

Internet Electronic Journal*

Nanociencia et Moletrónica

Diciembre 2006, Vol. 4, N°3, pp. 815-826

Microsensor refractométrico discreto de fibra óptica para la detección de interfaces petróleo-agua, operando en la región visible

E. Molina Flores, O. Aguilar Jiménez , J. A. Dávila Pintle, D. Molina Flores

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Ciencias de la Electrónica
CA. Optoelectrónica y Comunicaciones

Bldv 18 Sur y Av. San Claudio, CU, Col San Manuel, 72000 Puebla, Mx.
esteban.molina@fce.buap.mx, orlandoajk@hotmail.com, jpintle@ece.buap.mx, moldan@ece.buap.mx.

recibido: 08 de Agosto 2006

revisado: 30 de Agosto 2006

publicado: 15 de Noviembre de 2006

Citation of the article:

E. Molina Flores, O. Aguilar Jiménez , J. A. Dávila Pintle, D. Molina Flores, Microsensor refractométrico discreto de fibra óptica para ldetección de interfaces petróleo-agua, operando en la región visible, Internet Electrón. J. Nanocs. Moletrón. 2006, Vol. 4, N° 3.pp. 815-826

copyright © BUAP 2006

<http://www.revista-nanociencia.ece.buap.mx>

Microsensor refractométrico discreto de fibra óptica para la detección de interfaces petróleo-agua, operando en la región visible

E. Molina Flores, O. Aguilar Jiménez , J. A. Dávila Pintle, D. Molina Flores

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Ciencias de la Electrónica
CA. Optoelectrónica y Comunicaciones

Blvd 18 Sur y Av. San Claudio, CU, Col San Manuel, 72000 Puebla, Mx.

esteban.molina@fce.buap.mx, orlandoajk@hotmail.com, jpintle@ece.buap.mx, moldan@ece.buap.mx.

recibido: 08 de Agosto 2006

revisado: 30 de Agosto 2006

publicado: 15 de Noviembre de 2006

Internet Electron. J. Nanoc. Moletrón. 2006, Vol. 4, No.3, pags.815-826

Resumen

En este proyecto de investigación se demuestra la funcionalidad y operatividad de un microsensor de fibra óptica diseñado y elaborado en el laboratorio de optoelectrónica de la fce-buap. Este microsensor se construye a partir de fundir y formar una semigota de un par de terminales de fibra óptica (8.3 μm /125 μm), dispuestos en forma paralela, donde una fibra funciona como guía de onda transmisora, haciendo pasar un porcentaje muy pequeño de potencia óptica a través de la semigota, mediante un mecanismo de reflexión de fresnell, hasta emerger a través de la otra fibra, que representa la fibra receptora cuyo haz de salida incide en un fotodetector, para traducir este haz a señal de voltaje. se debe mencionar que la reflexión de fresnell, varía en función del índice de refracción del líquido circundante, lo que regula la cantidad de luz que se transmite a la fibra receptora hasta el fotodetector de si. la condición principal de operatividad de este microsensor, es que el par de líquidos a identificar, sean inmiscibles, por razones prácticas y económicas, se eligieron: agua y diesel. a cada líquido el sistema microsensor le asignó un voltaje discreto en forma correspondiente, el cual porcentualmente aparecía dentro de una vecindad de valores promedio, y con una incertidumbre de ± 0.001 μv . por lo que el microsensor demostró ser altamente fiable para identificar este par de líquidos de interés. este microsensor, por ser de fibra óptica, tiene la posibilidad de funcionar en forma remota y de baja pérdida, y de ser introducido en orificios diminutos del orden de ~ 130 μm , por lo que puede tener aplicaciones en el área de la medicina, y en muchas aplicaciones industriales.

Palabras claves: microsensor, fibra óptica, refractométrico, sonda.

1 INTRODUCCIÓN

El objetivo de este proyecto de investigación es demostrar la funcionalidad y capacidad de detección de un microsensor discreto de fibra óptica en la región visible, en líquidos inmiscibles, y realizar un modelo de desempeño del mismo. Proponer las características de los dispositivos ópticos para hacer posible la operación del sistema en la región visible. Realizar la caracterización del sistema microsensor completo, empleando una metodología metrológica para realizar las detecciones de los líquidos inmiscibles, es decir, describir la cantidad porcentual de los voltajes asociados a cada medio detectado, considerando se generan dentro de un valor promedio, y cierta incertidumbre en su medición. Establecer las condiciones de instalación y aplicación para las cuales se garantiza su funcionamiento eficiente. Determinar los diseños de las etapas electrónicas de acoplamiento, comparación (reconocimiento de los voltajes asociados a cada líquido), y las etapas de acondicionamiento de la señal de salida lista para interactuar con cualquier CPU de un PLC industrial.

2 Modelo Teórico

El microsensor de fibra óptica, está fabricado con un par de fibras ópticas de comunicaciones, por lo que sus características son: monomodal a 1550 nm, diámetro del núcleo de 8.3 μm , diámetro del revestimiento de 123 μm . Para la construcción de estas fibras el par de fibras se instalaron en forma paralela, de tal forma que un par de sus terminales empataban perfectamente, región donde se les aplicó calor hasta formar la semigota de vidrio. En esta semigota, es posible que el índice de refracción se reduzca a un valor de poco menos de 1.469, por el predominio de la cantidad del revestimiento con respecto a la del núcleo de la fibra. La teoría de Fresnel explica y justifica los cambios de reflectividad de la interfase vidrio-líquido circundante, en el interior de la semigota. Para aplicar en forma directa la teoría de Fresnel para el cálculo de la intensidad que colecta la fibra receptora, habría que considerar la contribución de cada rayo que es capaz de reflejarse e introducirse a la fibra receptora, y determinar la intensidad del haz resultante recibido en la fibra receptora. Para realizar esta tarea, se debería realizar una simulación basada en teoría de rayos, lo cual está fuera de los intereses de este proyecto de investigación.

Por esta razón, se propone una alternativa experimental que consiste en tener conocimiento real de la potencia introducida al microsensor, $P_i(\lambda)$, y medir la potencia a la salida del microsensor, $P_o(\lambda)$. Nótese que la potencia de entrada y salida al microsensor están en función de la longitud de onda. Razón que justifica el empleo de nuestro fotoluminiscente de alta potencia, desde 390 nm hasta los 780 nm. Con conocimiento de estas potencias de entrada y salida para esta región espectral, podemos satisfacer el modelo de la función de transmitividad del microsensor de fibra para la región visible, como se muestra en (1).

$$T(\lambda) = \frac{P_{out}(\lambda)}{P_{in}(\lambda)} \quad (1)$$

donde $T(\lambda)$, es la propiedad de filtro óptico del microsensor, y nos informa la modificación en intensidad que sufre cada componente espectral en la región visible, al viajar ese haz desde su entrada hasta su salida [1], [2].

La potencia medida a la salida, fue la potencia correspondiente al haz resultante de la contribución de las potencias de cada componente espectral (390 nm-780 nm). La potencia de este haz resultante fue medido en forma relativa a través del voltaje correspondiente, que aparece en las terminales del fotodiodo de Si. Desde (1), se observa que $T(\lambda)$, es una función continua, sin embargo, en esta proyecto de investigación la potencia de entrada, $P_i(\lambda)$, es fija tanto en intensidad como en longitud de onda, por lo que la potencia de salida, $P_{out}(\lambda)$, será fija en región espectral (390 nm-780 nm), su única variable será su intensidad que es dependiente de las características de la interfase vidrio-líquido circundante.

3 Configuración experimental

Los líquidos inmiscibles son aquellos que no se mezclan, y por lo tanto forman interfases, esto se debe a que poseen diferentes densidades, y uno es más pesado respecto al otro. Industrialmente, existen varios pares de líquidos que no se pueden mezclar, sin embargo el de gran interés en la aplicación de esta proyecto de investigación, es el par correspondiente a los líquidos basados en agua, y líquidos basados en derivados del petróleo crudo, en concreto el sistema agua-diesel. El interés en este par de líquidos reside, en que en los tanques cisternas de los dispensarios de diesel, es necesario para su control y administración, el conocimiento de la cantidad del diesel en aquellos grandes contenedores cerrados, que normalmente están expuestos al sol, y por lo tanto sufren un calentamiento excesivo, de tal forma que este diesel almacenado forma ciertas cantidades de vapor de agua que se depositan en el techo de los tanques cisternas, y posteriormente se condensa y fluye en forma de agua, la cual es inmiscible ante el diesel, y más pesada que el diesel por lo que se deposita en el fondo del tanque cisterna, reduciendo la cantidad efectiva de diesel en el tanque cisterna. Por esta razón en los dispensarios de petróleo, o derivados, existe un nivel límite de agua que no se debe rebasar no sin antes drenar esta cantidad de agua para no confundir al administrador de este tanque cisterna.

Obviamente la detección continua de este nivel, en las empresas que trabajan con este tipo de líquidos, resuelven este problema con dispositivos que son alimentados eléctricamente, y por lo tanto implican un riesgo potencial de explosión, uno de estos dispositivos y el más comúnmente usado es el sensor de nivel de líquido: sensor magneto restrictivo. Este sensor no es más que una sonda metálica que opera como el eje del movimiento de flotadores en forma de toroide, que a través de un principio electromagnético reportan el nivel de flotación de estos toroides. Sin embargo, el empresario vendedor de hidrocarburos, con la ambición de almacenar mucho petróleo, gasolina, diesel, etc. Solicita a los abastecedores, le surtan arriba de los niveles permitidos, razón por la cual estos líquidos inflamables llegan a cortocircuitar las terminales de alimentación del sensor, produciéndose así los silenciados accidentes en las gasolineras.

Por estas razones, el área de optoelectrónica de la FCE-BUAP, a través de este proyecto de proyecto de investigación, realiza la presente propuesta para la detección de nivel discreto de líquidos inmiscibles, haciendo uso de la tecnología de fibras ópticas, como lo es el microsensar refractométrico de fibra. Se debe destacar que esta es una alternativa para estas condiciones tan delicadas en su implementación, ver Fig. 1.

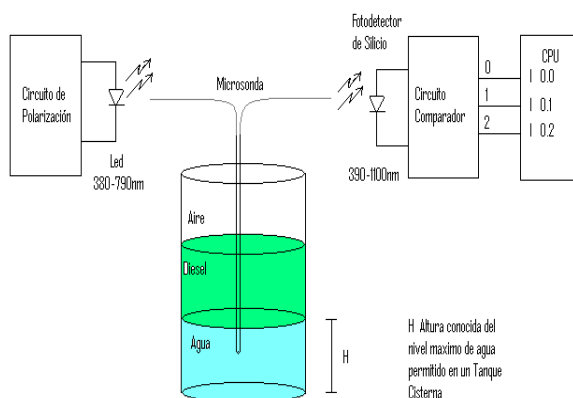


Fig. 1 Diagrama de operación del microsensor refractométrico

A Descripción física del microsensor

El tipo de sensor de fibra corresponde al tipo de sensor refractométrico, debido a que su principio de funcionamiento está regido por las leyes ópticas de la refracción, en particular de las leyes de Fresnell. El microsensor, consiste de un par de fibras ópticas colocadas juntas en forma paralela y fundidos en las terminales, donde se le forma una semigota de vidrio. Las fibras son $8.3/125 \mu\text{m}$, de índice escalonado. Esta semigota, es fácil de formar por la propiedad de cohesión de los líquidos (vidrio fundido), por lo que no necesitamos moldearla o pulirla adicionalmente, ver Fig. 2.

La eficiencia reflexiva de la geometría de la semigota, comparada con la geometría de una gota completa, ofrece mayores probabilidades de que el haz transmitido por una terminal de fibra, se refleje en mayor porcentaje hacia la terminal fibra receptora.



Fig. 2 Semigota formada por la fusión de dos terminales de fibras ópticas (aumentada 220 en monitor).

B Descripción del funcionamiento del microsensor de fibra

En forma medular, el principio que rige el funcionamiento de este microsensor refractométrico, es la variación de la reflectividad de la interfase semigota-líquido en función del índice de refracción del líquido circundante. Ver Fig. 2. La teoría de Fresnell, es útil para explicar esta propiedad del microsensor refractométrico. En particular, el índice de refracción del aire es 1, el índice de refracción del agua es 1.3, y el índice de refracción de los derivados de petróleo fluctúa en el rango de 1.42-1.48. Por lo tanto, las capacidades reflectivas de las interfases: microsensor-aire (1.46/1.0), microsensor-agua (1.46/1.3), microsensor-diesel (1.46/1.0) son diferentes [3].

Para hacer funcional este microsensor, se implementó como fuente de irradiación, una fuente de luz blanca (LED), y como fotodetector uno (p-i-n) de silicio, ver Fig. 3. La justificación de su selección de estos se muestra más adelante. Obviamente, la salida del fotodetector se introduce a un preamplificador conformado por un amplificador operacional, de aplicación múltiple, el cual su salida se introduce a las entradas de un arreglo de comparadores de tipo ventana para identificar dentro de que rango el voltaje amplificado, se encuentra.

Para describir el funcionamiento de este microsensor de fibra, se prefiere explicarlo de la siguiente manera: Se aplica un nivel de corriente constante al LED para generar una potencia óptica, P_i , del orden de mW, la cual es introducida al microsensor. El 99% de esta potencia se acopla a la entrada de la fibra del microsensor (guía de onda). Este haz se propaga por la fibra hasta llegar a la semigota, la cual presenta un máximo de reflexión relativo, ya que deja pasar una milésima parte del 99% de P_i .

TABLA I
Potencias OPTICAS asociadas a cada medio

<i>Medio circundante</i>	P_o (%)
<i>Aire</i>	100
<i>Agua</i>	18.5
<i>Petróleo (hidrocarburo)</i>	0.0

Esta potencia de salida P_o , sufre un decaimiento porcentual respecto a la potencia que le corresponde al aire, como se muestra en la Tabla I. Así, esta potencia de salida P_o , se hace incidir en la superficie de detección del fotodiodo de Si. Por lo que si se mantiene la potencia de emisión P_i constante del LED, y la única variable del sistema es el índice de refracción del líquido circundante, entonces aparece una regla de asignación: a cada líquido le corresponde un voltaje a la salida del fotodetector. Es necesario aclarar que para que esta microsonda opere con garantías solo debe ser sometido a reconocer pares de líquidos inmiscibles, lo que proporciona al microsensor un alto contraste para la identificación de uno de los líquido respecto del otro.

Respecto a la identificación eléctrica, para el caso particular del sistema aire-agua-diesel, estos voltajes correspondientes a cada medio guardan una relación porcentual, independientemente de la potencia P_i , por lo que para detectar estos voltajes previamente

amplificados y calibrados, se emplean comparadores para detectar el rango de voltaje de salida. Estos comparadores de ventana presentan una tolerancia del 10% de variación. Así, cuando el voltaje de salida del amplificador esté dentro de alguna de las ventanas de los comparadores, este comparador reportará voltaje cero, por lo que se hace pasar a un circuito inversor, compuesto por un transistor configurado en corte-saturación (0, ó 12 Volts). Se calibran a estos voltajes, para que la salida del comparador, esté lista para ser introducida a un CPU, para su consideración o procesamiento.

C Descripción de la instalación experimental

Es microsensor de fibra óptica se diseño y planteo para definir sus características y condiciones de operación con irradiación en la región visible (luz blanca). Se prefirió implementar un LED emisor de luz blanca, por su alta capacidad de enfoque debido a la superficie convexa a la salida del LED, facilitando así la introducción de una máxima potencia a la terminal de fibra óptica, no así con el caso de una lámpara de tungsteno, que también irradia luz blanca pero es altamente divergente.

Espectralmente el LED muestra las longitudes de onda desde los 390-780 nm, presentando mayor intensidad en la región del azul. Este LED dentro de sus atractivos a las comunicaciones, es que presenta una región lineal bastante amplia, y una corriente umbral pequeña (5 mA), lo que lo hace útil para la modulación a bajas frecuencias (20 KHz).

D Fotodetector de silicio

El fotodetector dentro del microsensor de fibra, tiene un desempeño relevante, debido a que en este descansan características globales del microsensor: rapidez de detección, sensibilidad, eficiencia cuántica espectral, aparición del ruido de oscuridad en menor o mayor escala. Se escogió un fotodetector de Silicio debido a que su rango de detección están las longitudes de onda desde 390 hasta 1100 nm, lo cual lo hace útil a este microsensor, además de que posee un ancho de banda 30 kHz.

La conexión eléctrica de las terminales del fotodiodo, se conectan directamente a las terminales de entrada del preamplificador que poseen una impedancia de entrada de 1000 MΩ. Este preamplificador es de configuración Darlington, el cual se encarga de compatibilizar las impedancias de salida del fotodetector con la impedancia del amplificador operacional de alta ganancia, cuya salida se conecta a las entradas de los comparadores de ventana.

6 Metodología experimental y resultados

Este microsensor es de salida discreta, debido a que para cada par de líquidos inmiscibles le asigna un voltaje a la salida del fotodetector, manteniendo fija la potencia P_i , del LED emisor de luz blanca. Como parte de la metodología de caracterización experimental de este microsensor, se intuye la posibilidad de que los cambios porcentuales de los voltajes correspondientes a cada par del líquido inmiscible, incluyendo al aire, puede depender de la P_i , del LED. Para realizar esta prueba desde 0 hasta 65 mA, en incrementos de 5 mA, en forma ascendente, ver Fig. 3. Esta prueba se realizó en el caso particular del agua y diesel. Del comportamiento arrojado del procesamiento de esta caracterización se toma el valor de P_i , que provoque el mejor contraste de los voltajes de salida en el fotodetector.

E. Caracterización geométrica del microsensor.

Como parte de la manufactura del microsensor, fue de gran consideración el aspecto geométrico del microsensor. Este debía ser del menor volumen posible, fácil de introducir en orificios diminutos, y poderse

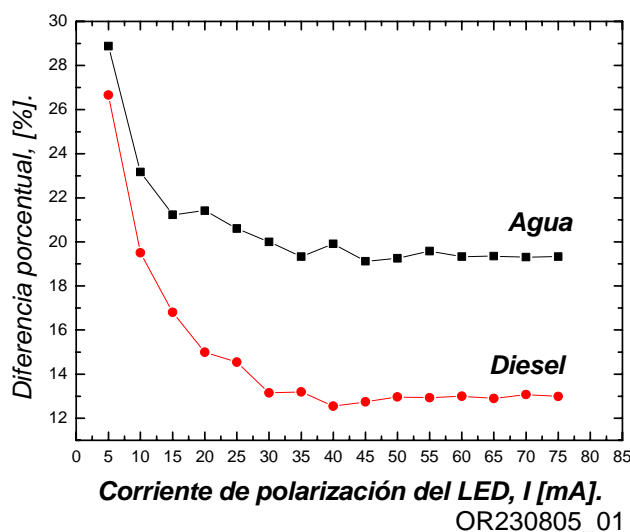


Fig. 3 Decaimiento porcentual correspondiente para cada líquido en función de la corriente de alimentación del LED

enlazar a distancias lejanas. Por lo que físicamente este microsensor consiste de un par de fibras ópticas, dispuestas en forma paralela, cuyas terminales están emparejadas, y fundidas, de tal forma que este extremo describe una forma geométrica de una semigota de vidrio fundido. Originalmente, el par de fibras empleado posee un diámetro de 125 μm de *cladding*, por lo que la región de la semigota presenta un radio de curva de 125 μm , por lo que tiene un diámetro de 250 μm , un espesor de 125 μm , en la región de la semigota. El otro par de terminales de fibra, quedan a disposición de ser añadidas a otros segmentos de fibra ópticas, lo que permitiría funcionar al microsensor en forma remota. Invariablemente, una de estas fibras serviría como fibra de transmisión del haz luminoso visible, desde el LED de luz blanca. Mientras la otra terminal funciona como fibra de recepción, debido a que la porción del haz reflejado en la interfase de la semigota (interfase-líquido circundante) se propagará a través de esta fibra hasta llegar e incidir a la superficie de detección del fotodetector de silicio, para ser convertido en un voltaje correspondiente Fig. 4.

F Determinación del tiempo de respuesta del microsensor

El microsensor, es un dispositivo que tanto para el aire, y el par de líquidos inmiscibles asocia un voltaje para cada líquido o medio en sometimiento. En este apartado surge la siguiente hipótesis de investigación : para la detección de interfases entre líquidos inmiscibles, mediante el desplazamiento del nivel de la interfase, o del microsensor, el

reporte del cambio instantáneo de un índice de refracción al otro, indica la ubicación precisa de esta interfase para un procedimiento oportuno correspondiente.

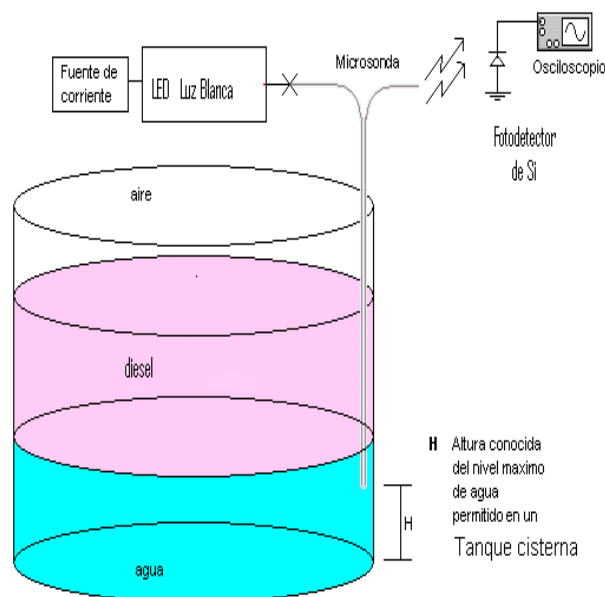


Fig. 4 Instalación experimental del microsensado refractométrico

Se observa que la rapidez en respuesta del microsensado, descansa en una propiedad del fotodetector de silicio empleado, esta propiedad reportada por el fabricante es el *risetime*. El *risetime* representa y significa el tiempo de ascenso del voltaje de salida, cuando la potencia incidente al fotodetector conmuta desde una potencia nula a una distinta de cero (estado binario), esta es la señalización digital. Así, el tiempo que le toma al voltaje de salida para conmutar de voltaje cero a cierto voltaje constante describe el perfil de un pulso cuadrado. El *risetime* se mide desde el 10% del voltaje máximo hasta el 90% del voltaje máximo de salida, este tiempo que le toma al voltaje de salida para conmutar del valor mínimo al máximo, se le llama *risetime*.

Se entiende que el fotodetector que posee el *risetime* más pequeño es el que puede detectar una mayor tasa de bits/seg. El fotodetector que se empleó en este proyecto es de 2 μ s, de acuerdo a la hoja de fabricante Newport.

En términos electrónicos, el sistema del microsensado posee, en correspondencia directa con este *risetime*, posee un ancho de banda, el cual mantiene una relación experimental, y se determina por (2)

$$BW = (0.35/t_r) \quad (2)$$

donde BW es el ancho de banda, Hz, t_r : *risetime*, s.

Aplicando (2), el fotodetector de silicio empleado posee un ancho de banda de 175 kHz, y satisface fácilmente las exigencias para alcanzar y demostrar los objetivos de proyecto de investigación [2].

G Discusión de la respuesta espectral óptica del microsensor

En este proyecto, como fuente de irradiación se empleó una fuente de luz blanca, de relativo valor económico bajo, y de mucha facilidad para adquirirlo en el mercado mexicano, comparado con los láseres de alta coherencia. Este factor económico comparativo es del orden de 1000. Para la aplicación específica de la detección de dos líquidos inmiscibles, es más que suficiente conocer la respuesta del microsensor para la luz blanca de alta intensidad, como lo es el led de luz blanca.

Indagar cuál sería la respuesta para cada longitud de onda en la región del visible, significa abrigar la idea de emplear un haz láser en la región del visible, lo que elevaría, en su conjunto, el valor del sistema microsensor de fibra óptica. Para los propósitos de este proyecto, se consideró innecesario realizar la caracterización espectral en la región del visible, a este microsensor.

H Acondicionamiento de la señal para hacer al sistema de utilidad industrial

La señal de salida desde el fotodetector es del orden de microvolts, pero como se ha observado estos voltajes son proporcionales al valor de corriente con el que se alimenta al Led de luz blanca que excita al sensor de fibra óptica. Con el propósito de acondicionar esta señal se propuso el siguiente tratamiento para estos voltajes arrojados por el fotodetector. Para elevar el orden de estos voltajes desde microvolts hasta milivolts, se instaló un amplificador basado en un operacional de ganancia 1000, y de una impedancia de entrada del orden de $10\text{ M}\Omega$, para no permitir un empobrecimiento de la señal o caída de la misma.

Dado que los voltajes generados en el fotodetector guardan una relación porcentual entre lo que le corresponde al aire, agua y diesel, se propusieron tres etapas comparadoras de ventana basados en amplificadores operacionales de 1 MHz. Este ancho de banda es muy superior al ancho de banda del fotodetector, por lo cual no interfiere en la sensibilidad de respuesta óptica del sensor. El margen de detección de estas ventanas de detección se propuso dentro del margen de $\pm 5\%$ del valor central a detectar. Estos arreglos de comparadores, son de diseños típicos y funcionales, alimentados con voltajes de ± 15 volts. Cada etapa de comparación se ajustó para operar centrado en los voltajes esperados y ajustados a la salida del amplificador antes mencionado. [3]

Esta microsonda para que sea útil industrialmente, debe arrojar voltajes binarios compatibles con algún CPU de un PLC. A manera de propuesta para su implementación, se propone: un arreglo transistor en configuración corte-saturación a la salida de los comparadores se generarán los voltajes correspondientes de 0 ó 24 Volts, los cuales son esperados a la entrada de un PLC. Este PLC, de acuerdo al algoritmo que posea en su programación, emitirá las señales de mando y control correspondientes, haciendo útil la señal de la microsonda para aplicación que le corresponda. Ver Fig. 5.

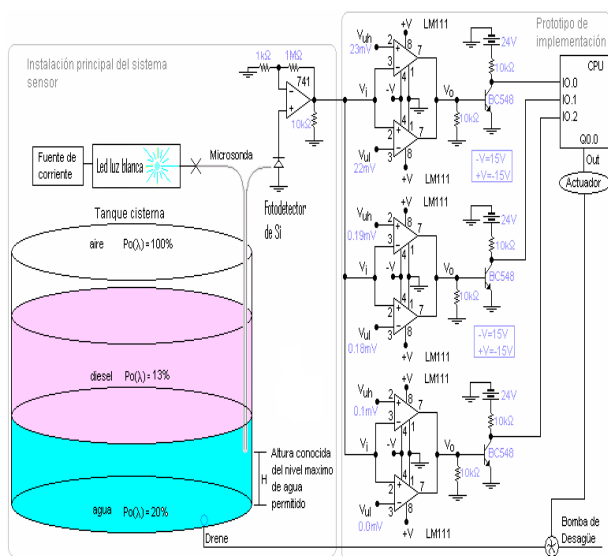


Figura 5. Configuración de la instalación de la microsonda en un tanque cisterna para diesel (Petróleo o hidrocarburo).

Conclusiones

i. Se ha desarrollado un microsensar que por sus dimensiones y capacidad de detección de líquidos en función de su índice de refracción (previa calibración) puede ser de gran utilidad en la industria del petróleo, y así mismo para algunas aplicaciones biomédicas donde participen líquidos biológicos inmiscibles.

ii. La existencia, fácil accesibilidad y bajo costo en el mercado de los led's que irradian luz blanca (región visible del rojo al violeta) ocasiona que en la competencia de implementación, entre un diodo láser que irradie en cualquier longitud de onda en particular de la región visible se encuentra en desventaja ante la eficiencia y bajo costo del led de luz blanca, que para los propósitos de este microsensar es muy favorable que cada componente espectral irradiada, contribuye mediante la función de transmitancia del microsensar, de la potencia total a la salida por lo que se empleó un fotodetector de silicio para aprovechar la cantidad energética de cada longitud de onda, para traducirla a una cantidad proporcional de voltaje.

iii. La máxima velocidad escáner del microsensar para pasar de un medio a otro está regulada por el ancho de banda del fotodetector ya que esto limita la máxima rapidez de conmutación, lo que en una estricta posición de la semigota y del tiempo lo que sucede en esta conmutación, el microsensar reporta la localización de una interfase ya sea con el aire o con el par de líquidos inmiscibles.

iv. Una condición de riesgo para el microsensar es la aparición de micro-burbujas que aparecen pegadas en la región externa de la semigota provocando una inestabilidad en la potencia de salida. Estas micro-burbujas aparecen únicamente de la interfase aire a diesel en forma estrepitosa, tal que se golpea la superficie del diesel abruptamente y en las cercanías de la superficie diesel agua.

v. La ventaja de nuestro sistema de detección opera en componentes de material semiconductor como lo es el led de luz blanca y el fotodetector los cuales son elementos de fácil acceso en el mercado electrónico y sobre todo a muy bajo costo, no pasando por alto la alta eficiencia de esta fuente de luz como se mostró en su grafica correspondiente.

vi. Previa evaluación de las regiones de los voltajes que aparecen a la salida del preamplificador, se diseñan los comparadores para ofrecer su ventana de comparación que coincida con aquellas regiones de voltajes correspondientes a los voltajes generados para identificar al aire, al diesel o al agua.

vii. La importancia del inversor BJT es que nos condiciona la salida eléctrica del microsensar, debido a que proporciona los dos valores de voltaje únicos por el CPU (PLC industrial) que es igual a 0 ó 24 V con un valor en corriente de no menos de 180 mA que es el estándar para los sensores industriales.

Reconocimientos

Al Profesor Neptuno Molina Alvarado, por sus enseñanzas, y consejos, por hacer posible esta investigación.

References

[1] Hecht, J. , Understanding Fiber Optics, Prentice Hall, 1999.

[2] Molina Flores, E., Sistemas de comunicaciones coherentes, modulo V, diplomado en optoelectrónica, FCE-BUAP, 2000.

[3] Chow, P. S., El petróleo, en Naturaleza (Imágenes de la ciencia), vol. 3 núm. 2, 1972, pp. 70-76.