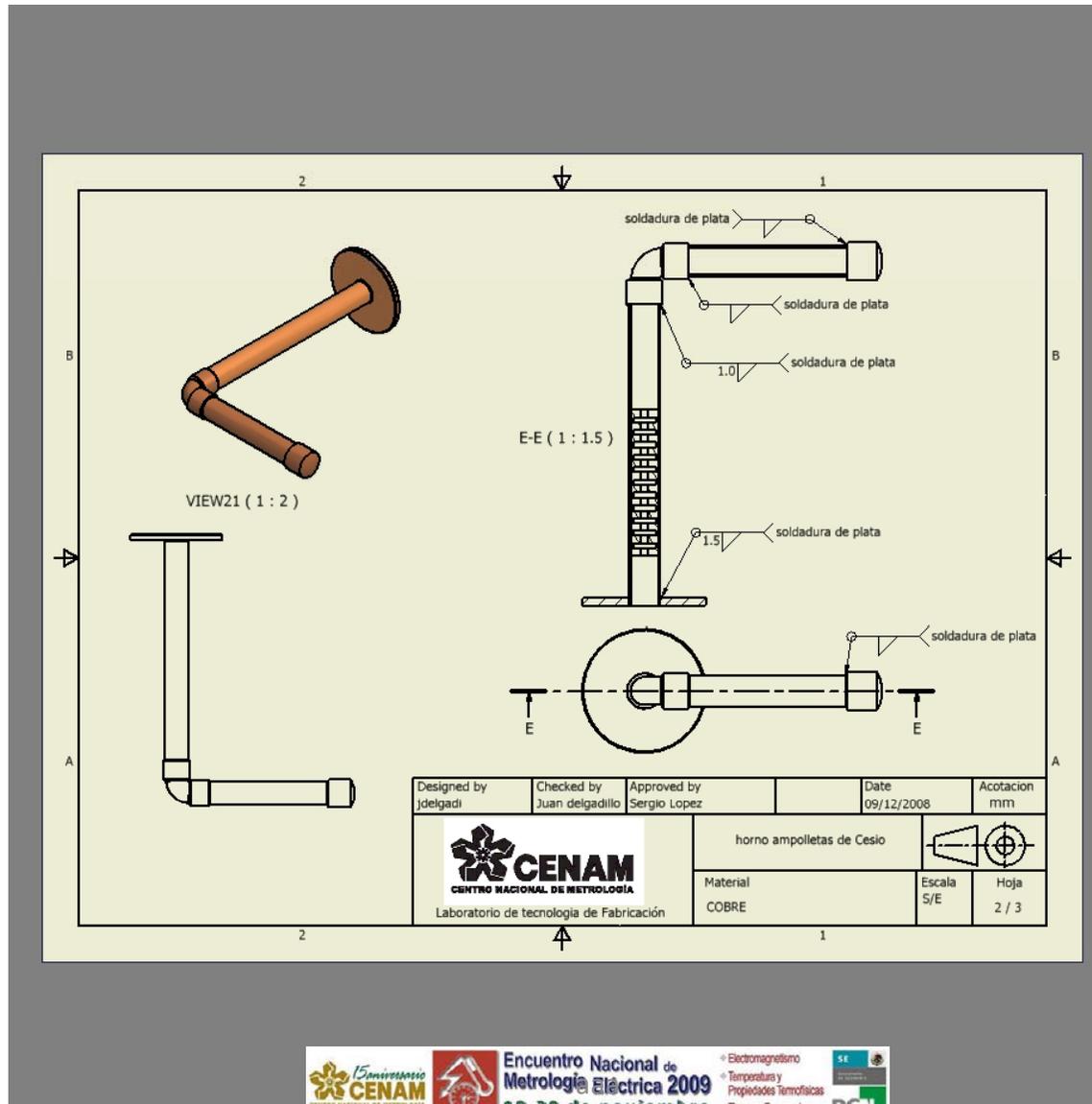
Para el Cs-133

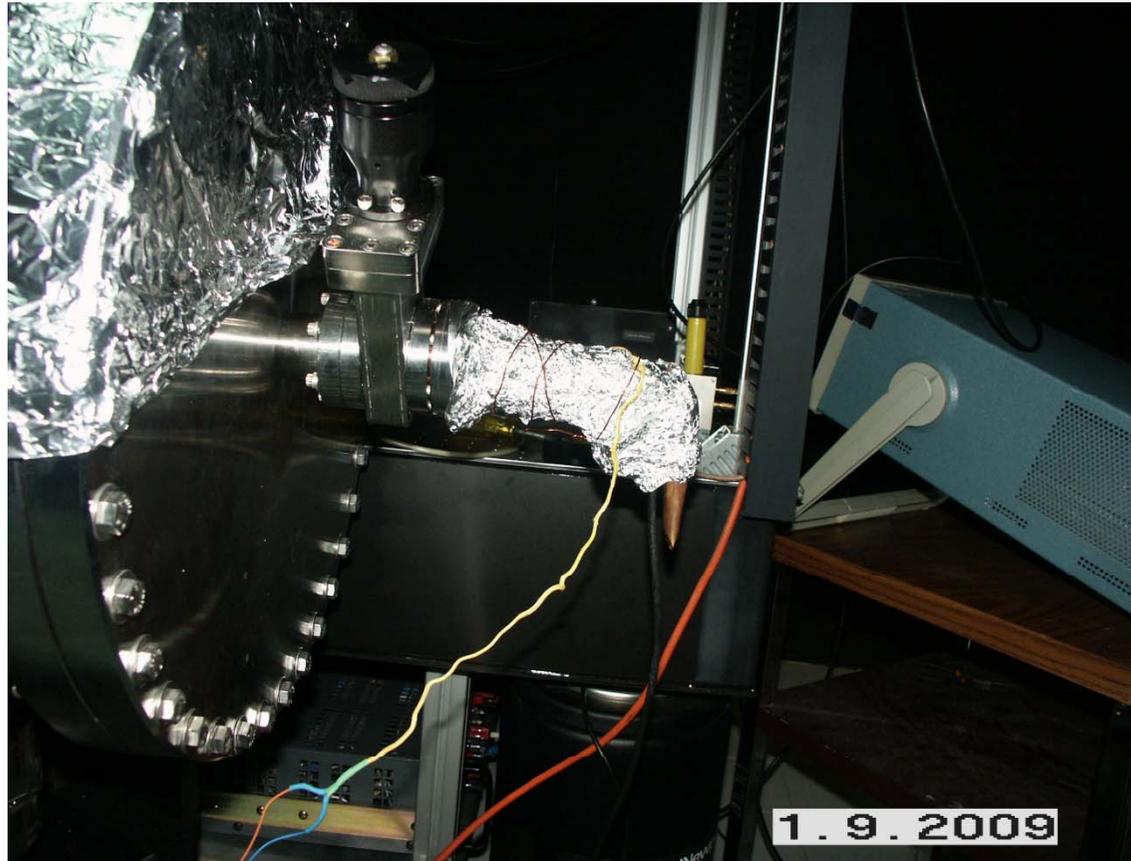
$$K_o = 4.2745E10 \text{ Hz } T^2$$

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

aaa

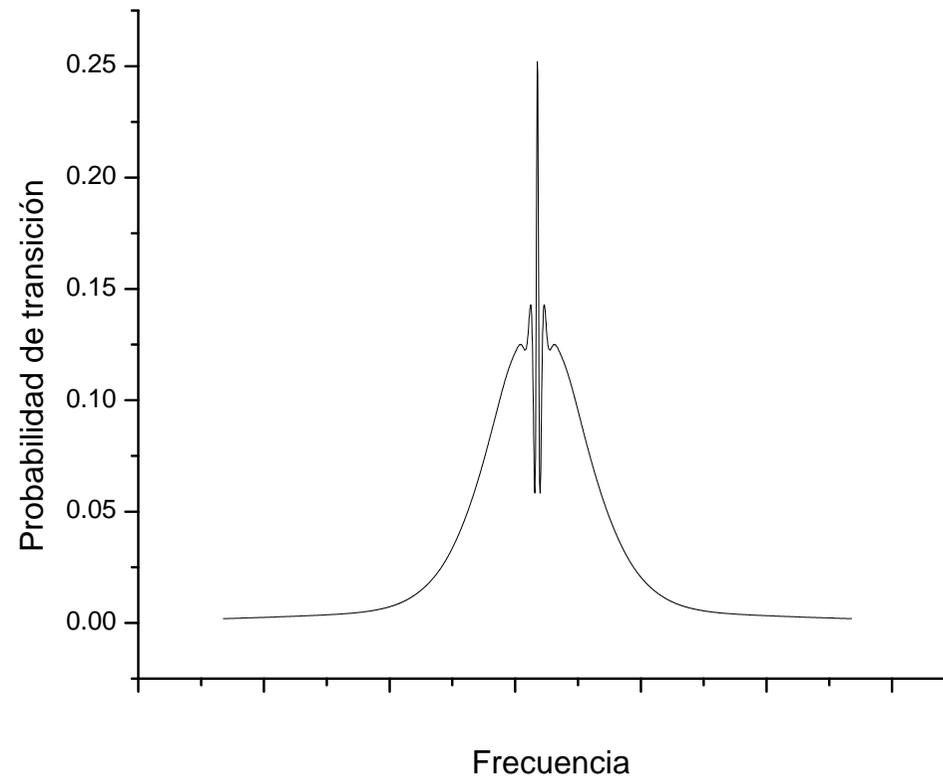
# Hornos de cesio



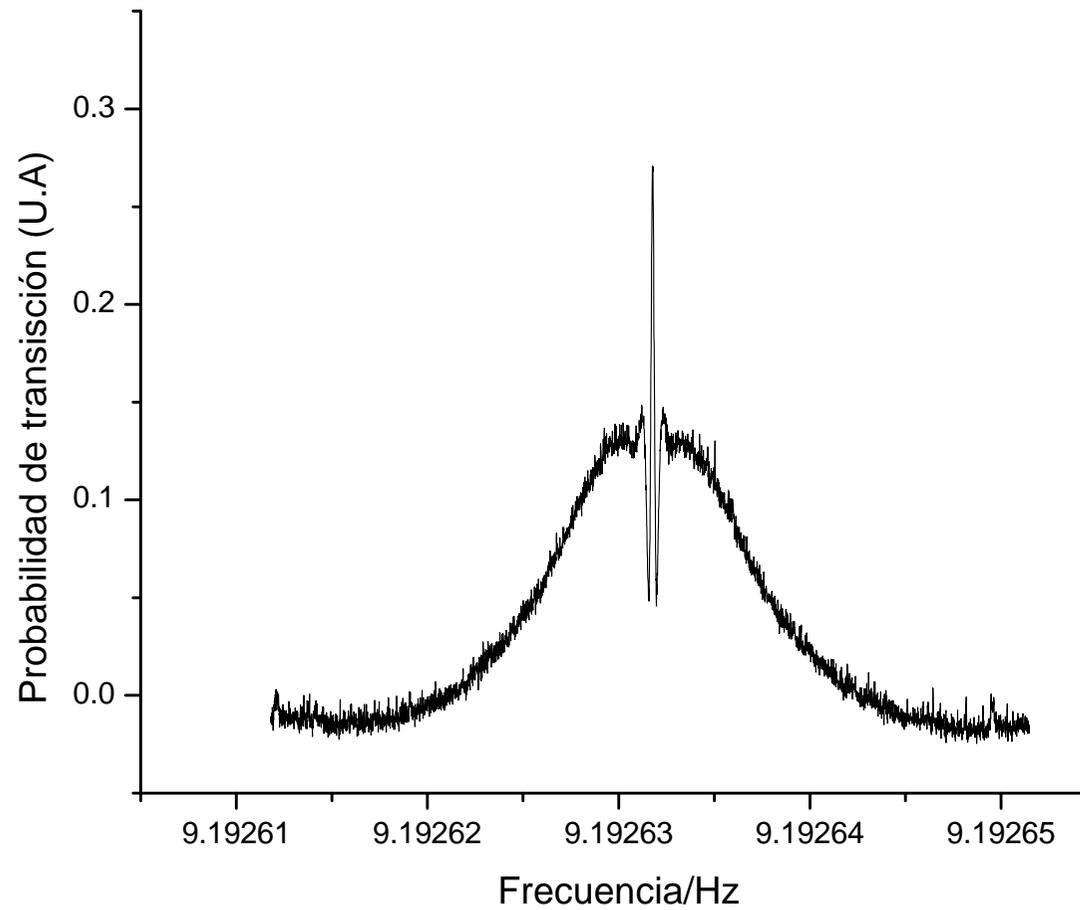


# Resultados experimentales

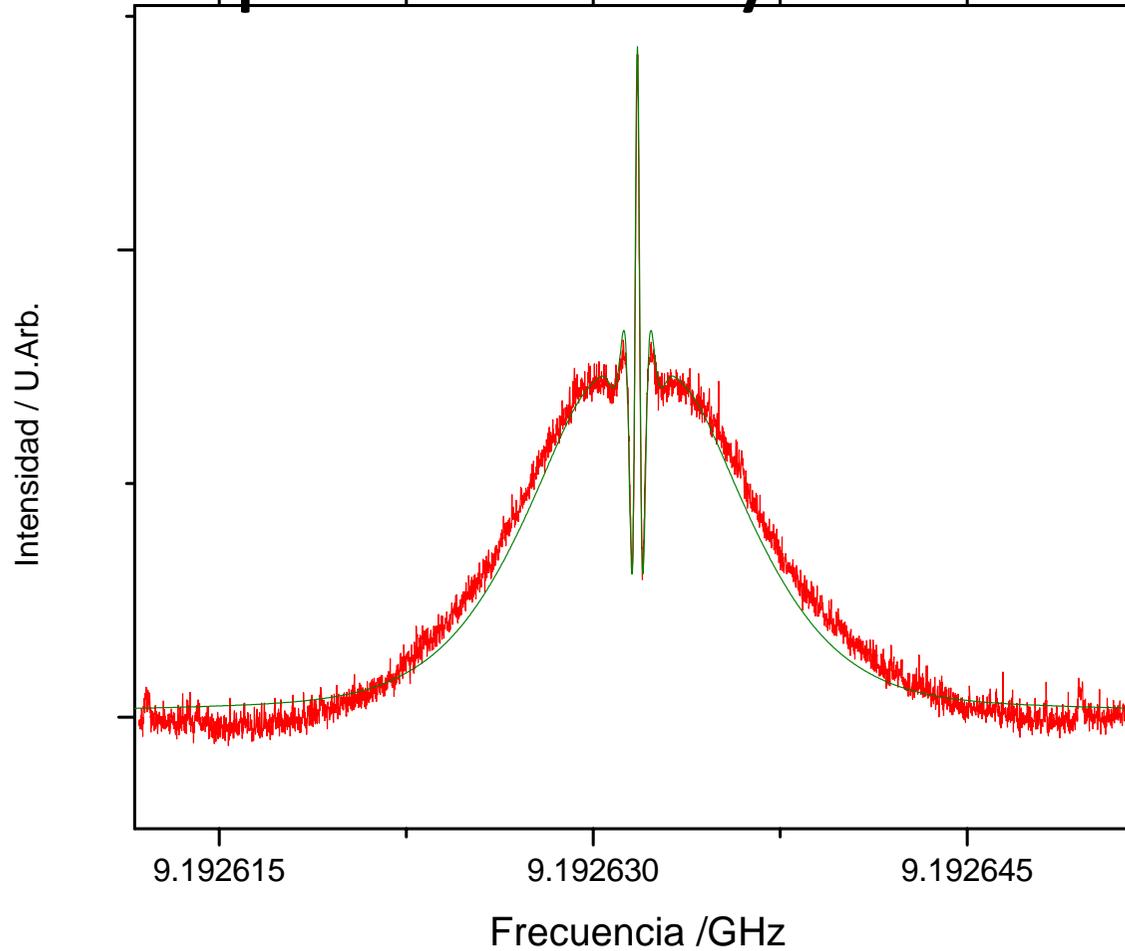
# Curva teórica



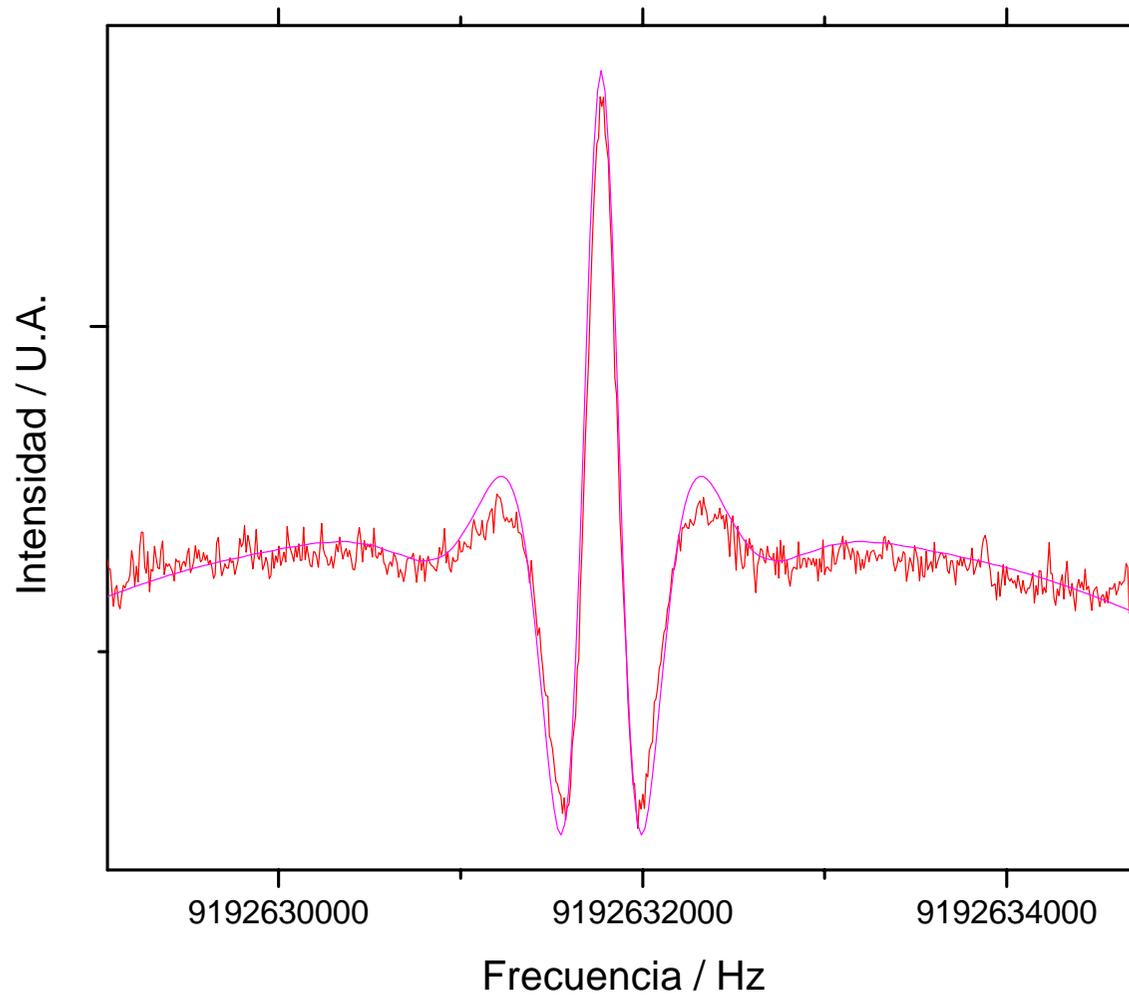
# Curva experimental

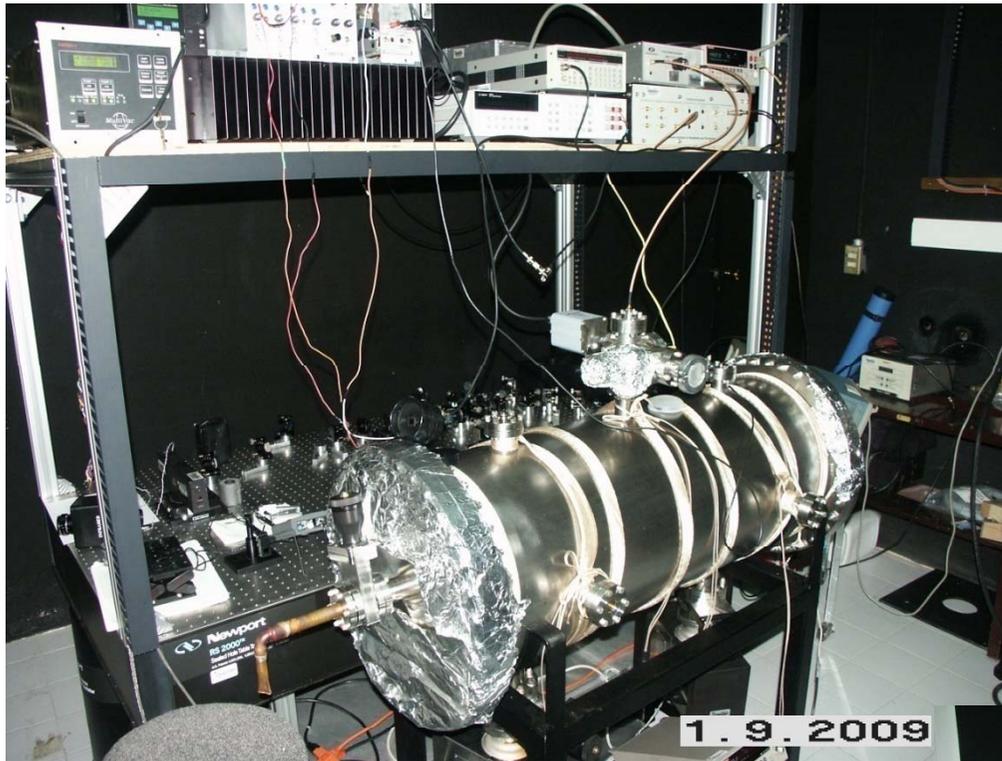


# Comparación, pedestal de Rabi. Experimental y teórico

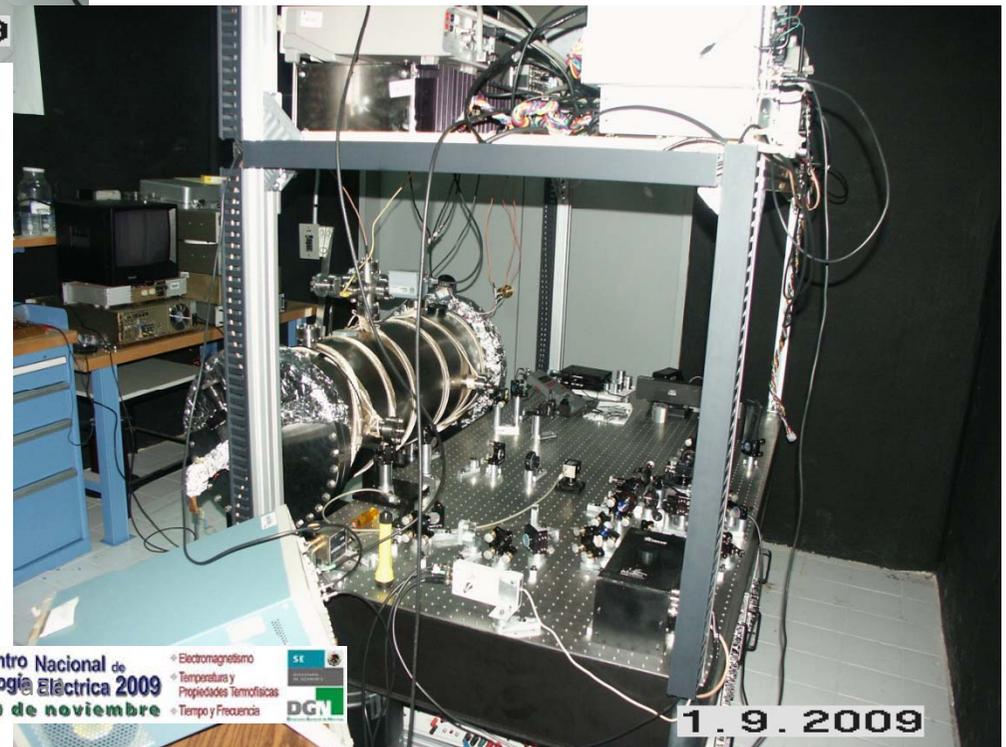


# Línea central de Ramsey





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.