

Sensor de nivel de líquidos con fibra óptica microcurvada variando el índice de refracción modulado en intensidad de luz

Liquid level sensor with fiber optic microbending varying the refractive index of light intensity modulated

Nelson Alberto Diaz Leiva¹

RESUMEN

Una nueva aproximación de sensor de nivel de líquidos del orden de milímetros con fibra óptica microcurvada en función a la variación relativa del índice de refracción y un fenómeno de resonancia relacionada con la sensibilidad del sensor.

Se demostró que la intensidad de la luz y el nivel de líquidos tienen directamente alta correlación para el alcohol, entre 0,99373 y 0,99443, con un error del 0,01.

Palabras clave: fibra óptica microcurvada, acoplamiento de modos, índice de refracción, frecuencia espacial, intensidad de luz.

ABSTRACT

A new approach to level sensor of liquids in millimeters with microbending fiber optic in function to the relative variation of index of refraction and a phenomenon of resonance related to the sensitivity of sensor.

The light intensity and liquid level are highly correlation in alcohol, between 0,999373 and 0,99443 values, 0,01 to mistake.

Key words: microbending fiber optic sensor, coupling mode, index of refraction, spatial frequency, intensity of light.

¹ Universidad Nacional del Callao, Facultad de Ingeniería Mecánica - Energía. Av. Juan Pablo II 306-308, Callao, Perú.

INTRODUCCIÓN

Encontramos en la literatura científica diferentes sensores de nivel de líquidos con fibra óptica, generalmente del tipo discreto sin embargo hemos construido un prototipo de sensor de nivel de líquidos con fibra óptica microcurvada que puede ser usado para un control preciso del volumen de combustibles o líquidos industriales.

La pérdida de intensidad de luz en una fibra óptica depende [1] de la inducción de acoplamiento de modos guiados a modos radiados en la fibra óptica. Cuando la fibra es distorsionada de manera tal que la distorsión tiene un número de onda igual a la diferencia de número de ondas entre los modos guiados y los modos radiados, ocurre una pérdida de potencia transmitida muy fuerte, de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\Lambda = \frac{2\pi}{\beta_{m+1} - \beta_m} \quad (1)$$

Donde cada modo [2] tiene una constante de propagación $m = n_1 k \cos \theta_m$ con θ_m representando el ángulo del modo que es equivalente al ángulo que hace el rayo de luz con el eje de la fibra. Si el índice de refracción del núcleo es n_1 y del recubrimiento n_2 , cada modo guiado [3] tiene una constante de propagación discreta entre $n_1 k$ y $n_2 k$ de manera que:

$$\delta\beta_m = \beta_{m+1} - \beta_m = \frac{2}{a} \left(\frac{g \Delta}{g+2} \right)^{\frac{1}{2}} \left[\frac{m}{M} \right]^{\frac{(g-2)}{(g+2)}} \quad (2)$$

Para una fibra de índice escalón con $g \rightarrow \infty$, de muchos modos, los modos de más alto orden están virtualmente espaciados a intervalos idénticos. Esto implica que para una fibra multimodo razonable (número de modos N en miles), la diferencia en la sensibilidad de un sensor microcurvado entre fibras de índice escalón e índice gradiente sería ligera por lo que podemos considerar $m = M$ en la expresión de la frecuencia espacial y resultaría:

$$\Lambda = \frac{\pi a}{\sqrt{\Delta}} \quad (3)$$

Donde a es el radio del núcleo de la fibra, introduciendo la definición de diferencia relativa de índices $\tilde{\Delta}$, obtenemos que:

$$\Lambda = \frac{\pi a \sqrt{n_1}}{\sqrt{n_1 - n_2}} \quad (4)$$

En la ecuación (4), vemos que al realizar cualquier cambio de n_2 produce un cambio de Λ . Lo que implica que cambiamos las condiciones de acoplamiento de modos, este efecto es similar al efecto de cambiar la frecuencia espacial Λ para cada sección de la fibra óptica conforme varía el nivel de líquido; es decir que obtenemos las variaciones de intensidad de luz tanto si nos acercamos o alejamos de n_1 , si n_2 tiende o está más cerca a n_1 se presenta una singularidad matemática que en la física se convierte en un fenómeno de

resonancia óptica (la disipación máxima de energía luminosa) para una frecuencia espacial y amplitud constantes en la fibra óptica microcurvada.

MATERIAL Y MÉTODO

Usamos una fibra óptica plástica de índice escalón con radio del núcleo de 0.49mm e índice de refracción de 1.492, radio de recubrimiento de 0.505 con índice de refracción de 1.402 para la cual $\Delta = 0.275$, el numero de modos guiados $N = 3083203$ y $M = 1756$ el número de grupos modales. Consideramos que para tener un fenómeno de resonancia óptica, las ondas electromagnéticas guiadas son de naturaleza armónica que se produce el acoplamiento de ondas guiadas a ondas radiadas y que la frecuencia espacial también obedece a la siguiente relación periódica.

$$A = \left(\frac{2\pi}{\beta_{m+1} - \beta_m} \right) n = \frac{2\pi a}{2\sqrt{\Delta}} n \quad n = 1,2,3... \quad (5)$$

Por lo que para nuestro caso tenemos:

$$A \approx 3n \quad (mm) \quad (6)$$

Por razones de factibilidad en la construcción del deformador mecánico quien genera los microcurvados elegimos $n = 4$ por lo que la frecuencia espacial a la cual trabajamos es de:

$$A \approx 12 \quad (mm)$$

Construimos un deformador mecánico que proporcionaba a la fibra una frecuencia especial fija de 12mm y una amplitud de deformación de 1.5 mm para la fibra óptica.

Consideramos como nivel cero el espejo de agua del liquido contenido en el recipiente de control de allí hacia abajo registramos las variaciones de nivel de liquido medido cada 4mm, se obtuvieron 1001 datos de información de intensidad de luz por cada nivel, ubicando el espejo de agua en el nivel deseado esperamos por un espacio de 60 segundos antes de empezar a registrar los datos de intensidad de luz laser (laser He - Ne de 630nm) para asegurar que la estabilidad de la superficie no cause fluctuaciones en el registro de la información, este registro se realizó en dos procesos sucesivos de ascenso y descenso tomando 20 niveles de liquido en cada proceso para cada uno de los cinco líquidos considerados; Las sustancias liquidas utilizadas fueron: agua, bebida rehidratante (Sporade), alcohol, chicha de jora y chicha morada, a las cuales se le determino su índice de refracción experimentalmente.

Los materiales y la disposición de los equipos preparados para este trabajo de investigación se presentan en la figura 1

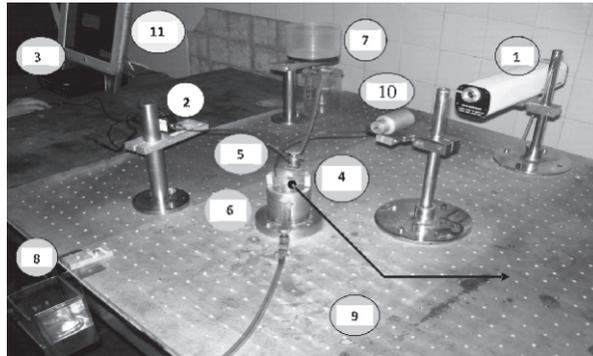


Figura 1. Arreglo experimental para toma de datos: 1. Láser de Helio -Neón, 2. Sensor de intensidad de luz, 3. Interfase, 4. Deformador mecánico (con una vista ampliada en la parte inferior derecha) 5. Fibra óptica, 6. Recipiente de control, 7. Recipiente fuente, 8. Recipiente sumidero, 9. Mesa antivibratoria, 10. Soporte del extremo de la fibra, 11. PC con software Data Studio.

RESULTADOS

Ahora los valores tabulados de porcentaje de intensidad promedio versus nivel de líquido lo graficamos con ayuda del software Data Studio, este software nos ayuda con la grafica y nos arroja automáticamente los valores del ajuste lineal a que sometemos nuestros datos, así como los valores de la pendiente, el intercepto con sus respectivos errores y el coeficiente de correlación de Pearson que nos ayudó a comprobar las hipótesis planteadas en el trabajo de investigación, Estos resultados del proceso experimental realizado lo presentamos a continuación para los diferentes líquidos.

Intensidad de luz y nivel de líquido

Los valores registrados por el sensor de luz de porcentaje de intensidad promedio versus nivel de líquidos lo hemos graficado con ayuda de software Data Studio y obtuvimos los siguientes puntos experimentales para cada uno de los cinco líquidos considerados.

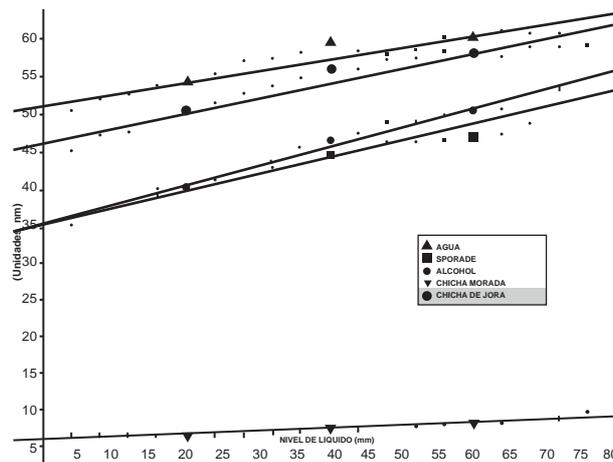


Fig. 2. Representación gráfica de los puntos experimentales de % de intensidad de luz y nivel de líquidos para cada uno de los cinco líquidos utilizados.

Razón de cambio de intensidad de luz por nivel de líquido para cada líquido considerando su índice de refracción.

La relación entre la pendiente que es la razón de cambio de intensidad de luz por milímetro de nivel de líquido y su índice de refracción, la mostramos en la figura 3. La razón de cambio de intensidad de luz respecto de los cambios de nivel líquidos en milímetros cambia con cada líquido utilizado lo cual nos indica que las condiciones de acoplamiento de modos cambia con la diferencia de índices de refracción del núcleo de la fibra y el índice del recubrimiento que en este caso es el aire - líquido.

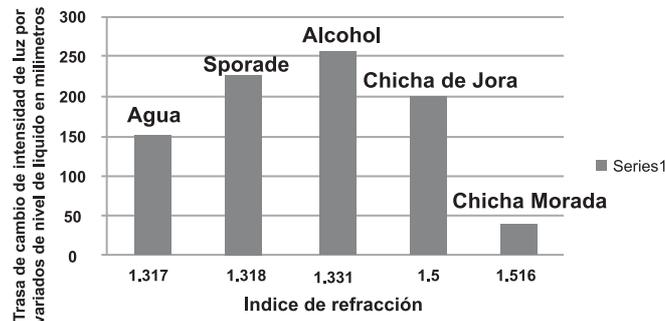


Fig.3. Comportamiento resonante de la razón de cambio de la intensidad de la luz por milímetro de nivel de líquido con el índice de refracción de cada líquido.

Observemos que se forma la campana de resonancia en la figura 3 cuando relacionamos la razón de cambio de la intensidad de la luz por milímetro versus el índice de refracción de cada líquido, para los valores del índice de refracción cerca al valor del índice de refracción del núcleo de la fibra óptica microcurvada, debido al cambio de las condiciones de acoplamiento de modos en la fibra óptica y su relación con las variaciones de índices de refracción entre el núcleo de la fibra y el recubrimiento que en este caso está constituido por cada uno de los cinco líquidos usados.

DISCUSIÓN

Se demuestra que las variables intensidad de luz y nivel de líquidos están relacionados directamente con una alta correlación comprendidos entre los valores de 0,99373 para el alcohol y 0,94443; con un máximo riesgo de equivocarnos de 1%.

Se produce variación de intensidad de luz por el acoplamiento efectivo de modos guiados a modos radiados como consecuencia de la variación del índice de refracción del recubrimiento de la fibra óptica microcurvada, permitiendo censar niveles de líquido del orden de 0,004m.

Se presenta un fenómeno de resonancia de máxima razón de cambio de intensidad de luz por milímetro de nivel de líquidos (máxima sensibilidad) al acercarse el índice de refracción del recubrimiento (líquido) al índice de refracción del núcleo de la fibra óptica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Marcuse, D. (1973). "losses and impulse response of a parabolic index fiber with random bends". Bell Syst. Tech. J. , 52 (8), 1423-1436.
2. Anderson, B. (1995). "New approach to microbending fiber optic sensors: varying the spatial frequency". Optical Engineering , 34 (1), 208-213.
3. Taylor, H. (1984). "Bending effects in optical fibers". IEEE J. Lightwave Technol. , LT-2 (5), 617-628.

email: ndiaz@unac.pe