

Estudio de la Emisión Espectral de Láseres Semiconductores Tipo DFB

Eduardo de Carlos L., J. Mauricio López R., Maricela Talavera O.

Centro Nacional de Metrología
km 4,5 Carretera a Los Cués, 76246, Querétaro, México.
edlopez@cenam.mx

RESUMEN

El desarrollo de relojes atómicos involucra el uso de láseres estabilizados en frecuencia con anchos de línea suficientemente angostos para manipular transiciones entre estados hiperfinos. Anchos de línea de 1 MHz o menores son requeridos para tal efecto. Típicamente láseres semiconductores acoplados a cavidades extendidas son usados en tales experimentos. El CENAM utiliza láseres semiconductores de AlGaAs tipo DBR con anchos de línea de 1 MHz que no requieren cavidades extendidas. Recientemente el CENAM ha incursionado en el estudio sobre la aplicación de láseres tipo DFB (*Distributed Feedback*) en relojes atómicos. En este trabajo se presentan los resultados del estudio sobre la emisión espectral de láseres DFB. Se muestran los espectros de resonancia de la línea D_2 del Cesio 133 utilizando éstos láseres. Se estima el ancho de línea de los láseres y se muestran los resultados de estabilidad en frecuencia. Finalmente se comparan con resultados obtenidos con láseres tipo DBR.

1. INTRODUCCIÓN

Una parte importante en la metrología de tiempo y frecuencia, en particular a lo que se refiere a la reproducción experimental del segundo, es el empleo de luz láser para manipular los estados energéticos del átomo de Cesio 133. Para este propósito se utiliza la línea D_2 de este átomo, cuya longitud de onda asociada es de 852 nm. Las fuentes de luz más comunes que se utilizan en estos experimentos son los láseres semiconductores de AlGaAs, los cuales emiten en el infrarrojo cercano. En los experimentos de manipulación de átomos con luz se requiere una buena calidad en la frecuencia de emisión de los láseres, es decir, anchos de línea angostos (alrededor de 1 MHz) y estabilidades en frecuencia del orden de 10^{-11} para tiempos de promediación de algunos minutos. Tradicionalmente se utilizan diodos láseres de cavidad extendida (ECLD) para lograr disminuir el ancho de línea y sintonizar su frecuencia de emisión. Si bien estos láseres ofrecen anchos de línea muy angostos (menores a 1 MHz) presentan el inconveniente de ser altamente sensibles a las vibraciones mecánicas y a los cambios de temperatura, haciendo difícil su estabilización en frecuencia.

De manera alterna, la División de Tiempo y Frecuencia del Centro Nacional de Metrología, CENAM, ha incorporado en sus sistemas ópticos láseres semiconductores tipo DBR (*Distributed Bragg Reflector*). Estos láseres incluyen dentro del mismo chip una rejilla tipo Bragg con lo que se obtiene una disminución en el ancho de línea de

emisión (del orden de 1 MHz), de manera que presentan una mayor inmunidad al ruido acústico y a la temperatura, en contraste con los láseres ECLD. En los últimos años han ingresado al mercado los llamados láseres DFB (*Distributed Feedback*), que al igual que los láseres DBR incorporan dentro de su misma estructura una rejilla, disminuyendo el ancho de línea de emisión. Recientemente la División de Tiempo y Frecuencia ha adquirido láseres DFB para investigar su aplicación en los patrones primarios de frecuencia que se desarrollan en esta División, como lo son en el patrón primario de frecuencia de haz térmico con bombeo óptico y la fuente atómica [1]. Como estudio previo para su incorporación al sistema óptico de los patrones se ha llevado a cabo un análisis de estabilidad en frecuencia de estos láseres. En este trabajo se muestran los resultados de realizar espectroscopia de saturación con vapor de Cesio 133, comparándose los espectros obtenidos con un láser tipo DBR y un láser DFB. Finalmente se presentan los resultados del batido de frecuencias entre los láseres DBR y DFB estabilizados en frecuencia, así como el análisis de estabilidad utilizando estos datos, encontrándose estabilidades del orden de 4×10^{-11} para tiempos de promediación de 100 s.

2. ESPECTROSCOPIA DEL CESIO 133

2.1. Diseño Experimental

El láser semiconductor tipo DFB utilizado en este trabajo es un láser de 150 mW de potencia (EAGLEYARD, modelo EYP-DFB-0852-00150-1500-TOC03-0000), el cual emite en una longitud de

onda de 852 nm. El ancho de línea reportado por el fabricante es menor a 2 MHz. El diodo láser viene en un encapsulado tipo TOC-03, que incluye un enfriador termo-eléctrico (*peltier*), un termistor y un fotodiodo. Debido a lo compacto de su presentación, su montaje y control de temperatura son más eficientes. El láser se montó sobre una placa de aluminio de manera que exista un buen contacto térmico con el láser y una buena disipación de calor. Asimismo la lente para colimar el láser y un aislador óptico se montaron sobre la misma estructura de aluminio con el objeto de minimizar los efectos de las vibraciones mecánicas y la luz de retroceso (*feedback*). Toda la estructura se instaló dentro de una caja de aluminio la cual tiene las conexiones eléctricas del láser (Fig. 1).

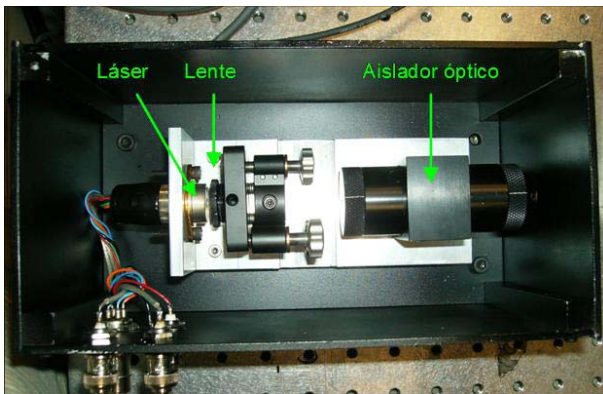


Fig. 1. Fotografía del montaje del láser DFB.

El control de temperatura del láser DFB se realizó utilizando un control PI en conjunto con el termistor y el peltier incluidos en el encapsulado del láser. Las variaciones en temperatura empleando este control fueron del orden de ± 1 mK por hora. La alimentación del diodo láser se realizó con una fuente de corriente altamente estable (alrededor de ± 1 μ A por hora). El valor de corriente nominal de trabajo para el láser fue del orden de 160 mA, mientras que la temperatura se mantuvo alrededor de 27 °C, de manera que se mantuvieran las condiciones de resonancia del láser con el Cesio 133. La potencia neta del haz a la salida del aislador óptico fue alrededor de 92 mW.

Por otro lado se empleó un láser semiconductor tipo DBR, modelo YL85XTW marca YOKOGAWA, con 5 mW de potencia máxima de salida, una longitud de onda de emisión de 852 nm y un ancho de línea reportado por el fabricante del orden de 1 MHz. Este láser está montado sobre una estructura de aluminio, en donde se instaló un termistor y un

peltier en conjunto con un control PID. A diferencia del láser tipo DFB, los láseres DBR requieren de dos fuentes de corriente, una para el diodo láser y otra para la sección DBR. Los valores de corriente nominales de trabajo fluctuaron alrededor de los 40 mA y 20 mA, respectivamente. Más detalles experimentales sobre estos láseres pueden ser consultados en otros trabajos [2-4].

2.2. Resultados Experimentales

En la Fig. 2 se muestran los primeros niveles de energía del átomo de Cesio 133. Se realizó espectroscopia de saturación [2] en una celda cilíndrica con vapor de Cesio (2.5 cm de diámetro $\times$ 2.5 cm de largo). La celda se mantuvo a temperatura ambiente (alrededor de 22 °C) y una presión de vapor de 6×10^{-5} Pa. Se moduló la frecuencia de los láseres alrededor de 1 GHz a través de las transiciones $|6^2s_{1/2}, F=4\rangle \rightarrow |6^2p_{3/2}, F'=3,4,5\rangle$ utilizando una modulación de 100 Hz en la corriente de alimentación. La potencia de los haces de saturación y de prueba fueron de 80 μ W y 20 μ W respectivamente, ambos con polarización lineal. La luz transmitida perteneciente al haz de prueba se detecta y se amplifica, donde las variaciones en la intensidad transmitida se visualizan en un osciloscopio.

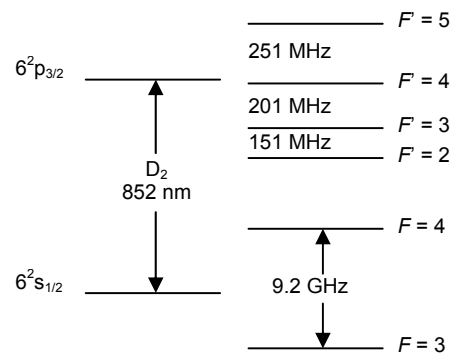


Fig. 2. Primeros niveles de energía del ^{133}Cs .

La Fig. 3 muestra un diagrama del diseño experimental de espectroscopia de saturación. Se suprimió el pozo Doppler con el afán de apreciar mejor los picos (*lamb dips*) de los espectros, los cuales se muestran en la Fig. 4. La Fig. 4.a corresponde al espectro generado con el láser tipo DFB, mientras que la Fig. 4.b corresponde al espectro obtenido con el láser DBR. El cociente señal a ruido de ambas señales es superior a 100, mientras que el ancho de línea de los picos es del

orden de 10 MHz. Asimismo se nota que los espectros generados con los dos láseres son equivalentes.

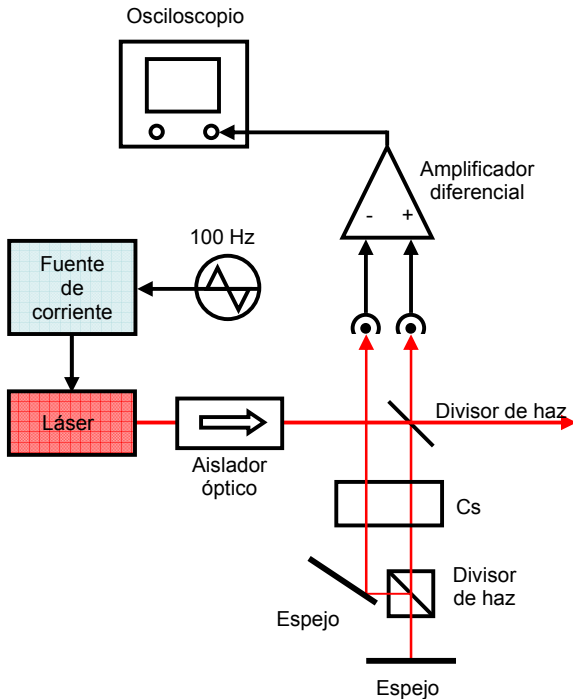


Fig. 3. Diseño experimental empleado en la espectroscopia de saturación del ^{133}Cs .

3. ESTABILIDAD EN FRECUENCIA

3.1. Generación de Señales Tipo Dispersión

Las señales tipo dispersión o señales de error que se emplearon para estabilizar en frecuencia a los láseres se generaron utilizando la técnica de espectroscopia de FM [2]. Para evitar una modulación directa en la frecuencia de los láseres, se usaron dos moduladores acusto-ópticos (AOM) con la finalidad de realizar dicha modulación. La Fig. 5 muestra este diseño experimental.

Los moduladores acusto-ópticos se alimentan de un par de generadores de onda senoidal de 2 W de potencia, con una frecuencia nominal de trabajo de 80 MHz. Las señales de estos generadores se modularon con una frecuencia de 200 kHz y una amplitud de modulación del orden de 500 kHz [2]. Se utilizó la configuración de doble paso en los moduladores para evitar desvíos en la alineación de los haces debido al cambio en la frecuencia de los AOM's. Las señales tipo dispersión obtenidas de esta forma se observan en la Fig. 6. Cabe

mentar que para generar la señal tipo dispersión de la Fig. 6.a se utilizó una celda con vapor de Cesio de 1 cm de longitud, por lo que la línea correspondiente a la transición $|6^2s_{1/2}, F=4\rangle \rightarrow |6^2p_{3/2}, F=5\rangle$ se maximiza [2].

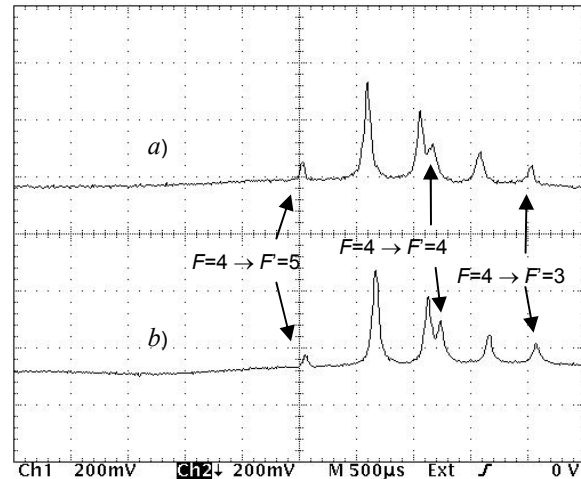


Fig. 4. Espectros de resonancia obtenidos con espectroscopia de saturación. a) Espectro obtenido con el láser DFB. b) Espectro obtenido con el láser DBR.

3.2. Batido de Frecuencias

El láser DFB se estabilizó a la frecuencia correspondiente a la transición $|6^2s_{1/2}, F=4\rangle \rightarrow |6^2p_{3/2}, F=5\rangle$, (Fig. 6.a); mientras que para el láser DBR se utilizó la transición ficticia (*crossover line*) que se encuentra entre las transiciones $|6^2s_{1/2}, F=4\rangle \rightarrow |6^2p_{3/2}, F=5\rangle$ y $|6^2s_{1/2}, F=4\rangle \rightarrow |6^2p_{3/2}, F=4\rangle$, (Fig. 6.b). La diferencia entre estas líneas es de 125.5 MHz, (Fig. 2).

Se realizó un batido de frecuencias entre ambos láseres, utilizando una fracción de los haces principales. La potencia de los haces usados en el batido fue de 40 μW , con la misma polarización lineal.

Se utilizó un fotodetector comercial que incluye un fotodiodo de avalancha y un amplificador, con una respuesta en frecuencia de DC a 20 GHz.

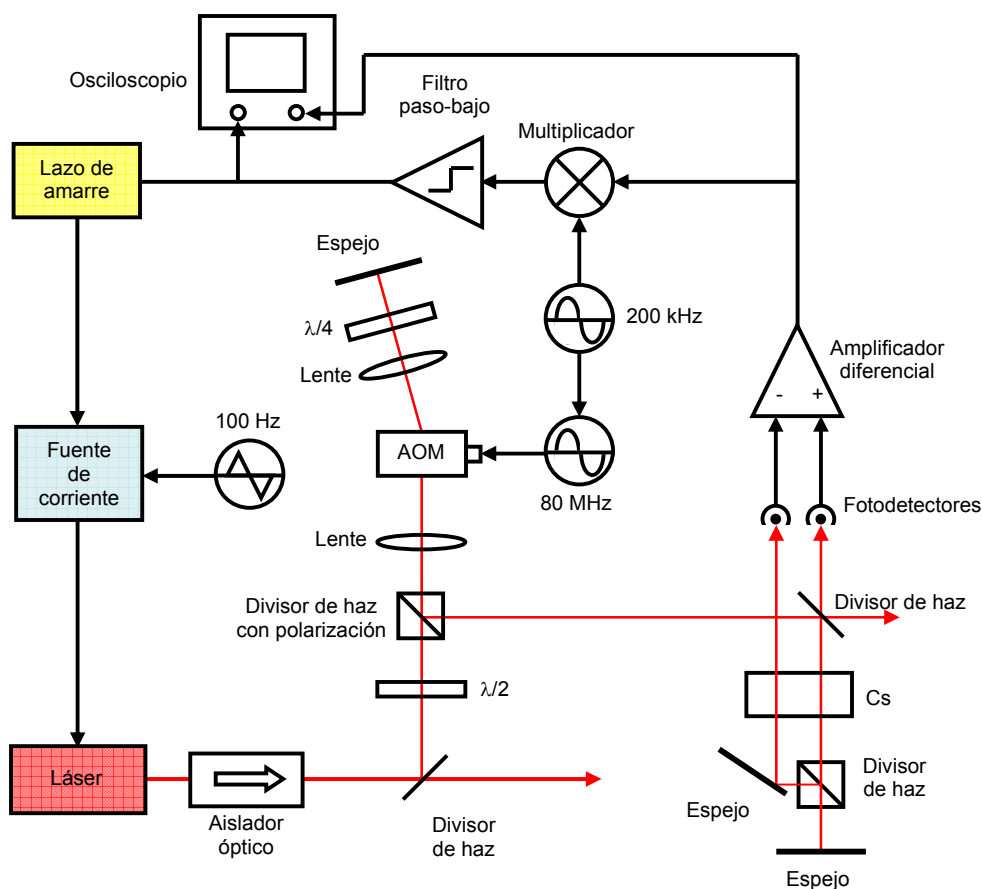


Fig. 5. Diseño experimental empleado en la generación de señales tipo dispersión.

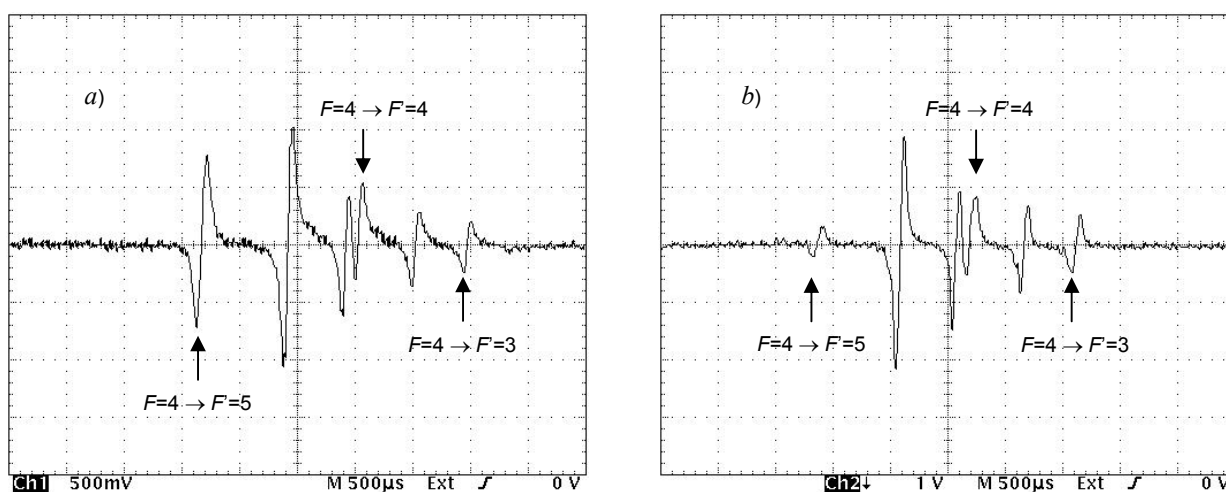


Fig. 6. Señales tipo dispersión. a) Correspondiente al láser DFB. b) Correspondiente al láser DBR.

El batido se llevo a cabo durante un intervalo de tiempo cercano a 1 h. Una gráfica de las diferencias de frecuencia entre los láseres se muestra en la Fig. 7. Se nota que las diferencias de frecuencia oscilan alrededor de 125.6 MHz, en concordancia con la diferencia en frecuencia de las transiciones del Cesio (Fig. 2). Las variaciones de las diferencias de frecuencia entre ambos láseres a corto plazo son del orden de 200 kHz. Asimismo, no se observa una pendiente pronunciada durante el tiempo de la medición.

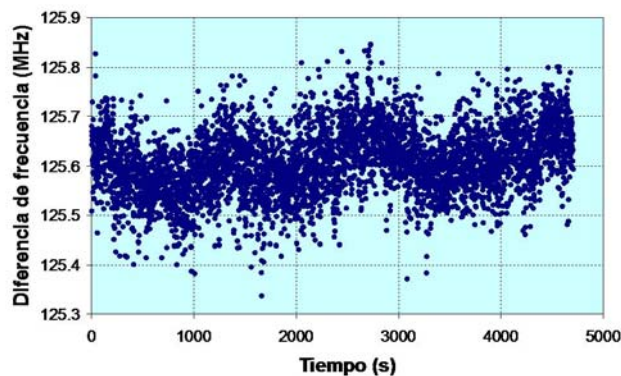


Fig. 7. Diferencias de frecuencia entre los láseres DFB y DBR estabilizados en frecuencia.

En la Fig. 8 se observa el espectro de frecuencias asociado al batido entre los dos láseres semiconductores. El ancho de línea de este espectro es del orden de 10 MHz, lo que implica que el ancho de línea de emisión de cada láser es menor a este valor.

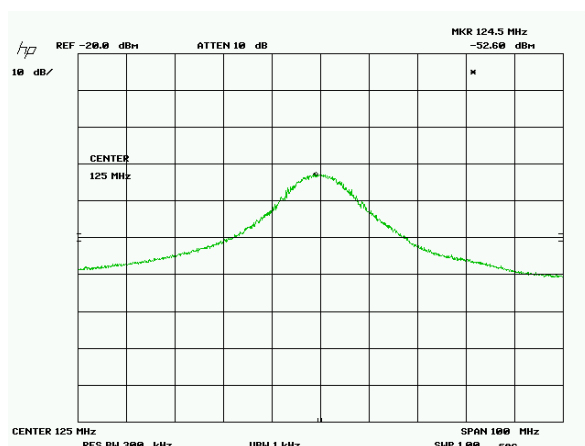


Fig. 8. Espectro de frecuencias correspondiente al batido entre los láseres DFB y DBR.

3.3. Análisis de Estabilidad

La raíz de la varianza de Allan correspondiente a las diferencias de frecuencia entre los láseres se muestra en la Fig. 9. A manera de comparación se incluyó la varianza de Allan de las diferencias de frecuencia entre dos láseres tipo DBR reportados en trabajos anteriores [3]. De la Fig. 8 se puede observar que para tiempos de promediación menores a 100 s la estabilidad relativa entre los láseres DFB versus DBR es mejor que la estabilidad relativa entre láseres tipo DBR, mientras que lo contrario ocurre para tiempos mayores a 100 s.

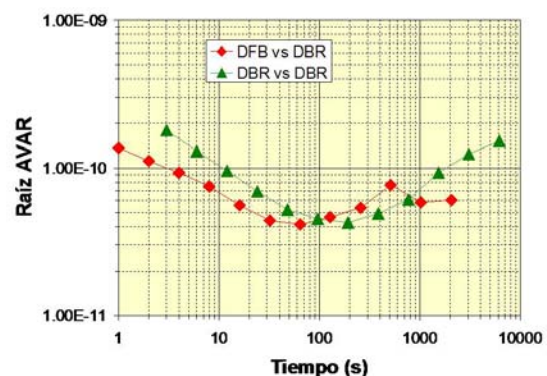


Fig. 9. Raíz de la varianza de Allan correspondiente a las diferencias de frecuencia entre el láser DFB y DBR.

4. CONCLUSIONES

Se comparó el desempeño de un diodo láser tipo DFB y un diodo láser tipo DBR de 852 nm. Se presentaron los espectros de resonancia en vapor de Cesio 133 obtenidos con ambos láseres. El cociente señal a ruido, así como los anchos de línea de los espectros no presentaron diferencias significativas. Se realizó el batido de frecuencia entre los láseres estabilizados a diferentes frecuencias de resonancia del ^{133}Cs . El ancho de línea estimado para los láseres utilizando el espectro de frecuencias de batido es menor a 10 MHz. Se encontró que la estabilidad relativa de las diferencias de frecuencia entre el láser DFB y el láser DBR es de 4×10^{-11} para tiempos de promediación de 100 s, siendo este valor similar al encontrado con los láseres tipo DBR. De esta manera, los resultados demuestran que el láser tipo DFB presenta características adecuadas para su aplicación en el desarrollo de patrones primarios de frecuencia.

REFERENCIAS

- [1] J. M. López, I. Domínguez, S. López, E. de Carlos, H. Ramírez, Manipulación de átomos con luz y sus aplicaciones en Metrología, Superficies y Vacío, Vol. 13, 2001, pp 97-104.
- [2] E. de Carlos, J. M. López, High resolution spectroscopy in gases and its application on the frequency stabilization of semiconductor lasers, Revista Mexicana de Física, Vol. 50 No. 6, 2004, pp 569-578.
- [3] E. de Carlos López, J. M. López Romero, Frequency stability estimation of semiconductor lasers using the three cornered hat method, Proceedings of SPIE V Symposium Optics in Industry, Vol. 6046, 2006, 6046-73.
- [4] E. de Carlos López, J. M. López Romero, Estabilización en frecuencia de láseres semiconductores y su aplicación en la metrología de tiempo y frecuencia, Memorias del Simposio de Metrología 2004.