



Sensor láser con rejillas de Bragg de fibra óptica para la medición de parámetros físicos

R. Vázquez^a, C. García^a, M. May^b, F. Méndez^b y J. Camas^c.

a) Escuela de Ingeniería Ambiental, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, Tuxtla Gtz., Chiapas, México. ravsa100@hotmail.com[†]

b) Universidad Autónoma del Carmen, Ciudad del Carmen, Cam. México. mmay@pampano.unacar.mx

c) Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, Tuxtla Gtz, Chiapas, México.

[†]autor para la correspondencia

Recibido el 15/04/2009. Aprobado en versión final el 11/03/2010

Sumario. Se presenta el arreglo de un sensor de fibra óptica que puede ser aplicado para la medición de parámetros físicos, el cual es caracterizado como un sensor de alarma de temperatura. El sistema óptico es un láser de fibra que utiliza un amplificador óptico empotrado entre dos rejillas de Bragg y un láser semiconductor de bombeo. Se utiliza, además, un sistema electrónico que está compuesto por un sistema de adquisición de datos que utiliza un PIC (circuito integrado programable) y una fuente de voltaje que alimenta a una celda Peltier. Las dos rejillas que se utilizan tienen diferente longitud de onda de reflexión y bajo condiciones normales no existe traslape de sus respectivos espectros, por lo tanto, no existe emisión láser. Cuando la temperatura de la rejilla con menor longitud de onda de reflexión se incrementa, su longitud de onda de reflexión o de Bragg aumenta, dando como resultado que se empieza a generar una emisión láser en la terminal de monitoreo. De esta manera, en el momento cuando las longitudes de onda de reflexión de las rejillas se acoplan, existe un incremento en la intensidad del láser lo cual es aprovechado para aplicaciones como un sensor de alarma de temperatura. Para cambiarle la temperatura a la rejilla de Bragg se utilizó una celda Peltier, la cual genera un cambio de temperatura gradual hacia mayores o a menores temperaturas.

Abstract. We present the operation of a fiber laser sensor made by an Er-bium Doped Fiber pumped at 980nm, an 4.23 km passive fiber and two fiber Bragg gratings placed at the ends of the laser cavity. Under normal conditions, the Bragg gratings have different reflection wavelengths and laser emission is not generated. The two Bragg gratings can be placed at the same reflection wavelength when the grating with the lowest reflective wavelength increases their temperature which can be used as a sensor element. The laser generation thus shows that the Bragg grating is increasing their temperature. We used a Peltier cell in order to gradually change the temperature.

Palabras clave. Láseres de fibra 42.55.Wd, Sensores 42.81.Pa, Resonadores 42.60.Da.

1 Introducción

Las fibras ópticas han aportado un importante mejoramiento en el desarrollo de la industria de las telecomunicaciones, así como en el área de sensores desde hace ya más de tres décadas¹⁻⁴. Debido a que se necesita seguir

obteniendo mayor aprovechamiento de las características especiales que tiene la fibra óptica, se han construido dispositivos de fibras ópticas tales como acopladores WDM's (Wavelength Division Multiplexing), filtros, amplificadores, que han contribuido al desarrollo de sistemas de fibras ópticas debido a que son intrínsecamente de baja

pérdida y pueden ser interconectados a otros sistemas de fibra que transportan señales complejas. Con estos sistemas, llamados “todo de fibra”, se ha disminuido una de las limitantes que tiene cualquier sistema de comunicación a larga distancia, que es la pérdida por atenuación de las señales. Gracias a la ciencia de los materiales, se han podido fabricar fibras especiales que amplifican señales viajando dentro de la fibra sin la necesidad de una conversión óptica-eléctrica y eléctrica-óptica. Estas fibras especiales son llamadas fibras dopadas con tierras raras o simplemente amplificadores ópticos.

Uno de los dispositivos especiales de fibra óptica son las denominadas “rejillas de Bragg de fibra óptica” las cuales pueden ser utilizadas para reflejar, filtrar ó dispersar luz, evitando la necesidad de utilizar espejos dieléctricos de volumen y rejillas de difracción, disminuyendo con esto las no-deseadas pérdidas de energía. Estos dispositivos son ideales para un amplio rango de aplicaciones siendo un elemento clave en el campo de las telecomunicaciones ópticas y en sensores de fibra óptica, además de tener aplicaciones como espejos en láseres de fibra óptica⁵. En aplicaciones en láseres de fibra, un medio amplificador (fibra dopada con tierras raras) es colocado entre dos rejillas las cuales cumplen con el principal papel de formar la cavidad resonante⁶. En sensores de fibra óptica basados en rejillas de Bragg, las rejillas funcionan como elementos sensores de temperatura y tensión. El principio básico comúnmente utilizado en estos sistemas es el de monitorear los cambios en la longitud de onda de Bragg reflejada por la rejilla con los cambios en las mediciones (tensión, temperatura, presión)⁷⁻¹⁰. Una rejilla de Bragg puede definirse como una modulación periódica (o modulación de periodo no-uniforme) del índice de refracción del núcleo de una fibra óptica monomodo, lo cual también puede verse como un arreglo periódico de placas o películas de 2 índices de refracción diferentes, denominados índice de refracción alto n_H (~ 1.4563) e índice de refracción bajo n_L (~ 1.456)¹¹.

En este trabajo se aprovecha una de las características que tienen las rejillas de Bragg cuando son sometidas a cambios de temperatura en su estructura física. Esta característica es que la longitud de onda central de la rejilla cambia en función de la temperatura de la misma. Un cambio de $13.7 \text{ pm}/^\circ\text{C}$ es esperado para rejillas centradas alrededor de una longitud de onda de 1550 nm ⁸, y para rejillas cercanas a 1530 nm , por cada $100 \text{ }^\circ\text{C}$ de aumento de temperatura, la longitud de onda central de la rejilla se desplazará aproximadamente 1 nm ¹². Además, la utilidad de las rejillas de Bragg como sensores de temperatura radica también en que debido a sus pequeñas dimensiones, es esperada una reacción más rápida a cambios en su temperatura que otros tipos de sensores.

2 Metodología

El primer paso fue el de construir el sistema óptico tratando de que fuera lo más sencillo posible para evitar, más que nada, el aumento del costo así como la complejidad.

El sistema propuesto es el mostrado en la figura 1. Un tramo de 10 metros de fibra óptica dopada con erbio se empalma por fusión a una rejilla de Bragg R1 que tiene una longitud de onda central de 1535.04 nm . Esto último significa que la rejilla R1 solo reflejará luz que tenga la misma longitud de onda que la rejilla.

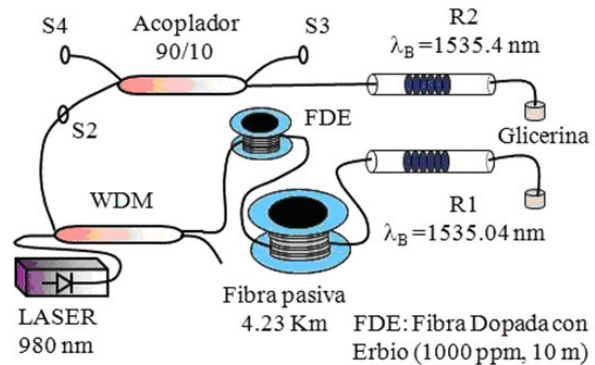


Figura 1. Sistema óptico propuesto que muestra un sensor láser de fibra formado por dos rejillas de Bragg y un medio amplificador.

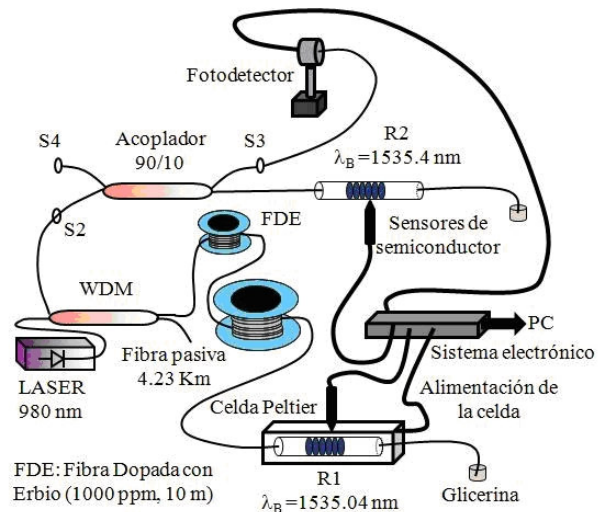


Figura 2. Sistema completo propuesto que muestra la forma en que se utilizó la celda Peltier para modificarle la temperatura a la rejilla R1. Una tarjeta de adquisición de datos fue empleada y dos sensores de semiconductor para verificar la temperatura.

Uno de los puertos de un acoplador por división de longitud de onda (WDM) se empalma a la punta libre de la fibra dopada. El acoplador WDM se utiliza para introducir al sistema la luz de un diodo láser de semiconductor que sirve para bombear a la fibra dopada. Como puede observarse, un puerto del WDM queda libre y los otros tres son utilizados. El puerto que es paralelo al puerto en donde se introduce la luz de bombeo, se empalma con uno de los puertos (S2) de un acoplador divisor 90/10 el cual sirve para monitorear las señales que genera el láser. Otro de los puertos del divisor 90/10 se empalma con la otra rejilla de Bragg R2 que tiene una longitud de onda central de 1535.4 nm , significando que la luz que se propague en

la fibra y que coincida con esta longitud de onda, será reflejada por la rejilla R2.

La relación 90/10 del acoplador divisor significa que si en el punto S2 se tiene un 100% de intensidad de señal óptica, en la terminal S3 se tendrá un 10% y el otro 90% seguirá la ruta hacia la rejilla de Bragg R2. De igual forma, de la luz que es reflejada por la rejilla R2 solo el 10% del total de intensidad será detectada en S4, el 90% restante seguirá hacia el WDM. Las puntas libres de las dos rejillas son inmersas en glicerina, el cual es un líquido que acopla el índice de refracción de la fibra con el del aire, evitando con esto que exista luz que se refleje hacia la rejilla y degrade el funcionamiento del sistema.

En la terminal S3 fue colocado un fotodetector 818-IG de InGaAs con un rango de detección desde 800 hasta 1650 nm. Esto significa que todas las señales ópticas que se encuentren dentro de este rango pueden detectarse. La señal generada por el láser es detectada y convertida a variaciones de corriente por el fotodetector (transductor). Un pre-amplificador convierte estas variaciones de corriente a variaciones de voltaje dándole una amplificación apropiada para ser enviadas al microcontrolador (PIC).

En la figura 2 se observa el arreglo experimental completo en donde se muestra, además del sistema óptico, un sistema electrónico que adquiere datos de dos sensores de semiconductor (LM35). Estos sensores miden la temperatura a la que se encuentran las dos rejillas. Se puede ver que la rejilla R2 siempre está a temperatura constante (ambiente) y la rejilla 1 se encuentra a una temperatura que va de acuerdo a la temperatura de la celda Peltier. También, el sistema electrónico adquiere datos de la señal de salida del láser (terminal S3) los procesa y los envía a una computadora para poder ser analizados. La celda Peltier es un dispositivo termoeléctrico que convierte un flujo de corriente en calor. Por dimensiones tiene: 4 cm de longitud, 4 cm de ancho y 1 cm de espesor. La celda esta compuesta de material semiconductor y tiene dos caras. Cuando una de las caras esta calentándose, la otra se esta enfriando, todo esto debido a que existe una transferencia de temperatura de una cara a otra. La celda requiere una fuente de 15 Voltios y una corriente máxima de 4 Amperes.

Para activar a las celdas Peltier, fue necesario construir una fuente de voltaje. Esta fuente consiste, además del sistema rectificador, de dos relevadores manejados por una señal del microcontrolador para con ello lograr que la polaridad del voltaje aplicado a la celda Peltier cambie y que con ello la cara que se estaba calentando ahora se enfríe. Esto es importante, ya que para cada prueba que se realiza, se necesita que la celda Peltier regrese rápidamente a una temperatura baja y con ello se tengan varios resultados con las mismas condiciones.

La comunicación entre el microcontrolador y la PC es una comunicación serie de alta velocidad a una tasa de transferencia de 9600 bits por segundo.

3 Funcionamiento

Al momento de empezar a bombear a la fibra dopada, se genera una inversión de población y se empieza a generar una señal óptica espontánea aleatoria con un ancho de banda que va de 1520 a 1560 nm. Esta señal espontánea es generada por la fibra dopada y es transmitida en ambas direcciones hacia las dos rejillas. Debido a que las dos rejillas tienen diferente longitud de onda de reflexión sus espectros reflejados nunca se traslapan y por lo tanto bajo esas condiciones no se genera una emisión láser. Para que se genere una emisión láser es necesario que los dos espectros coincidan y una forma de lograrlo es cambiándole la temperatura a la rejilla que tiene menor longitud de onda de reflexión. Así, si se empieza a calentar gradualmente a la rejilla 1 (R1), en un momento la longitud de onda de reflexión se desplazará hacia valores mayores y a una temperatura específica se tendrá una emisión láser (figura 3), observándose por el aumento de señal en la terminal S3. Los sensores de semiconductor nos sirven para medir la temperatura a la que están las dos rejillas. Los datos que estos proporcionan son procesados por el PIC y además, con el PIC se puede controlar la temperatura a la que se somete la celda Peltier.

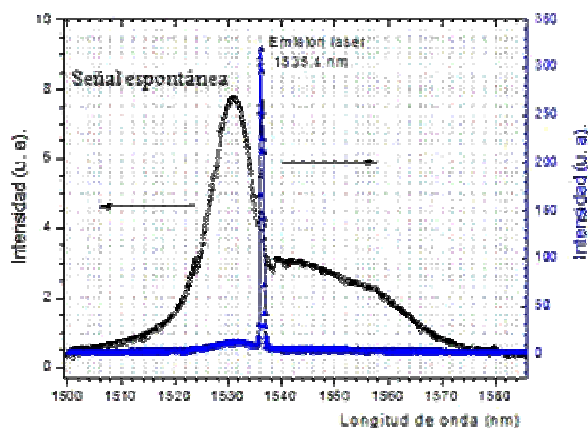


Figura 3. Señal espontánea y emisión láser como resultado de acoplar las longitudes de onda de las rejillas.

Para tener una idea de la forma en que se desplaza el espectro de las rejillas de acuerdo al cambio de temperatura, se realizó una caracterización que consiste en monitorear el espectro de las rejillas con la ayuda de un monocromador. Se utilizó otra rejilla de Bragg de referencia con una longitud de onda de 1536.4 nm. En la figura 4 se observan estos resultados. Se tienen los tres picos de reflexión de las rejillas. Para este caso, la rejilla que cambió su temperatura fue la R2, por lo que se observa un movimiento de su pico de reflexión hacia la derecha (longitudes de onda mayores) hasta alcanzar al pico de reflexión de la rejilla de referencia que es cuando ocurre un laseo. De ésta forma también se caracterizó a la rejilla R1, logrando obtener la cantidad de nanómetros que se desplaza el espectro de reflexión de es-

tas dos rejillas en función del cambio gradual de la temperatura, dicho valor fue de aproximadamente 1 nm para cada $(100 \pm 5) ^\circ\text{C}$ de temperatura. Este error es debido a que no nos es posible mantener constante la temperatura de la rejilla durante el monitoreo con el monocromador.

Para aplicar este sensor de temperatura en sistemas donde se necesite mayor resolución se requiere contar con un sistema interrogador de la longitud de onda, esto es, traducir la lectura a niveles de voltaje que puedan ser leídos fácilmente con sistemas electrónicos sencillos, esto debido a que un sistema de monitoreo en tiempo real de la longitud de onda es costoso, como es el caso de un analizador de espectros ópticos (OSA). Además, se necesita una calibración más precisa del sistema, implicando mantener un control y estabilidad en la temperatura aplicada. De igual forma, utilizar rejillas que tengan un espectro de reflexión sin lóbulos laterales, de alta reflectividad y pequeño ancho de banda. Las rejillas empleadas en este trabajo tienen aproximadamente 90 % de reflectividad y ancho de banda de 2 nm.

4 Resultados

Basándonos en los resultados anteriores, se procedió a la caracterización del arreglo óptico propuesto como un sensor de alarma de temperaturas altas. Los resultados que se obtuvieron son los de la figura 5. Se puede observar que la señal en un momento dado adquiere una intensidad mayor debido a que es cuando se genera una emisión láser. La temperatura de la rejilla 2 se mantuvo casi constante a un valor de aproximadamente $25 ^\circ\text{C}$ mientras que la temperatura de la rejilla 1 fue cambiando gradualmente. Cuando se tiene una temperatura cercana a los $58.5 ^\circ\text{C}$ se observa que la señal crece repentinamente significando que el espectro de la rejilla 1 alcanzó al espectro de la rejilla 2. A esa temperatura se observa emisión láser; al medirla se registró un valor de aproximadamente $600 \mu\text{W}$.

Para saber la temperatura que fue aplicada en la rejilla R1 se realiza la siguiente operación,
 $\text{Temp. Rejilla R1} - \text{Temp. Ambiente} = \text{Temp. Aplicada}$
 $58.5 ^\circ\text{C} - 25 ^\circ\text{C} = 33.5 ^\circ\text{C}$.

Esta temperatura aplicada o diferencia de temperatura fue suministrada por la celda Peltier.

Si en la caracterización anterior se encontró que la longitud de onda de las rejillas utilizadas se desplaza 1 nm por $100 ^\circ\text{C}$ de aumento de temperatura, para lograr que los dos espectros se traslapen se necesitan aproximadamente,

$$1535.4 \text{ nm} - 1535.04 = 0.36 \text{ nm}$$

de desplazamiento del espectro de la rejilla R1, o sea que si la rejilla se calentó a una temperatura de $33.5 ^\circ\text{C}$, esto significa que el espectro se desplazó aproximadamente,

$$\text{Desp. Espec.} = \frac{(33.5^\circ\text{C})(1\text{nm})}{100\text{nm}} = 0.335\text{nm}$$

lo cual coincide aceptablemente con la separación entre los dos espectros de las rejillas.

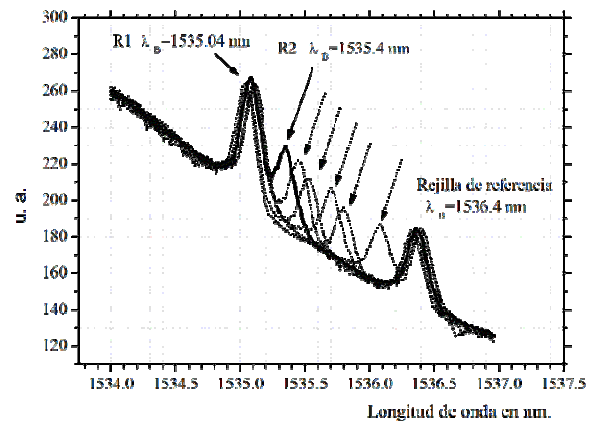


Figura 4. Desplazamiento del espectro de la rejilla de Bragg R2 cuando su temperatura es aumentada gradualmente.

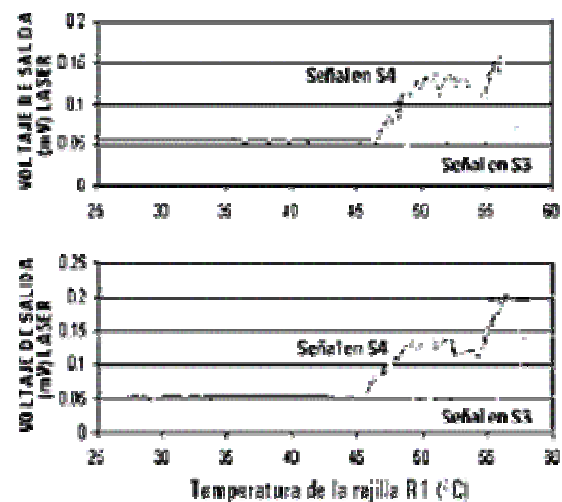


Figura 5. Señales de salida que corresponden a la emisión láser del sistema. Se observa un aumento en la intensidad como consecuencia del acoplamiento de los espectros de las rejillas.

En la figura 5 se observan dos gráficas. Una de ellas corresponde al salto en intensidad cuando los espectros de las dos rejillas están acoplados (emisión láser). Esta señal es monitoreada en la terminal S2. La otra gráfica corresponde al monitoreo en S4 de la señal que reflejada por la rejilla R2. Esta señal también presenta un salto en intensidad justo cuando ocurre para la señal en S3, pero no es tan evidente, debido a que el espectro de la rejilla R2 posee bandas o lóbulos laterales los cuales hacen que ocurran pequeños aumentos de intensidad antes de la emisión láser. Por ello es necesario utilizar rejillas que no tengan bandas o lóbulos laterales, esto es, utilizar rejillas de Bragg con espectro “apodizado” (apodized fiber gratings).

5 Conclusiones

En este trabajo se presentó un sistema que puede detectar cambios de temperatura utilizando un dispositivo de fibra óptica llamado Rejilla de Bragg. El sistema óptico propuesto es sencillo y debido al tamaño pequeño de las rejillas el sistema puede monitorear temperatura en lugares de difícil acceso donde otro sensor de mayores dimensiones (semiconductor, de mercurio, etc.) podría no trabajar, además, en los experimentos se incluyeron aproximadamente 4.23 km de fibra pasiva entre la fibra dopada y la rejilla de Bragg 1, lo cual hace que el sensor trabaje de manera remota, es decir, se puede monitorear la temperatura en lugares alejados del sistema de adquisición de datos. Debido a que el sistema es todo de fibra puede ser utilizado en lugares inflamables en donde cualquier sistema sensor que utilice la electricidad estaría descartado. Como una posible aplicación se propone el uso del sistema como sensor de alarma en donde la temperatura de algún proceso pueda ser monitoreada y fijada para que no sobrepase una temperatura específica. La temperatura de la rejilla 2 puede aumentarse y fijarse en un valor para que al calentar a la rejilla 1, esta tenga que alcanzar un valor aún mayor. También puede decirse que el sistema electrónico es sencillo y de fácil construcción debido a que lo único que se necesita es un PIC y la programación, evitando con ello la utilización de tarjetas de adquisición de datos, generalmente más costosas. Una última apreciación es que además de monitorear temperatura, el sistema propuesto también puede ser aplicado en el monitoreo de tensión dinámica en estructuras.

Referencias

1. M. Cecilia Yappert. "A tutorial on fiber –optic chemical sensors. The Chemical Educator. ISSN 1430 – 4171, Vol. 1, No. 6, (1996).
2. ByoungHo Lee. "Review of the present status of optical fiber sensors". Opt. Fib. Tech. 9, 57-59 (2003).
3. J. Tapia M, A. García W, M. L. Galindo C, A. V. Khomenko, M. A. García Z. "Sensor diferencial de fibra óptica". Rev. Mexicana de Física. 50, 208-212 (2004).
4. A. Treviño S, M. G. Shlyagin, F. J. Mendieta, V. V. Spirin, L. L. Niñi de Rivera. "Variación del espectro de transmisión de una fibra óptica con recubrimiento de polímero por influencia de hidrocarburos y cambios de temperatura". Rev. Mexicana de Física. 5, 600-604 (2005).
5. Agrawal, G. P. *Nonlinear Fiber Optics*. Cap 10, (Academic Press, London, 1995).
6. Jean-Luc Archambault and Stephen G. Grubb, "Fiber Gratings in Lasers and Amplifiers", J. of Lightwave Technol. 15, 1378-1390 (1997).
7. Alan D. Kersey, M. A. Davis, H. J. Patrick, et al., "Fiber Grating Sensors", J. of Lightwave Technol. 15, 1442-1452 (1997).
8. A. Othonos, K. Kalli. "Fiber Bragg gratings; fundamentals and applications in telecommunications and sensing". Cap. 3 y 7, (Artech House, Inc. 1999).
9. M. May Alarcón, E. A. Kuzin, R. Vázquez Sánchez. "Sensor láser de fibra óptica con una cavidad de 8.6 km formada por dos rejillas de Bragg usadas como espejos". Rev. Mexicana de Física. 48, 434-437 (2002).
10. R. A. Vázquez Sánchez, E. A. Kuzin, M. May Alarcón. "Láser de fibra óptica compuesto por dos cavidades acopladas: aplicación como sensor de fibra óptica". Rev. Mexicana de Física. 54, 374-368 (2004).
11. H. H. Cerecedo Nuñez. y M. D. Iturbe Castillo. "Rejillas de Bragg en Núcleo de fibra Óptica de Vidrio", Rev. Mexicana de Física. 44, 198-204 (1998).
12. R. A. Vázquez-Sánchez, "Sensor láser con rejillas de Bragg interrogado por la medición de la frecuencia de batido intermodal". Tesis de Doctorado. Cap. II. Pag. 20. INAOE 2004